

Η φωτοσύνθεση ... αλλιώς;

Ελένη Παλούμπα, Νικόλαος Ιωάννου

Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών Λακωνίας, elpaloumpa1@gmail.com
Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών Πιερίας, ekfekate@gmail.com

Περίληψη

Η φωτοσύνθεση, εκτός από μεταβολική διαδικασία με την οποία σχηματίζεται η τροφή των φυτών, αποτελεί τη βάση της διαδικασίας ροής της ενέργειας προς τους γήινους οργανισμούς, αλλά και ένα φαινόμενο ιδιαίτερης διδακτικής αξίας και παιδαγωγικής ωφελιμότητας. Στην εργασία αυτή, διερευνώνται διδακτικές προσεγγίσεις οι οποίες θα μπορούσαν αρχικά να εκμαιεύσουν τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και στη συνέχεια να συντελέσουν στην εποικοδομητική ανασύνθεσή τους για την παραγωγή/ανακάλυψη βασικών στοιχείων και αρχών επιστημονικής γνώσης. Στοχεύοντας στην προσέλκυση και προσαύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών, ο διδακτικός σχεδιασμός περιλαμβάνει παιχνίδι ρόλων και εργαστηριακές εφαρμογές με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται οι δυνατότητες που παρέχει η χρήση των ΤΠΕ στο σύγχρονο σχολείο.

Λέξεις-κλειδιά: Φωτοσύνθεση, ιστορία της Φωτοσύνθεσης, πειράματα με φωτοσύνθεση, πείραμα Priestley

Εισαγωγή

Από τη μελέτη των αναλυτικών προγραμμάτων και των καταγεγραμμένων απόψεων των εκπαιδευτικών προκύπτει ότι η φωτοσύνθεση θεωρείται σημαντική, βασική και ουσιώδης διδακτική ενότητα, η διδασκαλία της οποίας κρίνεται απαιτητική και σχετικά υψηλού βαθμού δυσκολίας. Οι παρανοήσεις που απαντώνται στις πεποιθήσεις των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, σχετίζονται με την προέλευση των θρεπτικών συστατικών των φυτών, με το είδος των ενεργειακών μεταβολών και με τις ιδιαιτερότητες της φύσης των φυτών ως οργανισμών. Η δυσκολία, σύμφωνα με την Ζόγκτζα (2006), προκύπτει και από την εννοιολογική ανάλυση της φωτοσύνθεσης, βάσει της οποίας συμπεραίνεται ότι αποτελεί σύνθετη διαδικασία α. με τέσσερις πλευρές: Οικολογική, Ενεργειακή, Χημική και Φυσιολογική και β. με δύο επίπεδα: το κυταρικό και το οργανισμικό. Περισσότερο από άλλες ενότητες των Φυσικών Επιστημών, διδάσκοντας τη φωτοσύνθεση, «ο εκπαιδευτικός πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών του ώστε να μπορεί να μετασχηματίσει αντίστοιχα την επιστημονική γνώση. Η επιλογή των μεθόδων και τεχνικών διδασκαλίας θα εξαρτηθεί τόσο από την παιδαγωγική γνώση του αντικειμένου, όσο και από την προσωπική του άποψη σχετικά με τη μάθηση και τη διδασκαλία» (Ζόγκτζα, Β., 2006).

Παράλληλα, καθώς πρόκειται για φαινόμενο που μελετάται ενδελεχώς διαχρονικά και διεπιστημονικά, με πλούσιο βιβλιογραφικό υλικό, ο εκπαιδευτικός αναγκαστικά υποχρεώνεται να διευρύνει διαρκώς το αντίστοιχο γνωστικό και διδακτικό του πεδίο. Διαπιστώσεις όπως ότι: «τα φυτά» είναι αυτά που «μεσολαβούν στην αποδοτική εκμετάλλευση μιας εξωγήινης, πρακτικά ανεξάντλητης, ενεργειακής πηγής προς όφελος όλης της βιόσφαιρας», ότι «πέραν από το ερευνητικό ενδιαφέρον, η φωτοσύνθεση των καλλιεργούμενων φυτών ισοδυναμεί, υπό την ευρεία έννοια, με την ανάπτυξή τους και την παραγωγή τροφής» και «ένα άλλο ενδιαφέρον ερώτημα είναι το κατά πόσον θα μπορούσε να βελτιωθεί η φωτοσυνθετική απόδοση με την εισαγωγή νέων ή τροποποιημένων γονιδίων, με τη χρήση τεχνικών γενετικής μηχανικής» (Ridge, I., 2005), αλλά και δημοσιεύματα περί «βιονικού φύλλου» με ανακυκλούμενη φωτοσύνθεση και «φωτο-αποσύνθεση», μέσω ηλεκτροβιολογικών κυκλωμάτων, συντείνουν στην άποψη ότι το ενδιαφέρον για τη μελέτη της φωτοσύνθεσης είναι διαρκές και τεμνόμενο

