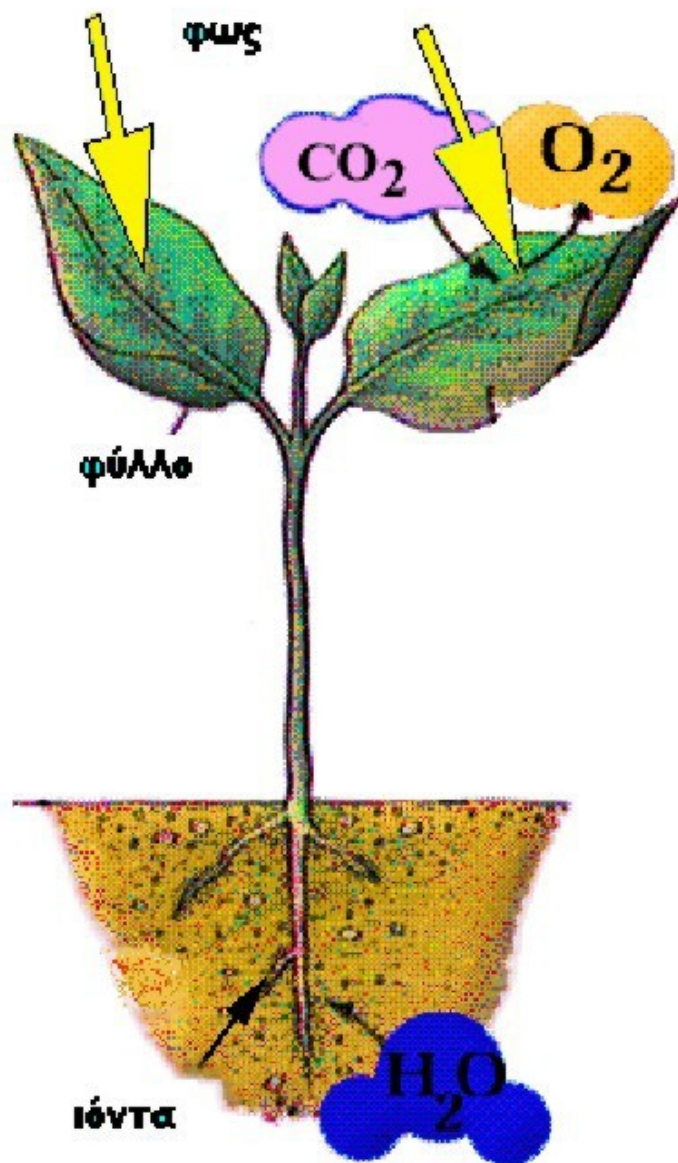


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



### Κατηγορίες ετερότροφης διατροφής

#### 1. Ολοζωική διατροφή

Όλα τα ζώα διασπούν την τροφή τους με πέψη.

#### 2. Σαπροφυτική διατροφή

Τα **σαπρόφυτα** απορροφούν οργανικές ουσίες από νεκρούς ιστούς ή από προϊόντα της διάσπασής τους. Χαρακτηριστικά **σαπρόφυτα** είναι πολλοί μύκητες και βακτήρια. Αυτοί οι οργανισμοί λέγονται και **αποικοδομητές**.

#### 3. Παρασιτική διατροφή

Το **παράσιτο** είναι οργανισμός που ζει στην επιφάνεια ή σε κοιλότητα του σώματος άλλου ζωντανού οργανισμού, του **ξενιστή**, και τρέφεται εις βάρος του χωρίς κατ' ανάγκη να τον σκοτώνει (χαρακτηριστικά παράσιτα είναι διάφορα βακτήρια, ορισμένοι μύκητες, οι ταινίες, οι αφίδες, οι κοριοί, οι ψείρες κ.α.).

**Κατηγορίες αυτότροφης διατροφής****1. Φωτοσύνθεση στα ανώτερα φυτά**

➤ Τα ανώτερα φυτά και φύκη χρησιμοποιούν τη **φωτεινή** ενέργεια για να **συνθέσουν** οργανικές ουσίες από απλές ανόργανες.

**2. Φωτοσύνθεση στα βακτήρια**

➤ Υπάρχουν πολλά είδη φωτοσυνθέτων βακτηρίων. Η πιο κάτω εξίσωση αφορά μία μόνο κατηγορία: τα θειοβακτήρια.

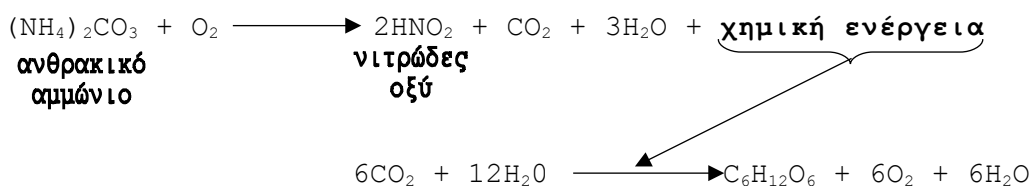
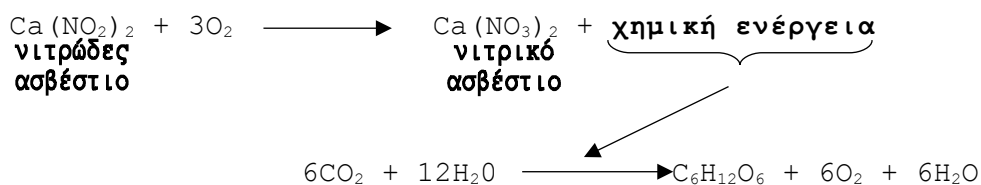


➤ Τα φωτοσυνθέτονα βακτήρια **(α)** δεν χρησιμοποιούν χλωροφύλλη αλλά **βακτηριοχλωροφύλλη**, **(β)** δεν χρησιμοποιούν σαν **υδρογονούχα ουσία** νερό αλλά άλλες ουσίες πχ. υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) και **(γ)** δεν απελευθερώνουν οξυγόνο αλλά άλλη ουσία πχ. θείο

**3. Χημειοσύνθεση στα βακτήρια**

➤ Τα **χημειοσυνθέτονα βακτήρια** χρησιμοποιούν τη **χημική ενέργεια** από τη διάσπαση ανόργανων ουσιών για να **συνθέσουν** οργανικές ουσίες.

➤ Υπάρχουν πολλά είδη χημειοσυνθέτων βακτηρίων. Οι πιο κάτω εξισώσεις αφορούν δύο μόνο κατηγορίες: τα **νιτροβακτήρια** που ζουν στο έδαφος (*Nitrosomonas nitrosococcus*) και οξειδώνουν το ανθρακικό αμμώνιο [ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ] και τα νιτροβακτήρια (*Nitrobacter*) που ζουν στο έδαφος και οξειδώνουν το νιτρώδες ασβέστιο [ $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ] σε νιτρικό ασβέστιο [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ].



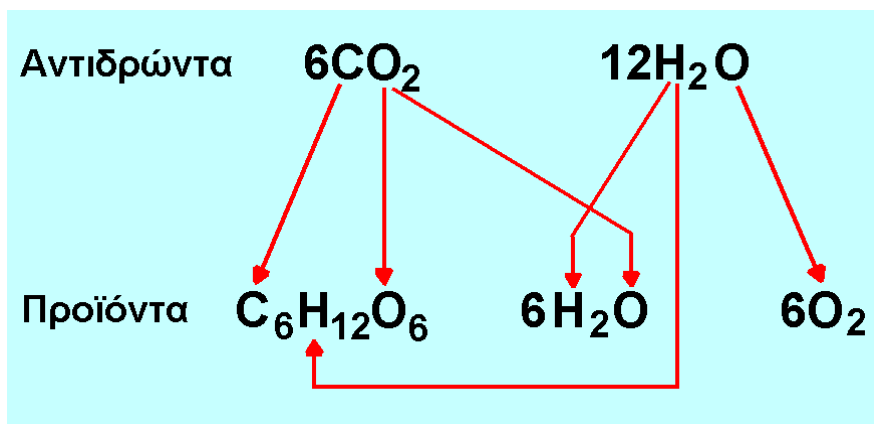
## ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΣΤΑ ΑΝΩΤΕΡΑ ΦΥΤΑ



➤ **Φωτοσύνθεση** είναι η σύνθεση οργανικής ουσίας (γλυκόζη) από απλές ανόργανες ουσίες (νερό και διοξείδιο του άνθρακα) και φωτεινή ενέργεια που δεσμεύεται από τη χλωροφύλλη.

➤ Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) είναι πηγή άνθρακα και οξυγόνου για τη γλυκόζη (Εικόνα 1).

➤ Το νερό είναι πηγή υδρογόνου για τη γλυκόζη (Εικόνα 1).



Εικόνα 1

Η πορεία των ατόμων στη φωτοσύνθεση<sup>α</sup>

### Σημασία φωτοσύνθεσης

1. *Παραγωγή οργανικών ουσιών.* Οι φωτοσυνθέτοντες οργανισμοί είναι οι μόνοι που παράγουν οργανικές ουσίες που απαιτούνται **(α)** για την κατασκευή του σώματος και **(β)** για την εξασφάλιση ενέργειας. Γι' αυτό ονομάζονται και παραγωγοί.

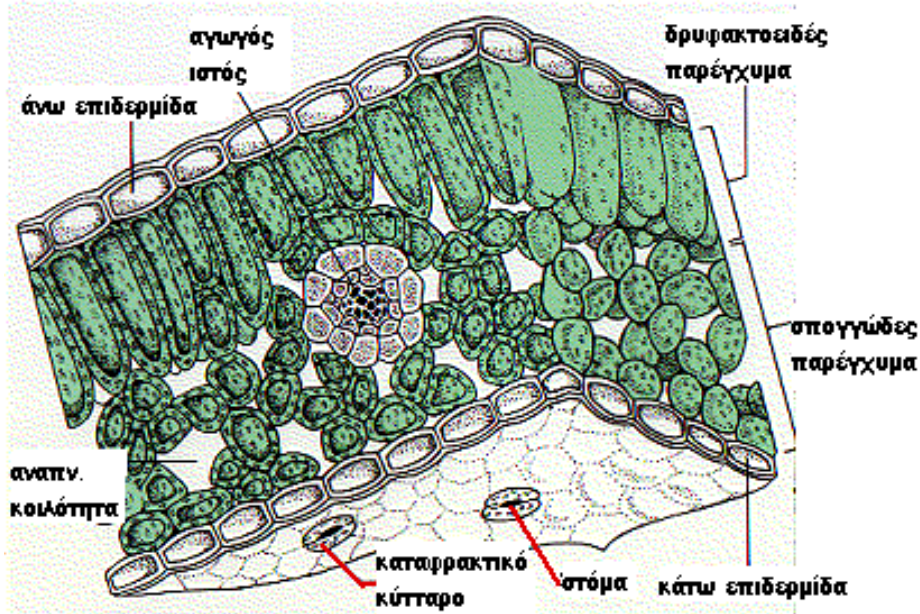
2. *Παραγωγή οξυγόνου.* Το οξυγόνο της ατμόσφαιρας που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των περισσότερων οργανισμών προέρχεται από τη φωτοσύνθεση.

3. *Μείωση του φαινομένου θερμοκηπίου.* Η φωτοσύνθεση χρησιμοποιεί το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας που είναι το κυριότερο αέριο που προκαλεί το φαινόμενο θερμοκηπίου.

Σε ποιο μέρος του κυττάρου διεξάγεται η φωτοσύνθεση;

➤ Η φωτοσύνθεση διεξάγεται στους χλωροπλάστες (Εικόνα 2) διότι εκεί υπάρχουν οι χρωστικές ουσίες.