έως ταυτιζόμενο με το ενδιαφέρον για τη ζωή και την εξέλιξή της. Στη σχολική πραγματικότητα, για τους μαθητές, έννοιες όπως «ενέργεια – χημικές αντιδράσεις – ακτινοβολία – ανταλλαγή αερίων», χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη βιολογική υπόσταση του φαινομένου, ενώ ταυτόχρονα αναλύονται και επεξηγούνται στα παράλληλα διδασκόμενα αντικείμενα της Φυσικής και της Χημείας. Επιπλέον, όροι όπως «χλωροπλάστες – χλωροφύλλη – εφυμενίδα – μεσόφυλλο - grana» κ.ά., αποτελούν για τους μαθητές έναν λεκτικό «κώδικα», η κατανόηση και αφομοίωση του οποίου εκτός του ότι δεν είναι δεδομένη, λειτουργεί έως και αποθαρρυντικά, αφού απαιτεί προσπάθεια, βαθμού δυσκολίας κυμαινόμενου κατά περίπτωση.

Η περιγραφή του φύλλου και ο ρόλος του ως οργάνου στη φωτοσυνθετική διαδικασία, αποτελεί ένα επιπλέον «σκοτεινό» πεδίο καθώς συνδέεται με παρανοήσεις και πρόχειρες επεξηγήσεις των παιδιών. Η μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση και του βαθμού επίδρασής τους, αναγκαστικά οδηγούν σε περισσότερο εξειδικευμένα επιστημονικά πεδία, δημιουργώντας επιπρόσθετο βάρος στην κατανόηση του φαινομένου.

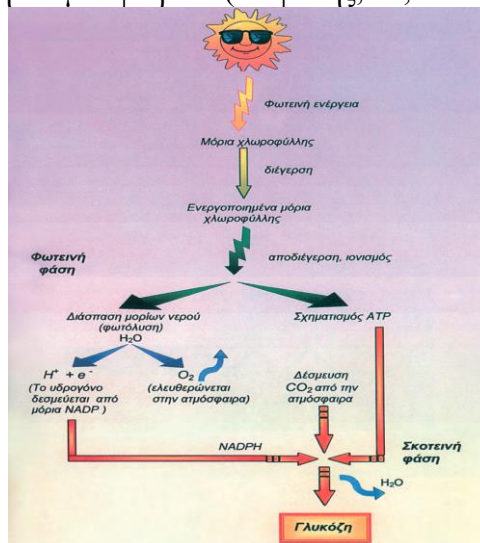
Στη διδακτική παρέμβαση που προτείνεται στην εργασία αυτή, επιχειρείται ο συνδυασμός βιωματικών, μαθητοκεντρικών και τεχνολογικά ενημερωμένων εκπαιδευτικών τεχνικών, με την εφαρμογή των οποίων η σχολική γνώση θα μπορούσε να γίνει περισσότερο ελκυστική, εύληπτη, ενδιαφέρουσα και αποτελεσματική, ενώ παράλληλα η αναπλαισίωσή της και σύνδεσή της με την επιστημονική γνώση θα διευκολυνόταν.

Θεωρητικό Πλαίσιο

Το θεωρητικό πλαίσιο της διδακτικής ενότητας «φωτοσύνθεση», στο σχολικό εγχειρίδιο της Β΄ Λυκείου, περιλαμβάνει ανά πρόταση σημαντικό ποσοστό εννοιών, ορισμών και τυπικών λέξεων. Ενδεικτικά, αναφέρονται τα ακόλουθα χωρία:

- Φωτοσύνθεση: «Η φωτεινή ενέργεια που παγιδεύεται (από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς) μετατρέπεται σε χημική και αποθηκεύεται σε οργανικά μόρια, τα οποία παράγουν οι οργανισμοί αυτοί μέσα από μια διαδικασία που την ονομάζουμε φωτοσύνθεση.» και «Η φωτοσύνθεση είναι σημαντική μεταβολική διαδικασία, κατά την οποία η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική.»
- Αυτότροφοι οργανισμοί ή παραγωγοί: «Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί ανήκουν στους αυτότροφους οργανισμούς, επειδή παράγουν μόνοι τους όλες τις οργανικές ουσίες που τους είναι απαραίτητες χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη το προϊόν της φωτοσύνθεσης. Χαρακτηρίζονται γι' αυτό και ως παραγωγοί.»
- Δομή του φύλλου: «Η δομή του φύλλου είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη, για να εξυπηρετεί τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Σε εγκάρσια τομή του παρατηρούμε τις δύο επιδερμίδες, την πάνω και την κάτω, που καλύπτονται συνήθως από εφυμενίδα. Ανάμεσα στις δύο επιδερμίδες βρίσκεται το μεσόφυλλο, που διασχίζεται από αγγεία.»
- Στόματα: «Η κάτω επιδερμίδα έχει μικρά ανοίγματα, που λέγονται στόματα. Το καθένα απ' αυτά περιβάλλεται από ένα ζευγάρι κυττάρων, τα καταφρακτικά κύτταρα.»
- Χλωροπλάστες: «Τα κύτταρα του μεσόφυλλου, που είναι και ο θεμελιώδης ιστός του φύλλου, διαθέτουν πολλούς χλωροπλάστες.»
- Διοξειδίο του άνθρακα: «Η είσοδος του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα γίνεται με διάχυση από τα στόματα προς τους μεσοκυττάρους χώρους των κυττάρων του μεσόφυλλου και τελικά φτάνει στους χλωροπλάστες.»
- Κυκλοφορία του νερού – Διαπνοή: «Το νερό εισέρχεται στις ρίζες από το έδαφος και μέσω των αγγείων φτάνει στα φύλλα. Μαζί με το νερό μεταφέρονται ιόντα, όπως νιτρικά, φωσφορικά, θειικά, μαγνησίου κ.ά., που χρησιμεύουν στη σύνθεση πρωτεϊνών και άλλων ουσιών. Η άντληση του νερού από το έδαφος και η ροή του στα αγγεία διευκολύνεται με την εξάτμιση νερού από τα στόματα (διαπνοή). Το άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων επιτρέπει στο φυτό να ελέγχει το ρυθμό εξάτμισης του νερού, ανάλογα με τη διαθεσιμότητά του στο έδαφος.»

- Παραγωγή οξυγόνου: Κατά τη φωτοσύνθεση, παράγεται οξυγόνο, το οποίο εξέρχεται από τα στόματα των φύλλων στην ατμόσφαιρα.» (Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι., 2011)



Εικόνα 1. Περιγραφή της Φωτοσύνθεσης στο Σχολικό Εγχειρίδιο της Β' Λυκείου

Σύμφωνα με τις οδηγίες για τους εκπαιδευτικούς (ΥΠΠΕΘ 166080/Δ2, 05-10-2017) για τους χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια, θα πρέπει να γίνει «απλή αναφορά στη δομή και τη λειτουργία των δύο οργανιδίων. Θα συσχετισθούν με τις λειτουργίες της κυτταρικής αναπνοής και της φωτοσύνθεσης.» Επιπλέον, θα πρέπει να γίνει διάκριση των οργανισμών σε αυτότροφους και ετερότροφους και περιγραφή τους, να δοθεί έμφαση στη βιολογική σημασία της φωτοσύνθεσης και να παρουσιαστεί το φύλλο ως όργανο φωτοσύνθεσης των φυτών, ενώ προτείνεται να παρουσιαστεί βιντεοσκοπημένη τη χημική διαδικασία παραγωγής αμύλου.

Δεδομένων των προαναφερθέντων, το φαινόμενο της σύγχυσης των μαθητών εξ αιτίας του εννοιολογικά πυκνογραμμένου σχολικού εγχειριδίου και της επιθυμίας των εκπαιδευτικών να εμπλουτίσουν με εποπτικά μέσα και πειράματα τη διδασκαλία τους, επεκτείνοντας και τροποποιώντας τις οδηγίες, δεν είναι σπάνιο.