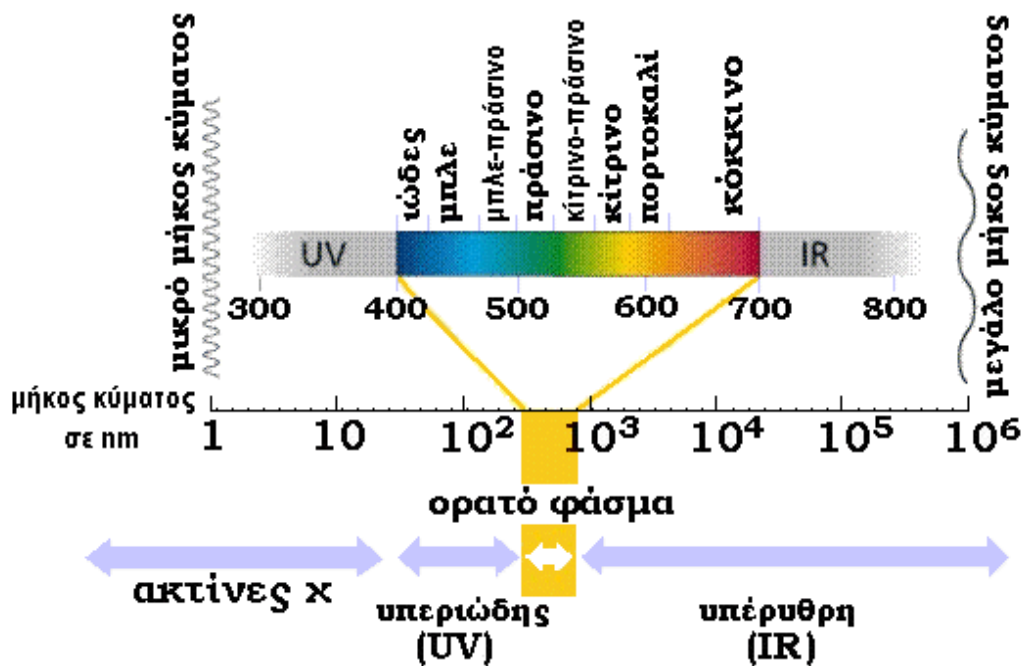
➤ Οι χλωροπλάστες βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα των φυτικών κυττάρων.



Εικόνα 2

Τομή φύλλου<sup>β</sup>

➤ Χρωστικές ουσίες είναι οι ουσίες των οποίων τα μόρια απορροφούν ακτινοβολίες από το ορατό φάσμα φωτός (Εικόνα 3).



Εικόνα 3

Το φάσμα της ορατής ακτινοβολίας<sup>α</sup>

➤ **Φωτοσυνθετικές χρωστικές** είναι οι χρωστικές που έχουν σχέση με τη φωτοσύνθεση και τις συναντούμε στα φύλλα και άλλα μέρη των οργανισμών που φωτοσυνθέτουν.

➤ Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές είναι οι **χλωροφύλλες** α, β, γ και δ (διαφορετική απόχρωση του πράσινου η καθεμιά), τα **καροτίνια** (πορτοκαλί) και οι **ξανθοφύλλες** (κίτρινο).

### ΕΡΩΤΗΜΑ 1

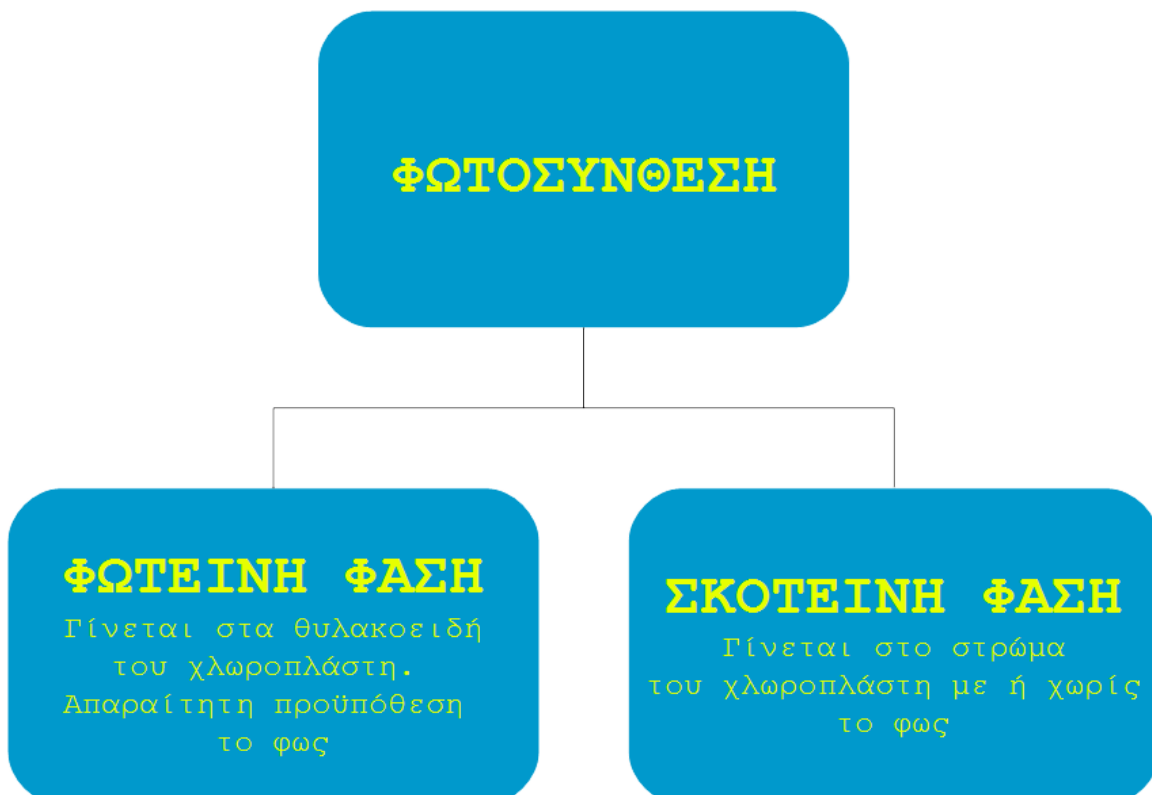
**Ποια η σημασία της ύπαρξης πολλών χρωστικών στους χλωροπλάστες;**

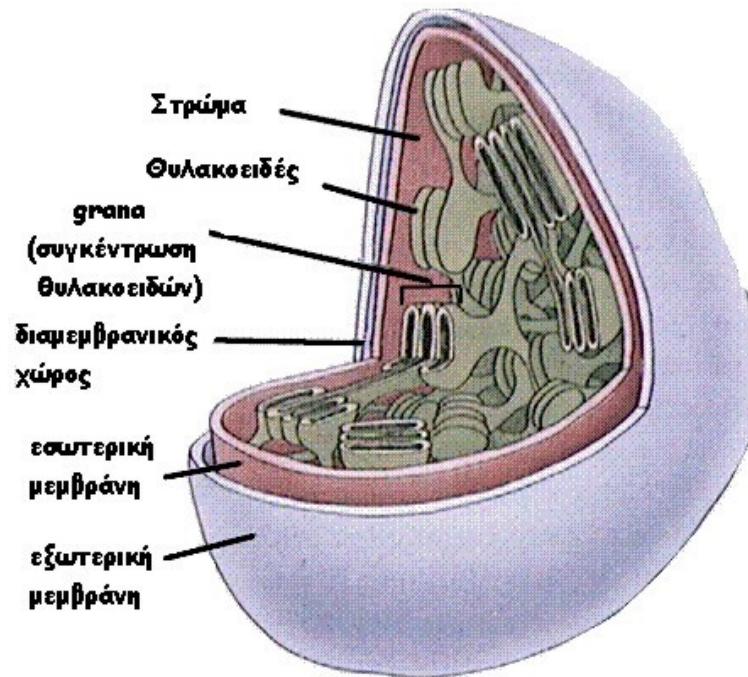
➤ Κάθε χρωστική απορροφά ένα μικρό μέρος της ορατής ακτινοβολίας που αντιστοιχεί σε κάποιο από τα χρώματα του ουράνιου τόξου (Εικόνα 3).

➤ Τα υπόλοιπα χρώματα που δεν απορροφούνται φτάνουν στο μάτι μας και συνθέτουν το χρώμα που έχει η χρωστική.

➤ Έτσι, η χλωροφύλλη απορροφά την κόκκινη και τη μπλε ακτινοβολία και αντανακλά τα υπόλοιπα χρώματα που συνθέτουν το πράσινο χρώμα.

➤ Τα πολλά είδη χρωστικών, που απορροφούν η καθεμιά διαφορετικά χρώματα από το φως, εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του φωτός από το φυτό.





Εικόνα 4

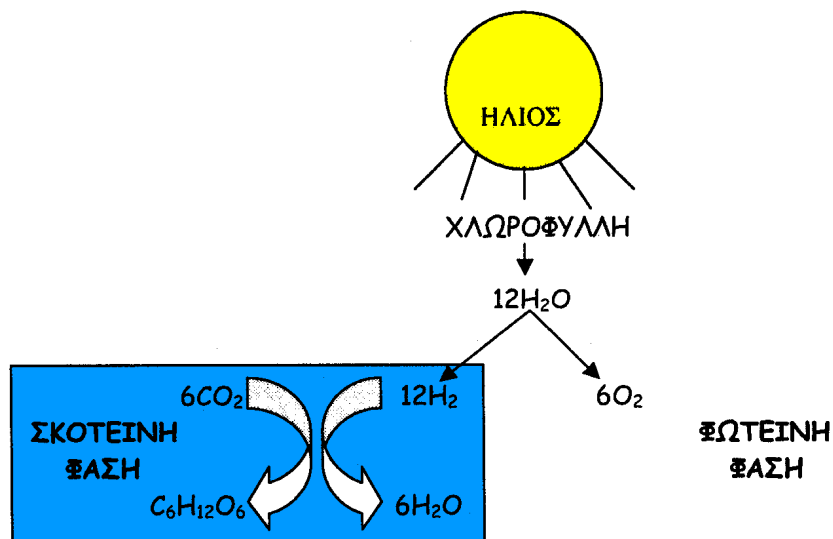
Σχηματική αναπαράσταση τομής χλωροπλάστη<sup>β</sup>

### Φωτεινή φάση

➤ Κατά τη φωτεινή φάση επιτυγχάνεται η δέσμευση της φωτεινής ενέργειας από τη χλωροφύλλη και η μετατροπή της σε χημική.

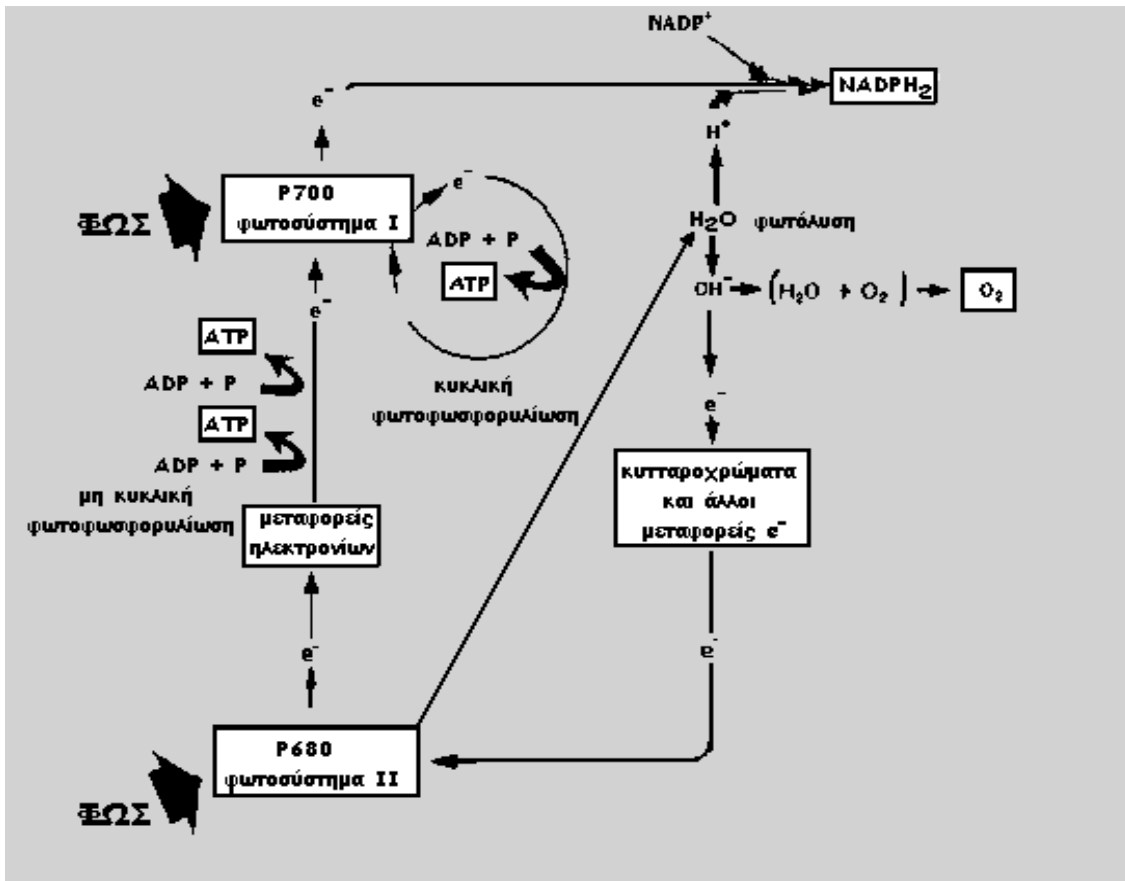
➤ Επίσης, διασπάται ο δεσμός μεταξύ H και O στο νερό με τη βοήθεια της φωτεινής ενέργειας.

➤ Το υδρογόνο διασπάται στη σκοτεινή φάση μαζί με το  $\text{CO}_2$  για να σχηματισθεί υδατάνθρακας (Εικόνα 5).



Εικόνα 5

Φωτεινή και σκοτεινή φάση φωτοσύνθεσης<sup>β</sup>



Εικόνα 6

Φωτεινή Φάση φωτοσύνθεσης<sup>β</sup>

## Περιγραφή Φωτεινής φάσης

➤ Η χλωροφύλλη  $\alpha$ P680<sup>1</sup> που βρίσκεται στο **φωτοσύστημα II**<sup>2</sup> δέχεται φως, διεγείρεται και αποβάλλει ηλεκτρόνια (φορτίζεται θετικά).

➤ Τα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) που αποβάλλονται από την P680 μεταφέρονται μέσω **μεταφορέων ηλεκτρονίων**<sup>3</sup> στη χλωροφύλλη  $\alpha$  P700<sup>1</sup> που βρίσκεται στο **φωτοσύστημα I**<sup>2</sup> η οποία προηγουμένως είχε διεγερθεί από το φως και είχε χάσει ηλεκτρόνια (Εικόνα 6).

➤ Η πρόσληψη των ηλεκτρονίων της P680 επαναφέρει την P700 στην ουδέτερή της κατάσταση.

➤ Κατά τη μεταφορά των ηλεκτρονίων από την P680 στην P700 απελευθερώνεται ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στην αντίδραση σύνθεσης της ATP:



➤ Η πιο πάνω αντίδραση καταλύεται από την ATP συνθετάση.

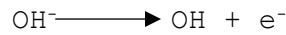
➤ Για να πάρει πίσω τα ηλεκτρόνια που έχασε και να επιστρέψει στην ουδέτερή της κατάσταση, η θετικά φορτισμένη P680 ελκύει ηλεκτρόνια από τα γειτονικά της μόρια νερού.



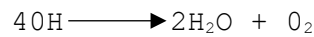
➤ Τα μόρια του νερού διίστανται σύμφωνα με την πιο κάτω αντίδραση σε **πρωτόνια** ( $\text{H}^+$ ) και **υδροξυλιόντα** ( $\text{OH}^-$ ).



➤ Τα υδροξυλιόντα αποβάλλουν ηλεκτρόνια που καταλήγουν στην P680 και την επαναφέρουν στην ουδέτερη κατάσταση. Στη συνέχεια μετατρέπονται σε μόρια υδροξυλίου ( $\text{OH}$ ) σύμφωνα με την αντίδραση:

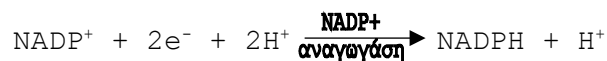


➤ Τα υδροξύλια μετατρέπονται στη συνέχεια σε **μόρια οξυγόνου** ( $\text{O}_2$ ) που αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα και νερού ( $\text{H}_2\text{O}$ ) που επαναφωτολύονται. Η αντίδραση που περιγράφει την πιο πάνω πρόταση είναι η πιο κάτω:



➤ Το φαινόμενο κατά το οποίο διασπώνται τα μόρια του νερού σε πρωτόνια, ηλεκτρόνια και οξυγόνο με τη βοήθεια του φωτός ονομάζεται **φωτόλυση**.

➤ Τα ηλεκτρόνια που αποβάλλονται από την P700 μαζί με τα πρωτόνια που αποβάλλονται από τη φωτόλυση χρησιμοποιούνται στην **αντίδραση αναγωγής του NADP<sup>+</sup>**:



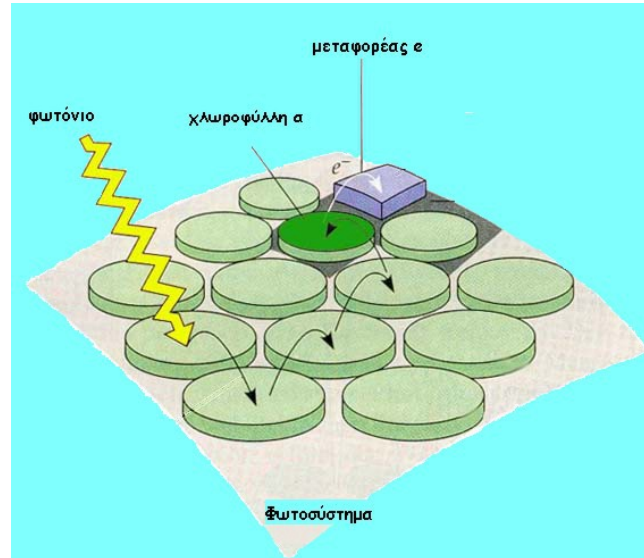
➤ Η πιο πάνω αντίδραση καταλύεται από την NADP αναγωγάση.

➤ Η πιο πάνω περιγραφή αντιστοιχεί στη **μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση**<sup>6</sup>. Ορισμένοι κατώτεροι οργανισμοί επιτελούν ένα άλλο είδος φωτοφωσφορυλίωσης που ονομάζεται **κυκλική φωτοφωσφορυλίωση**<sup>7</sup>.

➤ Κατά τη διαδικασία αυτή η χλωροφύλλη α P700 που βρίσκεται στο φωτοσύστημα I δέχεται φως, διεγείρεται και αποβάλλει ηλεκτρόνια τα οποία με τη βοήθεια των μεταφορέων ηλεκτρονίων επιστρέφουν πίσω στην P700 και την καθιστούν ουδέτερη. Κατά τη μεταφορά των ηλεκτρονίων απελευθερώνεται ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στην αντίδραση σύνθεσης της ATP.

**Διευκρινήσεις**

- <sup>1</sup> Υπάρχουν δύο κατηγορίες χλωροφύλλης α: η **P680** και η **P700**.
- <sup>2</sup> **Φωτοσύστημα** (PS) είναι ένα σύστημα χλωροφυλλών και άλλων χρωστικών. Υπάρχουν δύο είδη φωτοσυστημάτων: το φωτοσύστημα I (PSI) και το φωτοσύστημα II (PSII) (Εικόνα 7).

**Εικόνα 7**

Σχηματική αναπαράσταση φωτοσυστήματος<sup>β</sup>

- <sup>3</sup> Οι **μεταφορείς ηλεκτρονίων** είναι πρωτεΐνες που βρίσκονται πάνω σε μεμβράνες. Υποδέχονται τα ηλεκτρόνια και τα μεταβιβάζουν σε άλλα μόρια.

- <sup>4</sup> **ATP**: τριφωσφορική αδενοσίνη  
**ADP**: διφωσφορική αδενοσίνη

Η **ATP** παρομοιάζεται ως το **ενεργειακό νόμισμα** του κυττάρου διότι όταν υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια αυτή αποθηκεύεται στο μόριό της και συγκεκριμένα στο δεσμό μεταξύ της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> φωσφορικής ομάδας σύμφωνα με την αντίδραση:



Όταν το κύτταρο χρειαστεί την αποθηκευμένη ενέργεια που βρίσκεται στο μόριο της ATP επιτελείται η αντίστροφη αντίδραση και η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται και μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί για τις διάφορες λειτουργίες του κυττάρου. Η αντίστροφη αντίδραση είναι:



- <sup>5</sup> **NADP<sup>+</sup>**: φωσφορικό -νικοτιναμίδο -αδενίνο -δινουκλεοτίδιο  
**NADPH + H<sup>+</sup>**: ανηγμένη μορφή του φωσφορικού-νικοτιναμίδο-αδενίνο-δινουκλεοτιδίου.

Η **NADP<sup>+</sup>** **αναγωγιάση** είναι το ένζυμο που επιταχύνει την αντίδραση αναγωγής της NADP<sup>+</sup> σε NADPH.

Όταν μιλάμε για **αναγωγή** εννοούμε την πρόσληψη υδρογόνου ή την αποβολή οξυγόνου από μία ουσία. Αντιστρόφως, όταν μιλάμε για **οξειδωση** εννοούμε την αποβολή υδρογόνου ή την πρόσληψη οξυγόνου από μία ουσία.

<sup>6</sup> Είναι συντομογραφία της μη κυκλικής φωτοσυνθετικής φωσφορυλίωσης. Ονομάζεται **φωσφορυλίωση** διότι κατά τη διάρκεια της φωσφορυλιώνεται, δηλαδή συνδέεται με φωσφορική ομάδα, το μόριο της ADP και μετατρέπεται σε ATP (κοίτα την αντίδραση στην προηγούμενη σελίδα). Επίσης, ονομάζεται **μη κυκλική** γιατί τα ηλεκτρόνια που λαμβάνουν μέρος σε αυτήν ακολουθούν μη κυκλική τροχιά καθώς ξεκινούν από άλλο μόριο (H<sub>2</sub>O) και καταλήγουν σε άλλο μόριο (NADPH). Τέλος, ονομάζεται **φωτοσυνθετική** διότι γίνεται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης.

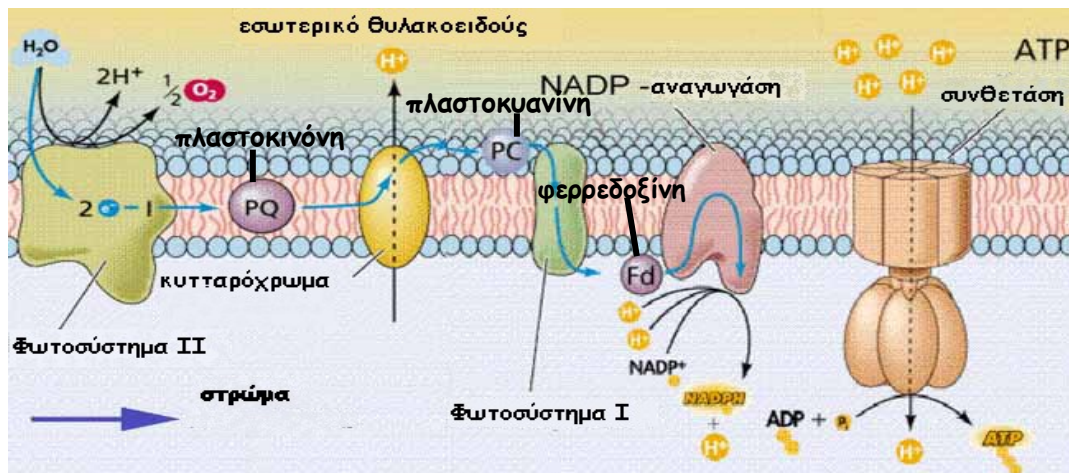
<sup>7</sup> Είναι συντομογραφία της **κυκλικής φωτοσυνθετικής φωσφορυλίωσης**. Ονομάζεται κυκλική λόγω της κυκλικής τροχιάς που ακολουθούν τα ηλεκτρόνια που λαμβάνουν μέρος σε αυτήν (Πίνακας 1).

### Πίνακας 1

Σύγκριση κυκλικής και μη κυκλικής φωτοσυνθετικής φωσφορυλίωσης<sup>b</sup>

ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΦΩΣΦΟΡΥΛΙΩΣΗ	
ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΗ	ΚΥΚΛΙΚΗ
1. Τα ηλεκτρόνια του νερού αποϊονίζουν την P680 της οποίας τα ηλεκτρόνια αποϊονίζουν την P700. Τα ηλεκτρόνια της τελευταίας καταλήγουν στην NADPH (μη κυκλική τροχιά).	1. Τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από την P700 επιστρέφουν πίσω στην P700 (κυκλική τροχιά)
2. Συμμετέχουν δύο φωτοσυστήματα: το PSI και το PSII	2. Συμμετέχει μόνο ένα φωτοσύστημα: το PSI
3. Συμμετέχουν δύο είδη χλωροφύλλης: η P680 και η P700	3. Συμμετέχει μόνο ένα είδος χλωροφύλλης: η P700
4. Γίνεται φωτόλυση του νερού	4. Δεν γίνεται φωτόλυση του νερού
5. Απελευθερώνεται οξυγόνο	5. Δεν απελευθερώνεται οξυγόνο
6. Σύνθετη και εξελιγμένη διαδικασία	6. Απλή και πρωτόγονη διαδικασία
7. Συμβαίνει σε ανώτερους οργανισμούς	7. Συμβαίνει σε κατώτερους οργανισμούς
8. Κάθε φορά που γίνεται απελευθερώνονται 2 μόρια ATP	8. Κάθε φορά που γίνεται απελευθερώνεται 1 μόριο ATP
9. Παράγεται NADPH.	9. Δεν παράγεται NADPH.