Σχεδιασμός και Υλοποίηση Διδακτικής Παρέμβασης

Αρχικά, στους μαθητές διανέμονται άρθρα ή/και αποσπάσματα δημοσιευμάτων τα οποία μελετούν κατά ομάδες και τα παρουσιάζουν σύντομα στην ολομέλεια.

Ενδεικτικά άρθρα που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν το έργο αυτό, είναι:

- Καλλιεργώντας υπό το φως των LED (<http://bit.ly/2gGesMH>)
- Ανακαλύφθηκε ζώο που φωτοσυνθέτει (<http://bit.ly/2wXjTwO>)
- Φωτοσύνθεση και φωτο-αποσύνθεση (<http://bit.ly/2gd1V2B>)
- Τα πρώτα βιονικά φυτά με «τούρμπο» φωτοσύνθεση (<http://bit.ly/2yMP2rG>)
- Ρεύμα με τεχνητή φωτοσύνθεση (<http://bit.ly/2yn7vrt>)

Προκαλείται σύντομη συζήτηση για τη φωτοσύνθεση και τίθενται στοχευμένα ερωτήματα. Η διδακτική αυτή ενέργεια λειτουργεί ως αφόρμηση, επιδιώκοντας την προσέλκυση του ενδιαφέροντος των μαθητών και, παράλληλα, συντελεί στη διαπίστωση της σχέσης της Επιστήμης και του συγκεκριμένο γνωστικού πεδίου με την καθημερινή ζωή.

Στη συνέχεια, οι μαθητές συμμετέχουν σε ένα παιχνίδι ρόλων: Οργανώνονται σε ομάδες και υποδύονται ρόλους είτε διακεκριμένων επιστημόνων με συνεισφορά στην επιστημονική διερεύνηση της φωτοσύνθεσης διεθνώς και διαχρονικά, είτε αντιπάλων των παραπάνω επιστημόνων. Με τους ρόλους αυτούς συμμετέχουν σε συζήτηση (debate), επιχειρηματολογώντας σχετικά με τις απόψεις τους για το θέμα της φωτοσύνθεσης, είτε υιοθετώντας τις επιστημονικές απόψεις μελετητών και πειραματιστών, είτε επιχειρώντας να τις αντικρούσουν με

επιστημονικά δεδομένα της εποχής του καθενός. Ο στόχος της προσέγγισης αυτής είναι διττός: Αφ' ενός συντελεί στην αποκάλυψη της εξέλιξης των επιστημονικών ιδεών από τις πιο αδύναμες στις πλέον ισχυρές και αποδεδειγμένες. Αφ' ετέρου προβάλλει την αδυναμία των αρχικών θεωριών, οι περισσότερες από τις οποίες είναι –αποδεδειγμένα πλέον- εν όλω ή εν μέρει καταγραμμένες στη βιβλιογραφία και ως εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Μέσω της γνωστικής σύγκρουσης και της απόρριψης των αστήρικτων κι ανυπόστατων απόψεων, οι μαθητές οδηγούνται να υιοθετήσουν τις απόψεις που τεκμηριώνονται άρτια και αντιστοιχούν στην επιστημονική γνώση. Μεταξύ των συνήθων εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών, οι πλέον διαδεδομένες θεωρούνται οι ακόλουθες:

- τα φυτά είναι διαφορετικοί ζωντανοί οργανισμοί από τα ζώα και οι λειτουργίες τους διαφέρουν από εκείνες των ζώων.
- οι διάφορες λειτουργίες του φυτού λαμβάνουν χώρα σε όλα τα μέρη του.
- τα φυτά απορροφούν άμεσα από το έδαφος τα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για την τροφή τους.
- η τροφή των φυτών είναι το οξυγόνο και το νερό.
- τα φυτά απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα και παράγουν οξυγόνο. Τα φυτά δεν αναπνέουν. (Αποστολάκης, Ε., Παναγοπούλου, Ε., κ.ά., 2011)

Ιδέες όπως οι παραπάνω, αποτέλεσαν για αρκετά έτη τις κρατούσες θεωρίες για το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης. Στον Πίνακα 1, καταγράφονται οι ιστορικοί και επιστημονικοί σταθμοί και οι αντίστοιχες απόψεις που διατυπώθηκαν διαχρονικά για τη φωτοσύνθεση. Βάσει αυτών κατασκευάζονται και οι κάρτες ρόλων που διανέμονται στους μαθητές.