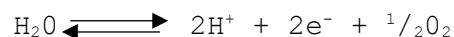
## Ερμηνεία της μη κυκλικής φωτοφωσφορυλίωσης με τη χημειώσμωση



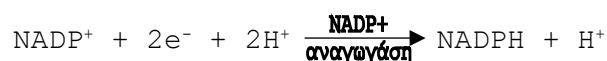
Εικόνα 8

Μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση με τη χημειώσμωση<sup>β</sup>

- Η χλωροφύλλη **α P680** που βρίσκεται στο **φωτοσύστημα II** δέχεται φως, διεγείρεται και αποβάλλει ηλεκτρόνια.
- Τα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) που αποβάλλονται από την P680 μεταφέρονται μέσω μεταφορέων ηλεκτρονίων (πρωτογενής δέκτης  $e$ , πλαστοκινόννη, κυτταρόχρωμα, πλαστοκυανίνη) στη χλωροφύλλη **α P700** που βρίσκεται στο **φωτοσύστημα I** η οποία προηγουμένως είχε διεγερθεί από το φως και είχε χάσει ηλεκτρόνια.
- Η πρόσληψη των ηλεκτρονίων της P680 αποϊονίζει την P700.
- Κατά τη μεταφορά των ηλεκτρονίων από την P680 στην P700 απελευθερώνεται ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται από τα κυτταροχρώματα για να μεταφέρουν **πρωτόνια** ( $H^+$ ) από το στρώμα στο εσωτερικό του θυλακοειδούς (Εικόνα 8).
- Για να ξαναπάρει πίσω τα ηλεκτρόνια που έχασε και να επιστρέψει στην ουδέτερή της κατάσταση, η θετικά φορτισμένη P680 ελκύει ηλεκτρόνια από τα γειτονικά της μόρια νερού.
- Τα μόρια του νερού **φωτολύονται** σε πρωτόνια ( $H^+$ ) που καταλήγουν στο εσωτερικό του θυλακοειδούς, οξυγόνο ( $O_2$ ) που αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα και ηλεκτρόνια που επαναφέρουν την P680 στην ουδέτερη κατάσταση. Η αντίδραση της φωτόλυσης είναι η πιο κάτω:



- Τα ηλεκτρόνια που αποβάλλονται από την P700 φτάνουν με τη βοήθεια των μεταφορέων ηλεκτρονίων (πρωτογενής δέκτης  $e$  και φερρεδοξίνη) στην **NADP<sup>+</sup> αναγωγή** όπου χρησιμοποιούνται μαζί με πρωτόνια του στρώματος στην **αντίδραση αναγωγής του NADP<sup>+</sup>** που καταλύεται από την NADP<sup>+</sup> αναγωγή.



➤ Η συγκέντρωση πρωτονίων στο εσωτερικό του θυλακοειδούς είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη συγκέντρωση στο στρώμα για τρεις λόγους:

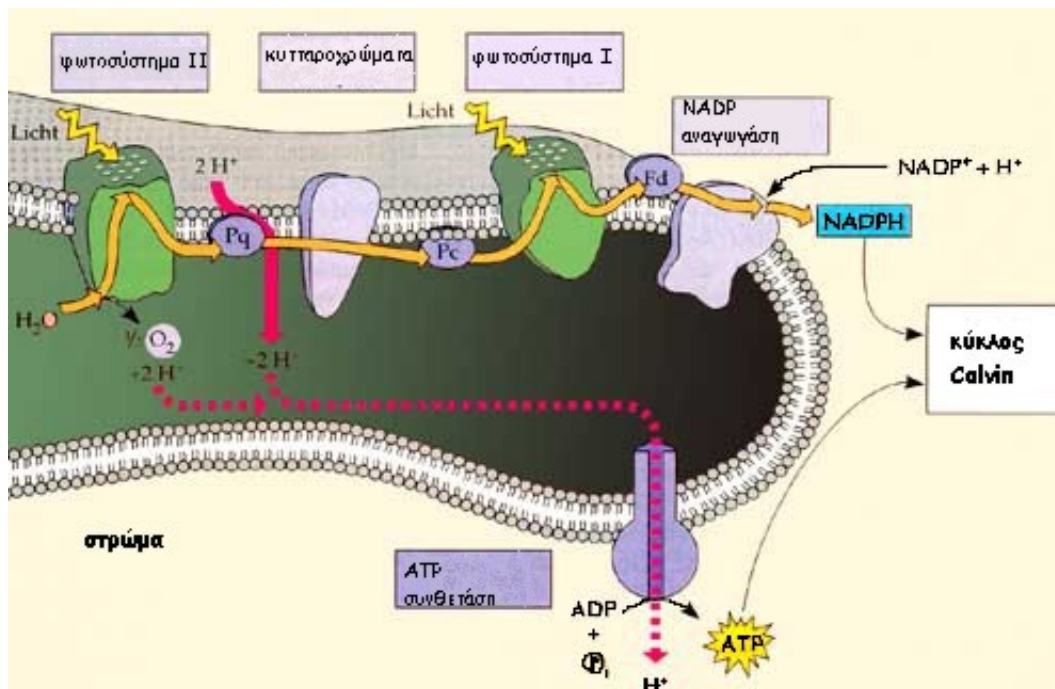
(α) η φωτόλυση έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση πρωτονίων ( $H^+$ ) στο εσωτερικό του θυλακοειδούς,

(β) τα κυτταροχρώματα μεταφέρουν συνεχώς πρωτόνια από το στρώμα στο εσωτερικό του θυλακοειδούς και

(γ) στην αντίδραση αναγωγής του  $NADP^+$  χρησιμοποιούνται πρωτόνια από το στρώμα μειώνοντας ακόμη περισσότερο τη συγκέντρωση πρωτονίων του στρώματος.

➤ Τα πρωτόνια, όπως άλλωστε και όλα τα σωματίδια, έχουν μια τάση να κατευθύνονται από περιοχές μεγάλης προς περιοχές μικρής συγκέντρωσης. Έτσι, τείνουν να κινηθούν από το εσωτερικό του θυλακοειδούς προς το στρώμα.

➤ Η μόνη δίοδος για τα πρωτόνια είναι το κανάλι της ATP συνθετάσης. Η κίνηση των πρωτονίων μέσα από το κανάλι απελευθερώνει ενέργεια που χρησιμοποιείται στην πιο κάτω αντίδραση σύνθεσης της ATP που επιταχύνεται από την ATP συνθετάση.



Εικόνα 9

Φωτεινή φάση και σύνδεση των προϊόντων της με τον κύκλο του Calvin<sup>β</sup>

### Σκοτεινή φάση

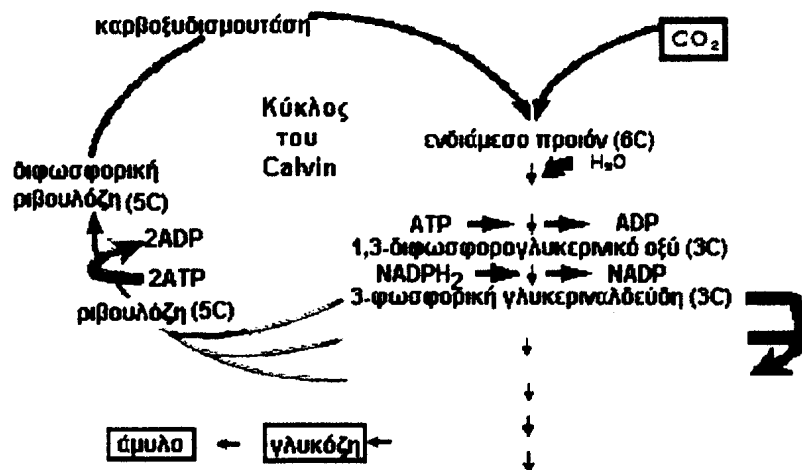
➤ Αποτελείται από μια σειρά πολύπλοκων αντιδράσεων που ονομάζεται **Κύκλος του Calvin** (Εικόνα 10).

➤ Στον Κύκλο του Calvin χρησιμοποιείται η ενέργεια που αποθηκεύεται στα μόρια της **ATP** κατά τη φωτεινή φάση και το υδρογόνο που μεταφέρεται από το **NADPH** για να αναχθεί το **CO<sub>2</sub>**, που προσλαμβάνεται από το περιβάλλον και να σχηματισθεί τελικά η γλυκόζη.

➤ Συνεπώς, τα δύο (ATP και NADPH) από τα τρία προϊόντα της φωτεινής φάσης είναι **απαραίτητα** για τη διεξαγωγή της σκοτεινής φάσης.

➤ Στην Εικόνα 10 παρατηρούμε ότι υπάρχει συνεχής ανανέωση των αποθεμάτων της διφωσφορικής ριβουλόζης. Όσο παρέχονται στον κύκλο ATP και NADPH από τη φωτεινή φάση και CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα συνεχίζει να ανανεώνεται η ριβουλόζη και να παράγεται γλυκόζη.

➤ Η σκοτεινή φάση διεξάγεται στο στρώμα του χλωροπλάστη.



Εικόνα 10  
Κύκλος του Calvin<sup>8</sup>

#### Τρεις σημαντικότερες αντιδράσεις του Κύκλου του Calvin

1. ριβουλόζη + 2ATP  $\longrightarrow$  διφωσφορική ριβουλόζη + 2ADP  
(5C) (5C)
2. διφωσφορική ριβουλόζη + CO<sub>2</sub>  $\xrightarrow{\text{καρβοξυδισμουτάση}}$  ενδιάμεσο προϊόν  
(5C) (6C)
3. διφωσφορογλυκερικό οξύ + NADPH  $\longrightarrow$  φωσφορογλυκεριναλδεΰδη + NADP<sup>+</sup>  
(3C) (3C)

#### Σημαντικά μόρια στον Κύκλο του Calvin

➤ Η **διφωσφορική ριβουλόζη** που ενεργοποιείται με δυο φωσφορικές ομάδες από το ATP και δεσμεύει το CO<sub>2</sub>.

➤ Το ένζυμο **καρβοξυδισμουτάση** που καθιστά εφικτή την πρόσληψη του CO<sub>2</sub>.

➤ Το **διφωσφορογλυκερικό οξύ** λειτουργεί ως δέκτης υδρογόνου του NADPH.

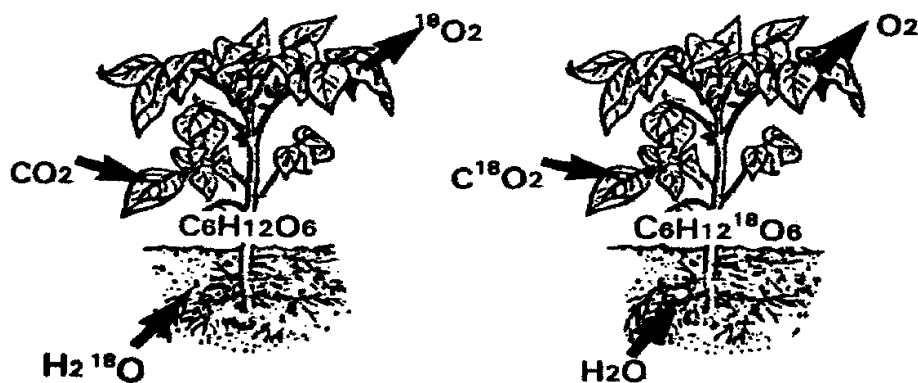
**Από πού προέρχεται το οξυγόνο που απελευθερώνεται κατά τη φωτοσύνθεση;**

**Πείραμα ισοτόπων**

☞ Για να προσδιορίσουμε από πού προέρχεται το οξυγόνο που απελευθερώνεται κατά τη φωτοσύνθεση μπορούμε να κάνουμε ένα πείραμα κατά το οποίο ποτίζουμε κάποια φυτά χρησιμοποιώντας νερό με μεγάλη αναλογία ισοτόπου του οξυγόνου.

☞ Το  $O^{18}$  είναι ραδιενεργό και μπορεί να ανιχνευθεί με μετρητή ραδιενέργειας.

☞ Παρατηρούμε ότι η αναλογία του ισοτόπου αυτού στο οξυγόνο που αποβάλλεται από τα φυτά παραμένει η ίδια (Εικόνα 11).



**Εικόνα 11**

Πείραμα ισοτόπων<sup>β</sup>

➤ Αν, όμως, δοθεί στα φυτά διοξειδίο του άνθρακα ( $CO_2$ ) με μεγάλη αναλογία σε  $O^{18}$  ενώ αυτά ποτίζονται με κανονικό νερό (χωρίς  $O^{18}$ ) παρατηρούμε ότι το ισότοπο αυτό καταλήγει στη γλυκόζη και δεν αποβάλλεται ως οξυγόνο κατά τη φωτεινή φάση.

➤ Το πιο πάνω πείραμα αποδεικνύει ότι το οξυγόνο του νερού καταλήγει στην ατμόσφαιρα ενώ το οξυγόνο του διοξειδίου του άνθρακα στη γλυκόζη.

**Πώς αποδεικνύεται ότι το φως είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση;**

➤ Αφήνουμε ένα φυτάριο στο σκοτάδι για 24 ώρες για απαμύλωση.

➤ **Απαμύλωση** είναι η απομάκρυνση όλης της ποσότητας αμύλου από τα φύλλα του φυτού λόγω της χρησιμοποίησής του από το φυτό όσο καιρό βρίσκεται στο σκότος.

➤ Ακολούθως, καλύπτουμε κάποια φύλλα με αλουμινόχαρτο για να μην φωτίζονται.

➤ Από **ανίχνευση αμύλου** που κάνουμε στα φύλλα που φωτίζονταν και σε αυτά που ήταν καλυμμένα (σκοτάδι) διαπιστώνουμε ότι στα πρώτα υπάρχει άμυλο ενώ στα δεύτερα δεν υπάρχει.

**Ανίχνευση αμύλου**

➤Κόβουμε ένα φύλλο και το τοποθετούμε σε θερμή αλκοόλη για να αποχρωματιστεί όπως φαίνεται στην *εικόνα 12*.

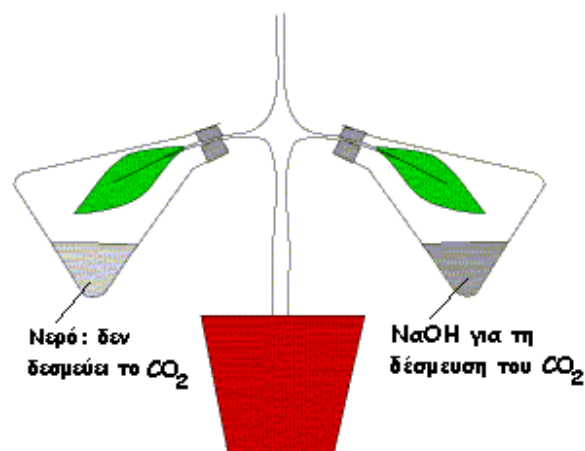
**Εικόνα 12**

Αποχρωματισμός φύλλου για να ακολουθήσει χρώση ιωδίου<sup>β</sup>

- Ξεπλένουμε με χλιαρό νερό και ρίχνουμε στη συνέχεια διάλυμα ιωδιούχου καλίου (KI) που έχει καφεκίτρινο χρώμα.
- Αν το φύλλο πάρει σκούρο μπλε χρώμα σημαίνει ότι περιέχει άμυλο το οποίο προήλθε από τη φωτοσύνθεση.

**Πώς αποδεικνύεται ότι το CO<sub>2</sub> είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση;**

- Στη συσκευή της *Εικόνας 13* το ένα δοχείο περιέχει καυστικό νάτριο (NaOH) που δεσμεύει το CO<sub>2</sub> (το CO<sub>2</sub> δεσμεύεται και από άλλες βάσεις όπως KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Ba(OH)<sub>2</sub>).
- Το άλλο δοχείο περιέχει νερό που δεν δεσμεύει το CO<sub>2</sub>.
- Από ανίχνευση αμύλου που κάνουμε στα φύλλα διαπιστώνουμε ότι στο φύλλο του δοχείου που είχε CO<sub>2</sub> περιέχεται άμυλο ενώ στο άλλο όχι.

**Εικόνα 13**

Πειραματική συσκευή για την απόδειξη της αναγκαιότητας του CO<sub>2</sub> στη φωτοσύνθεση<sup>β</sup>



**Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της φωτοσύνθεσης**

➤Ρυθμός σημαίνει ταχύτητα.

➤Για όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της φωτοσύνθεσης (όπως και κάθε άλλης βιολογικής διεργασίας) υπάρχει μία **άριστη τιμή** στη συγκέντρωσή τους στην οποία το φυτό φωτοσυνθέτει τάχιστα και κάθε απόκλιση από την τιμή αυτή ελαττώνει το ρυθμό.

➤Ο ρυθμός κάθε βιολογικής διεργασίας επηρεάζεται περισσότερο από τον παράγοντα εκείνον του οποίου η συγκέντρωση έχει τη μεγαλύτερη διαφορά από την άριστη τιμή. Ο παράγοντας αυτός ονομάζεται **περιοριστικός παράγοντας** διότι είναι αυτός που περιορίζει την ταχύτητα του φαινομένου έστω κι αν οι υπόλοιποι παράγοντες βρίσκονται στην άριστή τους τιμή.

**1. Συγκέντρωση CO<sub>2</sub>**

Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα είναι 0,03% ενώ η άριστη τιμή κυμαίνεται μεταξύ 8% και 14%.

**2. Ένταση του φωτός**

Όσο αυξάνεται η ένταση του φωτός τόσο αυξάνεται και ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης. Από ένα σημείο και μετά όμως η αύξηση της έντασης προκαλεί μείωση του ρυθμού διότι αυξάνεται η θερμοκρασία του φύλλου. Η αύξηση της θερμοκρασίας του φύλλου αυξάνει την εξάτμιση του νερού. Για να αποφύγει την αφυδάτωση, το φυτό κλείνει τα στόματά του (*Εικόνα 2*). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην προσλαμβάνεται αρκετό CO<sub>2</sub> και να μειώνεται ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης.

**3. Θερμοκρασία**

Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης μέχρι να αρχίσει η εξάτμιση του νερού.

**4. Ποσότητα χλωροφύλλης**

Η αύξηση της ποσότητας της χλωροφύλλης μέσα στα φύλλα οδηγεί σε αύξηση της πρόσληψης φωτός και συνεπώς στην αύξηση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης. Η αύξηση όμως της ποσότητας της χλωροφύλλης πέραν μίας ορισμένης τιμής έχει σαν αποτέλεσμα τα φύλλα των ανώτερων κλαδιών του φυτού να γίνονται τόσο σκουρόχρωμα ώστε να μην επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει στα κατώτερα φύλλα. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης.

### **5. Νερό**

Όταν το φυτό δεν ποτίζεται ικανοποιητικά κλείνει τα στόματά του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην προσλαμβάνεται αρκετό CO<sub>2</sub> και να μειώνεται ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης.

### **6. Ανόργανα άλατα**

Η έλλειψη των ανόργανων αλάτων από το υπόστρωμα του φυτού μειώνει το ρυθμό της φωτοσύνθεσης γιατί αυτά είναι απαραίτητα για το σχηματισμό σημαντικών μορίων της φωτοσύνθεσης. Για παράδειγμα το μαγνήσιο (Mg) και το άζωτο (N) είναι αναγκαία για τη σύνθεση του μορίου της χλωροφύλλης και ο σίδηρος (Fe), το θείο (S), το μαγγάνιο (Mn) και ο φωσφόρος (P) παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό της. Η υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης αυτών των αλάτων στο υπόστρωμα μπορεί όμως να επιφέρει ασθένειες στο φυτό που να μειώσουν το ρυθμό της φωτοσύνθεσης.

### **7. Ρύπανση**

Στη ρύπανση δεν ισχύει ο όρος της άριστης τιμής. Όσο μικρότερη η συγκέντρωση ρυπαντών όπως η αιθάλη και το θειώδες οξύ που προέρχονται από τις εξατμίσεις των μηχανών και των εργοστασίων τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης.

**Λεξιλόγιο**

Αυτότροφοι οργανισμοί  
Ετερότροφοι οργανισμοί  
Παραγωγοί  
Καταναλωτές  
Ολοζωική διατροφή  
Σαπροφυτική διατροφή  
Σαπρόφυτα  
Αποικοδομητές  
Παρασιτική διατροφή  
Παράσιτο  
Ξενιστής  
Φωτοσύνθεση  
Χλωροφύλλη  
Φωτοσυνθέτοντα βακτήρια  
Θειοβακτήρια  
Βακτηριοχλωροφύλλη  
Υδρογονούχα ουσία  
Χημειοσύνθεση  
Χημειοσυνθέτοντα βακτήρια  
Νιτροβακτήρια  
Χρωστικές ουσίες  
Ορατό φάσμα φωτός  
Φωτοσυνθετικές χρωστικές  
Καροτίνια  
Ξανθοφύλλες  
Θυλακοειδή  
Στρώμα  
Φωτεινή φάση  
Σκοτεινή φάση  
Φωτοσύστημα  
Μεταφορείς ηλεκτρονίων  
Αποϊονισμός  
Φωτόλυση  
Αντίδραση αναγωγής του  $\text{NADP}^+$   
Μη κυκλική και κυκλική φωτοσυνθετική φωσφορυλίωση  
Φωσφορυλίωση  
Χημειώσμωση  
Εσωτερικό θυλακοειδούς

Κύκλος του Calvin

Διφωσφορική ριβουλόζη

Καρβοξυδισμουτάση

Διφωσφορογλυκερινικό οξύ

Πείραμα ισοτόπων

Απαμύλωση

Ανίχνευση αμύλου

Άριστη τιμή

Περιοριστικός παράγοντας

<b>Ερωτήσεις</b>
------------------

1. Ποιες είναι οι διαφορές μεταξύ φωτοσύνθεσης και χημειοσύνθεσης;
2. Ποια είναι η βασικότερη διαφορά της βακτηριοφωτοσύνθεσης από τη χημειοσύνθεση που κάνουν κάποια βακτήρια; Να γράψετε τις σχετικές αντιδράσεις.
3. Σε τι διαφοροποιείται η φωτοσύνθεση των φωτοσυνθετικών βακτηρίων από αυτή των φυτών;
4. Ποιοι οργανισμοί παράγουν οξυγόνο και κάτω από ποιες προϋποθέσεις;
5. Ποια είναι η αρχική προέλευση των ατόμων του άνθρακα, του υδρογόνου και του οξυγόνου που αποτελούν το μόριο της γλυκόζης που παράγουν τα φυτά με τη φωτοσύνθεση;
6. Τι ονομάζεται φωτοσύνθεση και ποια η σημασία της για τη ζωή στον πλανήτη μας;
7. Να εξηγήσετε πώς η P680 συμβάλλει στη φωτόλυση του νερού;
8. Τι εννοούμε με τον όρο "φωτοσυστήματα" και πού εντοπίζονται αυτά;
9. Ποιο από τα ακόλουθα που αναφέρονται στη χλωροφύλλη αP700 του φωτοσυστήματος I είναι λάθος;
  - A. Αποϊονίζεται από τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνει η χλωροφύλλη αP680.
  - B. Προσφέρει τα ηλεκτρόνιά της στο NADP<sup>+</sup> για την αναγωγή του.
  - Γ. Δέχεται ηλεκτρόνια που προέρχονται από τον ιονισμό της.
  - Δ. Αποβάλλει ηλεκτρόνια που προσφέρουν ενέργεια για την κυκλική και μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση
  - Ε. Δέχεται ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται από τα OH<sup>-</sup> κατά τη φωτόλυση του νερού.
10. Από ποια στάδια αποτελείται η φωτεινή φάση της φωτοσύνθεσης; Ποια είναι τα μόρια που παράγονται, ποια από αυτά αναγεννώνται και πού; Ποια η χρησιμότητά τους;

11. Τι ονομάζεται φωτοσυνθετική φωσφορυλίωση ή φωτοφωσφορυλίωση και ποιες είναι οι διαφορές ανάμεσα στην κυκλική και στη μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση;

12. Ποια από όσα αναφέρονται πιο κάτω για τη χλωροφύλλη αP680 είναι ορθά;

1. Βρίσκεται στο φωτοσύστημα II
2. Αποϊονίζει τη χλωροφύλλη αP700
3. Δεσμεύει τα ηλεκτρόνια του H<sub>2</sub>O κατά τη φωτόλυσή του
4. Μετά από διεγερσή της ιονίζεται
5. Τροφοδοτεί με ηλεκτρόνια το NADPH

**A.** 1, 2, 3 μόνο

**Γ.** 2, 4 μόνο

**B.** 1, 2, 3, 4 μόνο

**Δ.** 1, 3 μόνο

**E.** άλλος συνδυασμός

13. Η κυκλική φωτοφωσφορυλίωση γίνεται κατά

**A.** τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τη χλωροφύλλη αP680 στη χλωροφύλλη αP700 με τη βοήθεια μεταφορέων.