Στην «ιστοριογραμμή» της φωτοσύνθεσης, αποτυπώνεται μέρος της Ιστορίας της Επιστήμης και αναδεικνύεται η σημασία της, καθώς πρωταρχικός σκοπός της είναι η επεξήγηση και νοηματοδότηση του σύμπαντος κόσμου, κάτι που συμβαδίζει με τα προαιώνια ερωτηματικά της ανθρώπινης νόησης.

Πίνακας 1: Ιστορικοί & Επιστημονικοί Σταθμοί για τη Φωτοσύνθεση

Έτος	Επιστήμονας	Ιδέα / Θεωρία / Αποψη
300 π.Χ.	Αριστοτέλης	Τα φυτά, όπως και τα ζώα, απαιτούν τροφή.
	Θεόφραστος	Τα φυτά αποκτούν την τροφή τους μέσω των ριζών.
1450	Nicholas of Cusa	Προτείνει (αλλά δεν εκτελεί ποτέ) ένα πείραμα στο οποίο ένα φυτό ζυγίζεται και στη συνέχεια φυτεύεται σε δοχείο που περιέχει ζυγισμένη ποσότητα χρώματος. Μετά από μερικούς μήνες, τα τελικά βάρη του φυτού και του χρώματος, και το συνολικό βάρος του νερού που χρησιμοποιήθηκε, συγκρίνονται με τις αρχικές τιμές. Επιχειρεί να δείξει ότι η μάζα του φυτού προέρχεται μόνο από το νερό.
1648	Jean Baptiste van Helmont	Εκτελεί το πείραμα που προτάθηκε από τον Nicholas of Cusa, σχεδόν 200 χρόνια ωρίτερα. Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ολόκληρη η μάζα του φυτού προήλθε από το νερό.
1671	Marcello Malpighi	Στα πράσινα φύλλα παράγεται η τροφή των φυτών.
1679	Edme Mariotte	Τα φυτά αποκτούν μέρος της τροφής τους από την ατμόσφαιρα.
1699	John Woodward	Προσπαθεί να επιβεβαιώσει την υπόθεση του Van Helmont ότι στο νερό που καταναλώνουν τα φυτά οφείλεται η αύξηση της μάζας.
1727	Stephen Hales	Είναι "πολύ πιθανό" να παίρνει το φυτό τροφή από τον αέρα και ότι το φως μπορεί επίσης να εμπλέκεται.
1754	Charles Bonnet	Παρατηρεί εκπομπή φυσαλίδων από φύλλο βυθισμένο στο νερό.
1771	Joseph Priestley	Τοποθέτησε ένα αναμμένο κερί σε ένα κλειστό γυάλινο δοχείο και παρατήρησε ότι έσβησε. Στη συνέχεια, τοποθέτησε στο δοχείο ένα μικρό φυτό, το άφησε μερικές μέρες και, ανάβοντας το