**B.** την επιστροφή των ηλεκτρονίων που αποβάλλει η χλωροφύλλη αP700 πίσω σ' αυτήν.

**Γ.** τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τη χλωροφύλλη αP700 στο NADPH.

**Δ.** τη δέσμευση των ηλεκτρονίων του νερού από τη χλωροφύλλη αP680.

**E.** τη μετατροπή του φωσφορογλυκερινικού οξέος σε διφωσφορογλυκερινικό.

14. Πού επιτελείται η σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης; Ποια συστατικά είναι απαραίτητα για τη πραγματοποίησή της; Ποια τα προϊόντα της;

15. Με τη φωτοσύνθεση ένα φυτικό κύτταρο συνθέτει μόρια γλυκόζης.

**(α)** Να εξηγήσετε από ποιο μέρος και από ποιες ενώσεις προέρχονται τα άτομα του άνθρακα, του υδρογόνου και του οξυγόνου της γλυκόζης.

**(β)** Από ποια χημική ένωση (και ποιο χημικό δεσμό της) ελευθερώνεται η ενέργεια που χρειάζεται για τη σύνθεση της γλυκόζης;

**(γ)** Με κατανάλωση ποιας μορφής ενέργειας σχηματίζεται η ένωση αυτή και πώς λέγεται η πορεία της σύνθεσής της;

16. Με ποιο τρόπο γίνεται η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα κατά τη φωτοσύνθεση;

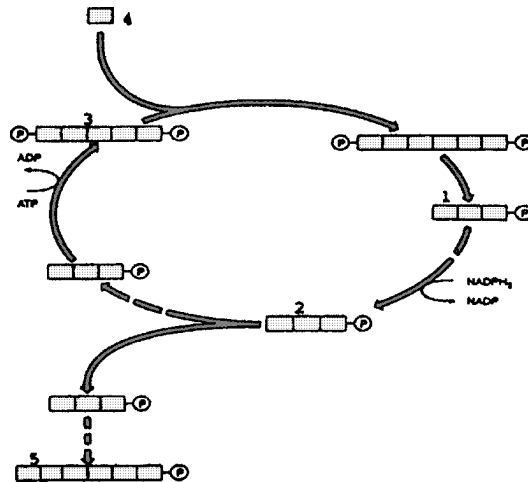
17. Να εξηγήσετε την πιο κάτω πρόταση:

“Η φωτεινή κι η σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης είναι πολύ στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους, δεν μπορεί να λειτουργήσει η μία ανεξάρτητα από την άλλη”.

18. Κατά τη μετατροπή του διφωσφορογλυκερινικού οξέος σε φωσφορογλυκεριναλδεύδη στη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης γίνεται:

- A. Αναγωγή NADPH
- B. Οξειδωση NADPH
- Γ. Αναγωγή NADP<sup>+</sup>
- Δ. Οξειδωση NADP<sup>+</sup>
- E. Αποβολή φωσφορικής ομάδας

19.



Στο διάγραμμα φαίνεται σχηματικά και πολύ περιληπτικά η σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης. Ποιος συνδυασμός αριθμών Α-Ε δίνει τις ουσίες που είναι αριθμημένες στο σχήμα με τη σειρά που αυτές αναφέρονται πιο κάτω;

- Διοξείδιο του άνθρακα
- Φωσφορογλυκεριναλδεύδη
- Διφωσφορική ριβουλόζη
- Φωσφορική γλυκόζη
- Φωσφορογλυκερινικό οξύ

A. 4 2 5 3 1

Γ. 4 2 3 5 1

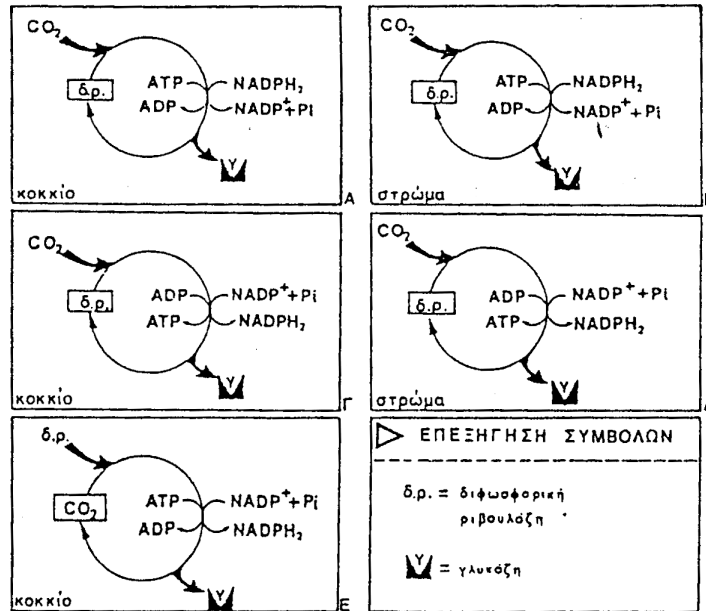
B. 1 2 3 5 4

Δ. 4 1 3 5 2

E. 2 1 5 4 3

20. Δύο δοκιμαστικοί σωλήνες Α και Β περιέχουν το ίδιο χλωροφύκος σε νερό και φωτίζονται με λευκό φως. Ο σωλήνας Α καλύπτεται με πράσινο φίλτρο και ο σωλήνας Β με κόκκινο φίλτρο. Μετά από 24 ώρες σε έναν από τους δύο σωλήνες παρατηρούνται πολυάριθμες φυσαλίδες. Σε ποιο σωλήνα και γιατί;

21. Ποιο είναι το σωστό από τα παρακάτω σχήματα;

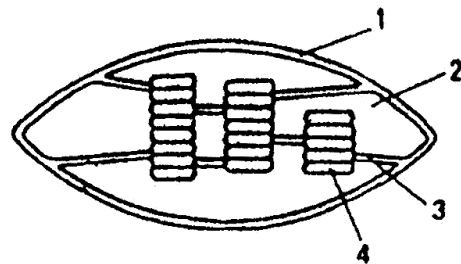


22. Ποιο από τα πιο κάτω δεν ισχύει για τη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης;

- Α.** Η καρβοξυδισμουτάση βοηθά στην πρόσληψη CO<sub>2</sub> από τη διφωσφορική ριβουλόζη.
- Β.** Η ATP συμμετέχει στη διαδικασία αναγέννησης της διφωσφορικής ριβουλόζης
- Γ.** Το φωσφορογλυκερινικό οξύ προκύπτει από την υδρόλυση ουσίας με 6 άτομα άνθρακα στο μόριό της.
- Δ.** Το NADPH ανάγει το διφωσφορογλυκερινικό οξύ σε φωσφορογλυκεριναλδεΐδη και μετατρέπεται σε NADP<sup>+</sup>.
- Ε.** Η γλυκόζη μετατρέπεται σε διφωσφορική φρουκτόζη με τη συμμετοχή δύο μορίων GTP.

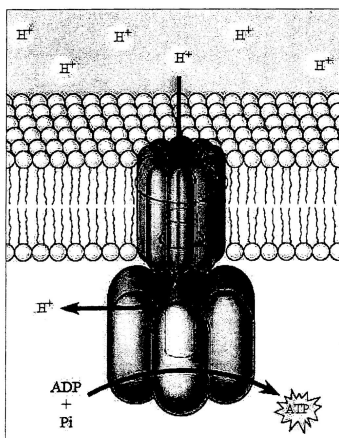
23. Ποιο από τα Α-Ε είναι το σωστό στον παρακάτω πίνακα;

	Θέση φωτεινής φάσης	Θέση σκοτεινής φάσης
<b>Α</b>	1	3
<b>Β</b>	2	4
<b>Γ</b>	3	3
<b>Δ</b>	4	2
<b>Ε</b>	4	1

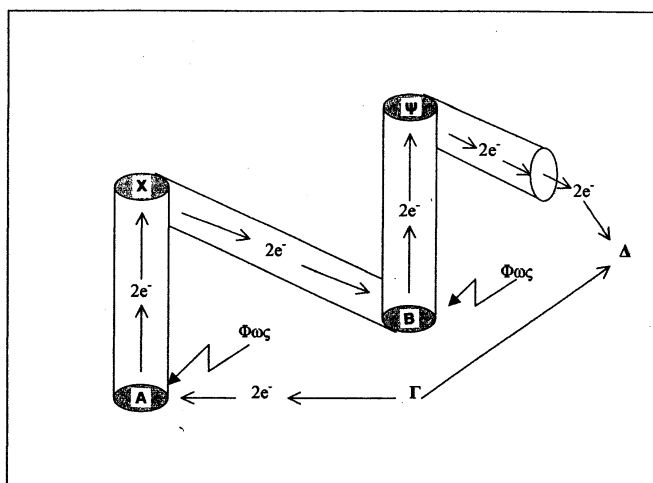




24. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα μόριο της μεμβράνης ενός θυλακοειδούς. Ποιο μόριο δείχνει και σε ποια διαδικασία αναφέρεται; Δώστε τις απαραίτητες εξηγήσεις.

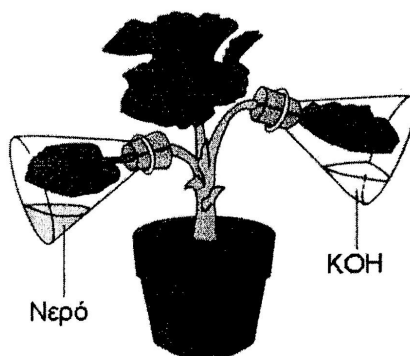


25. Τι αποδίδεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα; Ονομάστε τα Α, Β, Γ, Δ και Χ, Ψ.



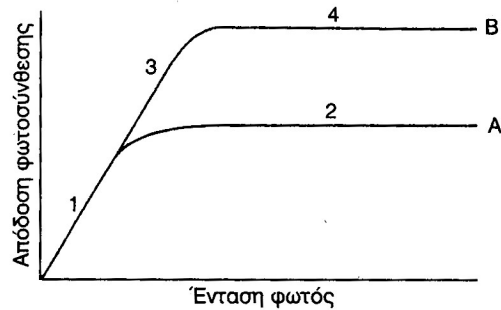
26. Πώς αποδεικνύεται πειραματικά ότι το  $O_2$  που ελευθερώνεται κατά τη φωτοσύνθεση προέρχεται όλο από το νερό;

27. Η πειραματική διάταξη που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα έχει σκοπό τη μελέτη ενός παράγοντα που επηρεάζει τη φωτοσύνθεση. Ποιος είναι αυτός ο παράγοντας; Σε ποιο φύλλο θα γίνει φωτοσύνθεση;



28. Ένα φυτό στο κέντρο της πόλης όπου υπάρχει συνεχής πυκνή τροχαία κίνηση θα έχει αυξημένο ή μειωμένο ρυθμό φωτοσύνθεσης; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

29. Το πιο κάτω σχεδιάγραμμα έχει σχέση με τη φωτοσύνθεση.

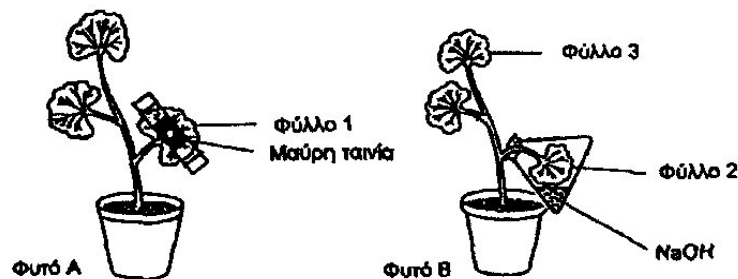


(α) Να εξηγήσετε τι δείχνουν οι γραφικές παραστάσεις A και B και να τις συγκρίνετε.

(β) Να ερμηνεύσετε τα τμήματα 1, 2, 3 και 4 των γραφικών παραστάσεων.

(γ) Τι θα συμβεί με το ρυθμό της φωτοσύνθεσης αν συνεχίσουμε να αυξάνουμε την ένταση του φωτός σε πολύ υψηλές τιμές;

30. Τα δυο φυτά A και B που φαίνονται στο πιο κάτω σχεδιάγραμμα εκτέθηκαν για μερικές ώρες στο ηλιακό φως, αφού προηγουμένως κρατήθηκαν για 24 ώρες τουλάχιστο στο σκοτάδι.



Μετά την έκθεσή τους στο ηλιακό φως, αποχρωματίστηκαν από το φυτό A το φύλλο 1 και από το φυτό B τα φύλλα 2 και 3. Μετά τον αποχρωματισμό τους τα 3 φύλλα τοποθετήθηκαν σε διάλυμα ιωδίου (καστανό χρώμα).

(α) Ποιο θα είναι το χρώμα του κάθε φύλλου μετά την παραμονή τους για μερικά λεπτά στο διάλυμα ιωδίου;

(β) Διατυπώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα δυο πειράματα.