		κερί μέσα στο ίδιο δοχείο, παρατήρησε ότι έκαιγε. Συμπέρανε ότι τα φυτά απελευθερώνουν «αέριο που συντηρεί την καύση». Διαπίστωσε ότι ένα φυτό και ένα ζώο μπορούν να επιβιώσουν για μικρό χρονικό διάστημα μέσα στο ίδιο κλειστό γυάλινο δοχείο.
1774	Antoine Lavoisier	Ανακαλύπτει το στοιχείο που ονομάζει «οξυγόνο». Αναγνωρίζει ότι αυτό καταναλώνεται τόσο στην αναπνοή των ζώων όσο και στην καύση. Καταρρίπτει τη θεωρία του «phlogiston», υποθετικής ουσίας που έως τότε πίστευαν ότι εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της αναπνοής ή της καύσης. Θεμελιώνει τη σύγχρονη Χημεία
1779	Jan Ingenhousz	Μόνο τα πράσινα μέρη φυτών απελευθερώνουν O ₂ . Αυτό συμβαίνει μόνο όταν φωτίζονται από το ηλιακό φως.
1782	Jean Senebier	Το O ₂ που παράγουν τα φυτά προέρχεται από το CO ₂ που απορροφούν. Έως τα μισά του 20ού αι., που εφαρμόστηκε η σήμανση των ατόμων, η λογικοφανής πρότασή του ήταν αποδεκτή.
1791	Competti	Παρατηρεί πράσινα κοκκία σε φυτικούς ιστούς, τα οποία αργότερα αναγνωρίστηκαν ως χλωροπλάστες.
1804	Nicolas de Saussure	Αποδεικνύει ότι ο άνθρακας που απορροφάται και προέρχεται από το ατμοσφαιρικό CO ₂ δεν μπορεί να αποδώσει πλήρως την αύξηση του βάρους ενός φυτού. Υποθέτει ότι το πρόσθετο βάρος προέρχεται από νερό.
1818	P. J. Pelletier, J. B. Caventou	Ονομάζουν "χλωροφύλλη" την πράσινη χρωστική των φυτών.
1837	Rene Dutrochet	Συνδέει τη χλωροφύλλη και την ικανότητα των φυτών να αφομοιώνουν το CO ₂ . Αναγνωρίζει τα στόματα των φύλλων.
1842	Matthias Schleiden	Το μόριο του νερού διασπάται στη διάρκεια της φωτοσύνθεσης.
1844	Hugo von Mohl	Κάνει λεπτομερείς παρατηρήσεις στη δομή των χλωροπλαστών.
1845	Julius Robert von Mayer	Ο ήλιος είναι η πηγή ενέργειας για τους ζωντανούς οργανισμούς. Η φωτοσύνθεση είναι μετατροπή φωτεινής ενέργειας σε χημική.
1862	Julius von Sachs	Εντοπίζει σε χλωροπλάστες σχηματισμό αμύλου εξαρτώμενο από το φως. Καταλήγει στην: $6CO_2 + 6H_2O + \text{φωτεινή ενέργεια} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$
1864	Jean Baptiste Boussingault	Κάνει ακριβείς ποσοτικές μετρήσεις της πρόσληψης CO ₂ και της παραγωγής O ₂ και εξάγει σε μια ισοσταθμισμένη εξίσωση για τη φωτοσύνθεση: $6CO_2 + 12H_2O + \text{φωτεινή ενέργεια} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$
1873	Emil Godlewski	Ο C προέρχεται από το ατμοσφαιρικό CO ₂ . Ο σχηματισμός αμύλου σε φωτισμένα φύλλα εξαρτάται από την παρουσία CO ₂ .
1883	Theodor Wilhelm Engelmann	Φωτίζει τμήματα ενός φύκου με μονοχρωματικές ακτινοβολίες. Διαπιστώνει ότι τα αερόβια βακτήρια που είχαν δυνατότητα κίνησης συγκεντρώνονταν σε εκείνη την περιοχή του νηματίου που φωτιζόταν από την ερυθρή ακτινοβολία. Διαπίστωσε στη συνέχεια ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου σ' αυτή την περιοχή ήταν μεγαλύτερη. Συμπέρανε ότι η ερυθρή ακτινοβολία ήταν πιο αποτελεσματική για τη φωτοσύνθεση από την μπλε ακτινοβολία
1883	Arthur Meyer	Περιγράφει τους κόκκους των χλωροπλαστών.
1893	Charles Barnes	Η διαδικασία με την οποία τα φωτισμένα πράσινα φυτά παράγουν ανθρακούχες ενώσεις καλείται είτε "φωτοσύνταξη" είτε "φωτοσύνθεση". Προτιμά το πρώτο, αλλά η "φωτοσύνθεση" υιοθετείται.
1905	F. F. Blackman	Η φωτοσύνθεση αποτελείται από δύο τύπους αντιδράσεων: μία ταχεία φωτοχημική διεργασία εξαρτώμενη από το φως και μια πιο αργή βιοχημική διαδικασία.
1913	Richard Willstat-	Δημοσιεύουν μελέτες σχετικά με τη δομή και τη χημεία της χλω-