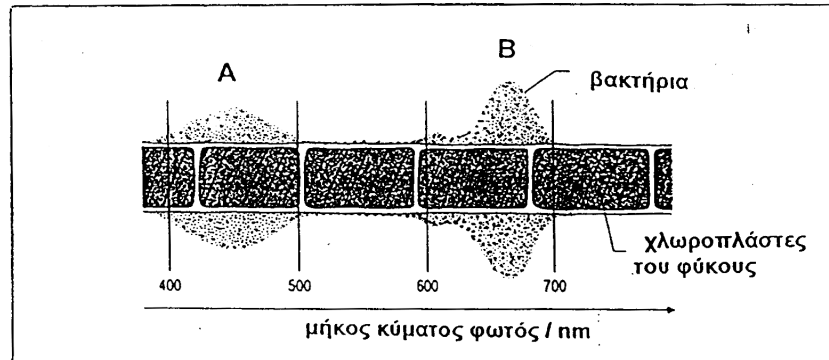
**Γράψτε ποιες από τις προτάσεις είναι σωστές (Σ) και ποιες είναι λάθος (Λ)**

1. Τα νιτροβακτήρια του εδάφους είναι χημειο-αυτότροφοι οργανισμοί.
2. Οι ψείρες κάνουν σαπροφυτική διατροφή τρεφόμενες με νεκρά κύτταρα του τριχωτού της κεφαλής.
3. Το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κυμαίνεται από 300nm μέχρι 700nm.
4. Ένα φωτόνιο κόκκινης ακτινοβολίας περιέχει λιγότερη ενέργεια από ένα φωτόνιο κυανής ακτινοβολίας.
5. Η χλωροφύλλη α έχει καρβονυλομάδα εκεί που η χλωροφύλλη β έχει μεθυλομάδα.
6. Σε κάθε φωτοσύστημα περιέχονται μερικές εκατοντάδες μόρια χλωροφυλλών α, αλλά μόνο δύο από αυτά ιονίζονται.
7. Ο ιονισμός της χλωροφύλλης α πραγματοποιείται μόνο όταν βρίσκεται κοντά στον πρωτογενή δέκτη ηλεκτρονίων.
8. Μεταφορέας των ηλεκτρονίων του P700 είναι το NAD<sup>+</sup>.
9. Τα φωτοσυνθετικά βακτήρια που χρησιμοποιούν H<sub>2</sub>S δεν παράγουν H<sub>2</sub>O.
10. Ο αποχρωματισμός των πράσινων φύλλων των φυτών γίνεται με βρασμό αρχικά σε νερό και μετά σε φορμόλη.
11. Η γλυκόζη στα πράσινα μέρη των φυτών ανιχνεύεται με διάλυμα ιωδίου που δίνει χαρακτηριστική χρώση κυανού-μαύρου χρώματος.
12. Η απαμύλωση των φύλλων των φυτών γίνεται με διατήρηση των φυτών σε σκοτεινό μέρος για 24-48 ώρες.
13. Κάθε θυλακοειδές έχει δεκάδες φωτοσυστήματα I και II στη μεμβράνη του.
14. Η κυκλική φωτοφωσφορύλιση ακολουθεί χρονικά τη μη κυκλική.
15. Κατά τις φωτεινές αντιδράσεις υπάρχει διαφορά στο pH μεταξύ στρώματος και θυλακοειδών λόγω χημειώσμωσης.

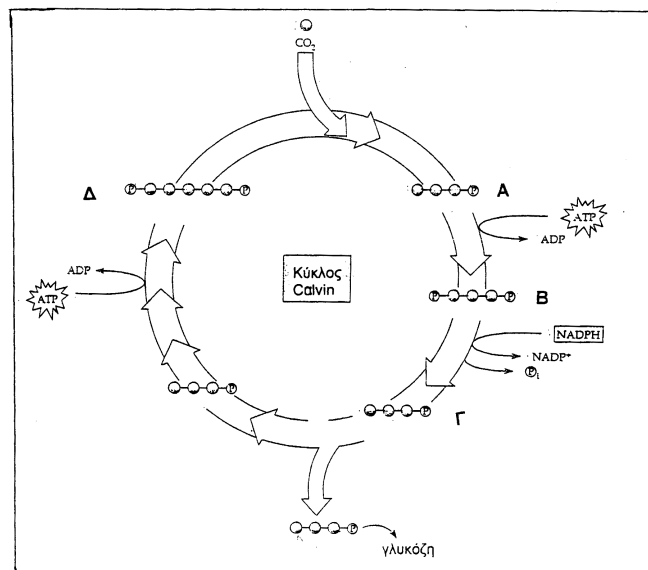
16. Τα ηλεκτρόνια που δεσμεύονται από το  $\text{NADP}^+$  είναι τα ίδια τα ηλεκτρόνια της φωτόλυσης του νερού.
17. Κάθε κυτταρόχρωμα που προσλαμβάνει ζεύγος ηλεκτρονίων ανάγεται.
18. Το σύμπλεγμα κυτταροχρωμάτων μεταξύ P680 και P700 περιλαμβάνει την πλαστοκινίνη, τη φερρεδοξίνη και την πλαστοκυανίνη.
19. Στη μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση παράγονται ισομοριακά ATP και NADPH.
20. Τα  $\text{H}^+$  από τη φωτόλυση του νερού συμβάλλουν στην αναγωγή του  $\text{NADP}^+$ .
21. Η P680 ιονίζεται κυρίως από την κίτρινη ακτινοβολία.
22. Σε πειράματα φωτοσύνθεσης χρησιμοποιείται ο ραδιενεργός άνθρακας  $^{14}\text{C}$ .
23. Το οξυγόνο που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται όλο από το  $\text{CO}_2$ .
24. Στην κυκλική φωτοφωσφορυλίωση συμμετέχουν η φερρεδοξίνη και η πλαστοκυανίνη.
25. Η μεταφορά των ηλεκτρονίων στα κυτταροχρώματα ενεργοποιεί μία σειρά αντλιών  $\text{H}^+$  των θυλακοειδών.
26. Η φωτόλυση του νερού συμβάλλει στο φαινόμενο της χημειώσμωσης.
27. Η αναλογία χρησιμοποίησης ATP:NADPH στον κύκλο του Calvin είναι 5:3.
28. Για τη σύνθεση ενός μορίου γλυκόζης χρειάζονται δύο μόρια φωσφορογλυκεριναλδεϋδης.
29. Για να αναγεννηθούν τα έξι μόρια διφωσφορικής ριβουλόζης χρειάζονται δέκα μόρια φωσφορογλυκεριναλδεϋδης.
30. Η έλλειψη νερού στα φυτά και η ρύπανση της ατμόσφαιρας περιορίζει και την πρόσληψη  $\text{CO}_2$  από αυτά.

**Θέματα Εισαγωγικών Εξετάσεων και Ολυμπιάδων**

**1. (Εισαγωγικές 2000)** Μέρος φύκους με χλωροπλάστες φωτίστηκε με φως διαφόρων μηκών κύματος, όπως στο σχήμα. Αερόβια βακτήρια (βακτήρια που χρησιμοποιούν  $O_2$ ) βρίσκονται στο περιβάλλον του φύκους και συσσωρεύονται στις περιοχές A και B του φύκους. Να εξηγήσετε τη συμπεριφορά αυτών των βακτηρίων.



**2. (Εισαγωγικές 2001)** Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει περιληπτικά τον κύκλο Calvin. Μελετήστε τον προσεκτικά και απαντήστε στα πιο κάτω:



**(α)** Ονομάστε τις ουσίες A, B Γ και Δ.

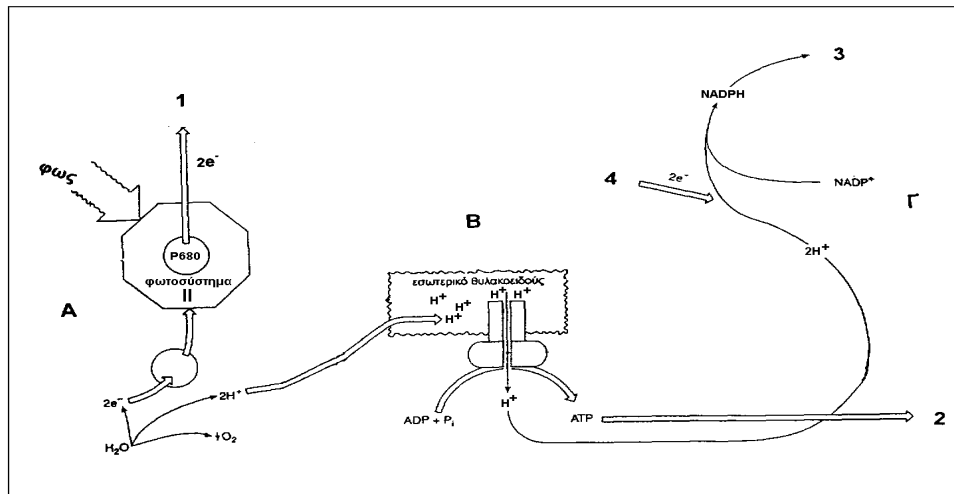
**(β)** Εξηγήστε περιληπτικά τι γίνεται στον κύκλο. Αναφερθείτε κυρίως στις ουσίες που φαίνονται στο σχήμα.

**(γ)** Πόσοι κύκλοι πρέπει να γίνουν για να παραχθεί ένα μόριο γλυκόζης; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

**(δ)** Σε ποια ακριβώς μέρη του κυττάρου γίνεται αυτή η διαδικασία και σε ποιους οργανισμούς;

**(ε)** Ποια είναι η προέλευση της ATP και του NADPH; Απαντήστε χωρίς να κάνετε οποιαδήποτε περιγραφή.

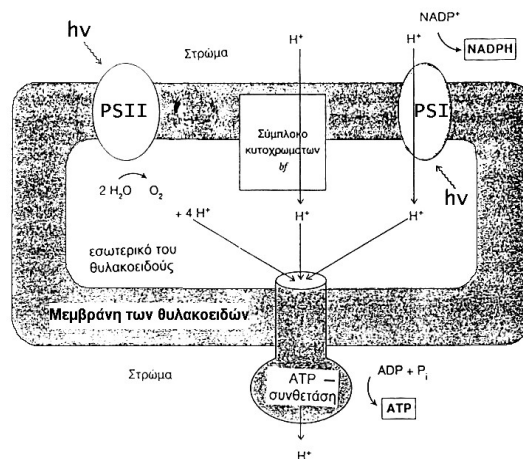
**3. (Εισαγωγικές 2000)** Το σχήμα παρουσιάζει διάφορα στάδια της φωτεινής φάσης της φωτοσύνθεσης. Αφού το μελετήσετε να απαντήσετε στο πιο κάτω:



(α) Τι ακριβώς γίνεται στο καθένα από τα στάδια Α, Β και Γ του σχήματος. Δώστε τις απαραίτητες εξηγήσεις.

(β) Που οδηγούν τα βέλη 1, 2 και 3 του σχήματος; Από που ακριβώς προέρχονται τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο βέλος 4;

**4. (Εισαγωγικές 2002)** Το σχήμα παρουσιάζει περιληπτικά τη φωτεινή φάση της φωτοσύνθεσης. Με τη βοήθεια του σχήματος και των γνώσεών σας γύρω από το θέμα αυτό, να δώσετε σύντομη περιγραφή των πιο κάτω φαινομένων:

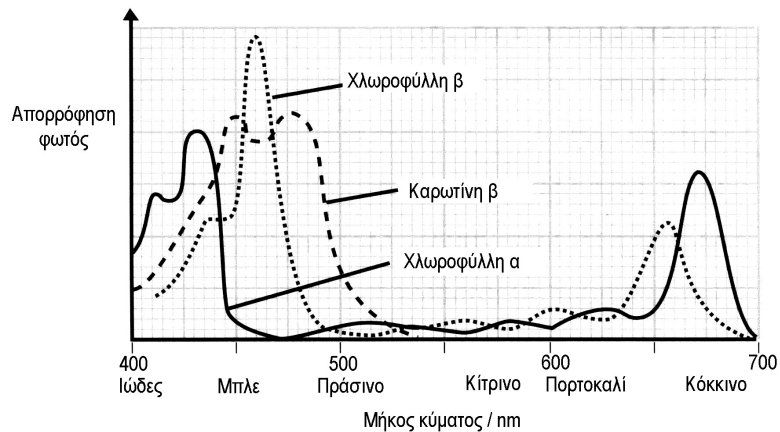


(α) Ιονισμός και αποϊονισμός των χλωροφυλλών α P680 και α P700 των φωτοσυστημάτων I (PSI) και II (PSII).

(β) Φωτόλυση του νερού και αναγωγή του NADP<sup>+</sup>

(γ) Παραγωγή ATP με το μηχανισμό της χημειώσμωσης κατά τη μη κυκλική φωτοφωσφορλίωση (να περιοριστείτε μόνο σε αυτά που φαίνονται στο σχήμα).

**5. (Εισαγωγικές 2003)** Η πιο κάτω γραφική παράσταση δείχνει το φάσμα απορρόφησης τριών φωτοσυνθετικών χρωστικών ενός φύλλου.

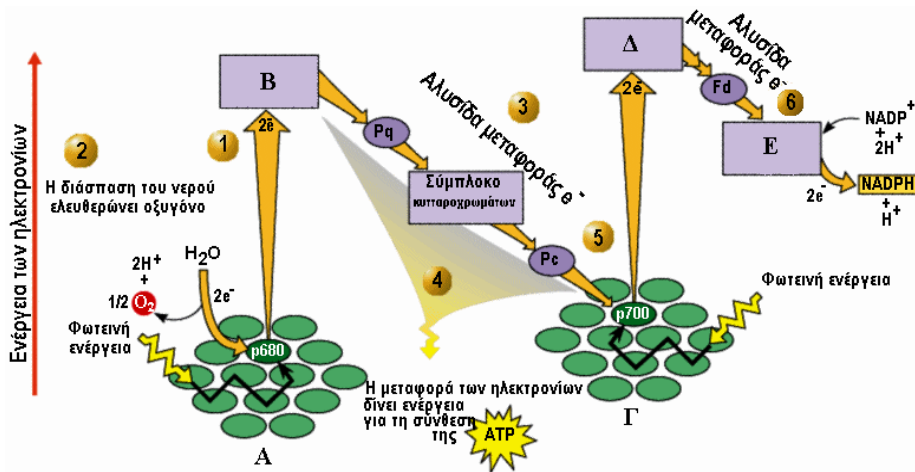


(α) Να περιγράψετε το φάσμα απορρόφησης της χλωροφύλλης α, όπως παρουσιάζεται στο σχεδιάγραμμα.

(β) Γιατί θεωρείται πλεονέκτημα να έχουν τα φυτά περισσότερες από ένα είδος φωτοσυνθετικές χρωστικές;

(γ) Με βάση το πιο πάνω σχεδιάγραμμα να εξηγήσετε γιατί τα φύλλα φαίνονται πράσινα.

**6. (Εισαγωγικές 2004)** Στο σχεδιάγραμμα φαίνεται η μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση.



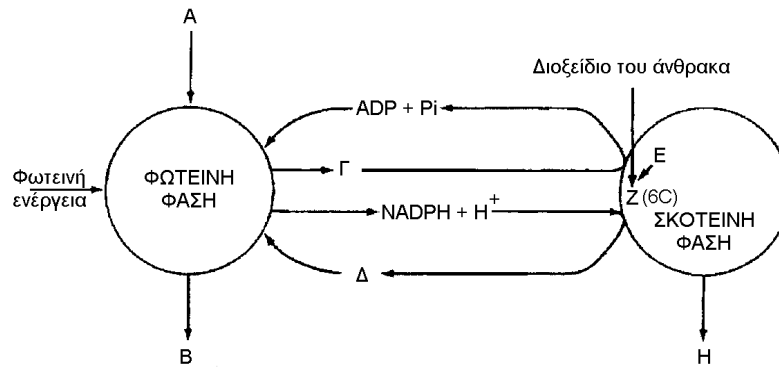
(α) Τι παριστάνουν τα γράμματα Α-Ε;

(β) Να περιγράψετε με βάση το σχεδιάγραμμα τη διαδικασία της μη κυκλικής φωσφορυλίωσης (να μην γίνει περιγραφή της χημειώσμωσης, μόνο απλή αναφορά)

(γ) Να γράψετε τρεις διαφορές μεταξύ της κυκλικής και της μη κυκλικής φωσφορυλίωσης.

(δ) Να γράψετε τρεις λόγους που να αποδεικνύουν την τεράστια σημασία που έχει η φωτοσύνθεση για το γήινο οικοσύστημα.

7. (Εισαγωγικές 2005) Το σχεδιάγραμμα δείχνει περιληπτικά τη φωτοσύνθεση:



(α) Να γράψετε τι παριστάνουν τα γράμματα Α - Η.

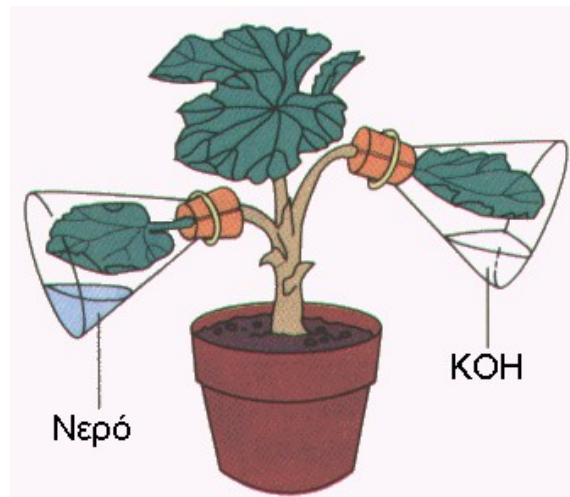
(β) Σε ποιο μέρος του χλωροπλάστη γίνεται η φωτεινή και σε ποιο η σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης;

(γ) Πότε γίνεται η σκοτεινή φάση, την ημέρα ή τη νύκτα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

(δ) Να γράψετε τρεις διαφορές μεταξύ της κυκλικής και της μη κυκλικής φωτοσυνθετικής φωσφορυλίωσης.

(ε) Να αναφέρετε δύο ρόλους του νερού στη φωτοσύνθεση.

8. Η διάταξη που φαίνεται στο σχήμα έχει σκοπό την πειραματική μελέτη κάποιου παράγοντα που επηρεάζει τη φωτοσύνθεση. Το φυτό πριν εκτεθεί στο ηλιακό φως κρατήθηκε στο σκοτάδι για 24 ώρες περίπου.



Αυτό έγινε για να:

- Α.** αποβληθεί αρκετό διοξείδιο του άνθρακα
- Β.** αποβληθεί αρκετό οξυγόνο
- Γ.** απομακρυνθεί το άμυλο από τα φύλλα του
- Δ.** εξαφανιστεί η χλωροφύλλη του
- Ε.** αποβληθεί μια σημαντική ποσότητα νερού σε μορφή υδρατμών.



9. Ποιο από τα πιο κάτω που αναφέρονται στη φωτοσύνθεση είναι λάθος:

- A. γίνεται στα πράσινα φυτά
- B. είναι απαραίτητη η παρουσία χλωροφύλλης
- Γ. παράγεται γλυκόζη και οξυγόνο
- Δ. χρησιμοποιείται νερό και διοξείδιο του άνθρακα
- E. μπορεί να γίνει τόσο στο φως όσο και στο σκοτάδι

10. Η φωτεινή φάση της φωτοσύνθεσης δεν περιλαμβάνει:

- A. χημειώσωση
- B. παραγωγή οξυγόνου
- Γ. παραγωγή ATP
- Δ. μεταφορά ηλεκτρονίων
- E. συμμετοχή διοξειδίου του άνθρακα

11. Το τελικό προϊόν του κύκλου του Calvin είναι:

- A. πρωτεΐνη
- B. γλυκόζη
- Γ. διφωσφορική ριβουλόζη
- Δ. φωσφορογλυκερινικό οξύ
- E. φωσφορογλυκεριναλδεϋδη

12. Στη φωτοσύνθεση, οξυγόνο παράγεται κατά:

- A. την κυκλική φωτοφωσφορυλίωση
- B. τον κύκλο του Krebs
- Γ. τη σκοτεινή φάση
- Δ. τη μη κυκλική φωτοφωσφορυλίωση
- E. τη φωτεινή φάση

13. Οι χρωστικές ουσίες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση βρίσκονται:

- A. στα μιτοχόνδρια
- B. στο κυτταρόπλασμα των κυττάρων
- Γ. στις μεμβράνες των θυλακοειδών
- Δ. στο στρώμα των χλωροπλαστών
- E. σε όλα τα πιο πάνω

14. Πόσα άτομα άνθρακα βρίσκονται σε ένα μόριο διφωσφορικής ριβουλόζης;

- A. 2
- B. 3

- Γ. 4
- Δ. 5

E. 6

15. Ποιο από τα πιο κάτω ΔΕΝ χρειάζεται κατά τη φωτεινή φάση της φωτοσύνθεσης;

- A.  $H_2O$
- B.  $CO_2$
- Γ. Χλωροφύλλη
- Δ. ADP
- Ε. Μεταφορείς υδρογόνου.

16. Τα περισσότερα φύλλα απορροφούν:

- A. Κυρίως πράσινο φως
- B. Μόνο κόκκινο και κίτρινο φως
- Γ. Κυρίως κίτρινο και μπλε φως
- Δ. Κυρίως μπλε και κόκκινο φως
- Ε. Βασικά όλες τις συχνότητες αλλά αντανακλούν περισσότερο το κίτρινο και το μπλε φως.

17. Όλες οι ακόλουθες ενώσεις είναι απαραίτητες στη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης εκτός από μια, που είναι:

- A. Το NADPH
- B. Το  $O_2$
- Γ. Το  $CO_2$
- Δ. Η διφωσφορική ριβουλόζη
- Ε. Η ATP

18. Ποιο από τα πιο κάτω ΔΕΝ ισχύει για τη φωτοσύνθεση;

- A. Η σκοτεινή φάση γίνεται στο στρώμα
- B. Λειτουργούν δύο φωτοσυστήματα
- Γ. Τα ηλεκτρόνια της χλωροφύλλης α P680 μεταβιβάζονται στη χλωροφύλλη α P700
- Δ. Η κυκλική φωτοφωσφορυλίωση γίνεται συνέχεια, εφ' όσον υπάρχει φως
- Ε. Τα κυτταροχρώματα χρησιμεύουν ως μεταφορείς ηλεκτρονίων

19. Ποια από τις πιο κάτω διαδικασίες μπορεί να συνεχίσει στο χλωροπλάστη στην παρουσία αναστολέα που παρεμποδίζει τη δίοδο των πρωτονίων ( $H^+$ ) διαμέσου της ATP-συνθετάσης;

- A. Σύνθεση υδατάνθρακα
- B. Παραγωγή ενέργειας για δημιουργία μορίων ATP
- Γ. Φωτοφωσφορυλίωση
- Δ. Ο κύκλος του Calvin
- Ε. Οξειδωση του NADPH

20. Η συνεργασία των δύο φωτοσυστημάτων στο χλωροπλάστη χρειάζεται για:

- A. Τη χρησιμοποίηση CO<sub>2</sub>
- B. Αναγωγή του NADP<sup>+</sup>
- Γ. Την κυκλική φωτοφωσφορυλίωση
- Δ. Οξειδωση του κέντρου αντιδράσεων του φωτοσυστήματος I
- Ε. Δημιουργία ενέργειας για τη σύνθεση μορίων ATP

21. Τα προϊόντα της κυκλικής φωτοφωσφορυλίωσης είναι:

- A. Οξυγόνο και NADPH
- B. ATP και NADPH
- Γ. ATP, NADPH και οξυγόνο
- Δ. ATP και οξυγόνο
- Ε. ATP

22. Η διφωσφορική ριβουλόζη είναι ουσία με:

- A. 2 άνθρακες
- B. 3 άνθρακες
- Γ. 4 άνθρακες
- Δ. 5 άνθρακες
- Ε. 6 άνθρακες

23. Οι αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης της φωτοσύνθεσης:

- A. Γίνονται μόνο στο σκοτάδι
- B. Μπορεί να γίνουν και στο σκοτάδι
- Γ. Δεν είναι φωτοανεξάρτητες
- Δ. Γίνονται στις μεμβράνες των θυλακοειδών
- Ε. Ελευθερώνουν οξυγόνο

24. Η αύξηση της έντασης του φωτός προκαλεί στην ταχύτητα της φωτοσύνθεσης:

- A. Την απεριόριστη αύξησή της
- B. Την ελάττωσή της
- Γ. Την αύξησή της μέχρι ένα ορισμένο σημείο
- Δ. Καμία μεταβολή
- Ε. Την αρχική μείωση και στη συνέχεια αύξησή της

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

α. Χριστοδούλου Χρ. & Χατζηνεοφύτου Μ., *Βιολογία Γ' Ενιαίου Λυκείου*, ΥΑΠ, Λευκωσία, 2005.

β. Νικολάου Λ., *Βιολογία Γ' Λυκείου Ενιαίων και Προεισαγωγικών Εξετάσεων*, Εκδόσεις Δημητράκη Χριστοφόρου, 2002.