	ter, Arthur Stoll	ροφύλλης. Στον Willstatter απονέμεται βραβείο Νόμπελ το 1915.
1937	Robert (Robin) Hill	Η απελευθέρωση O ₂ κατά τη φωτοσύνθεση συμβαίνει μόνο παρουσία φωτός. Μπορεί να παραχθεί O ₂ ακόμα και αν δεν υπάρχει διαθέσιμο CO ₂ . Οι αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης που συμβαίνουν στο φως ονομάστηκαν "φωτεινές" ή "αντιδράσεις Hill".
1941	Cornelis van Niel	Δείχνει ότι τα φωτοσυνθετικά βακτηρίδια που χρησιμοποιούν H ₂ S ως δότη ηλεκτρονίων παράγουν στοιχειακό S αντί για O ₂ . Προτείνει κατ' αναλογία ότι το O ₂ που απελευθερώνεται στη φυτική φωτοσύνθεση προέρχεται από το H ₂ O και όχι από το CO ₂ .
1941	Samuel Ruben και Martin Kamen	Χρησιμοποιούν νερό επισημασμένο με το βαρύ ισότοπο ¹⁸ O για να επιβεβαιώσουν ότι το οξυγόνο που παράγεται στη φωτοσύνθεση προέρχεται από το H ₂ O.
1954	Daniel Arnon	Υπάρχει φωτο-εξαρτώμενος σχηματισμός ATP σε χλωροπλάστες.
1955		Χλωροπλάστες μπορούν να κάνουν πλήρη φωτοσύνθεση.
1956	Melvin Calvin και οι συνάδελφοί του	Με ραδιενεργά επισημασμένο ¹⁴ CO ₂ θα διαλευκανθεί η οδός αφομοίωσης C στη φωτοσύνθεση. Διερεύνηση της «σκοτεινής φάσης» της φωτοσύνθεσης: Οι σκοτεινές αντιδράσεις είναι κυκλική διαδικασία που ονομάστηκε "κύκλος του Calvin" και οδηγεί στη δέσμευση και αναγωγή του CO ₂ . Βραβείο Νόμπελ το 1961.
1957	Robert Emerson	Ανακαλύπτει ότι οι φωτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης αποτελούνται από δύο φωτοχημικά συστήματα
1960	Robert Woodward	Συνθέτει χλωροφύλλη. Βραβείο Νόμπελ, 1965.
1960	Robin Hill & Fay Bendall	Μοντέλο "Z-scheme" για τις φωτοσυνθετικές αντιδράσεις φωτός.
1961	Louis Duysens	Παρέχει στοιχεία για την υποστήριξη του "Z-scheme".
1968	Roderick Clayton	Απομονώνει τα κεντρικά σύμπλοκα των αντιδράσεων.
1970	Bessel Kok	Προτείνει το μοντέλο "S-States" για να εξηγήσει την σταδιακή οξείδωση του H ₂ O και την απελευθέρωση του O ₂ .
1984	Hans Deisenhofer, Hartmut Michel, Robert Huber	Κρυσταλλώνουν το κέντρο της φωτοσυνθετικής αντίδρασης από ένα πορφυρό βακτήριο και χρησιμοποιούν τεχνικές περίθλασης ακτίνων X για τον προσδιορισμό της λεπτομερούς δομής του. Βραβείο Νόμπελ, 1988.
2000	Koichi Kobayashi	Προσδιόρισε με ακρίβεια τον ρόλο της χλωροφύλλης στη φωτοσύνθεση.
2006	Junko Yano, Vital Yachandra et.al	Καθορίζουν τη δομή του συμπλέγματος διαχωρισμού μαγγανίου-ασβεστίου.
2012	David Tiede	Μελετά την επίδραση των φωτονίων στη φωτοσύνθεση.

Εργαστηριακές Δραστηριότητες

Πείραμα 1 Μικροσκόπιο – Παρατήρηση δομών στο φύλλο – Μετωπικό πείραμα

Σκοπός

- Η παρατήρηση και σύγκριση στομάτων στην επιδερμίδα φύλλων διαφόρων φυτών.
- Η παρατήρηση καταφρακτικών κυψάρων και των χλωροπλαστών.

Όργανα και υλικά απαραίτητα για το πείραμα

- Όργανα και υλικά μικροσκοπίας.
- Διάφορα φρεσκοκομμένα φύλλα: γερανιού, αγγελικής, καλαμιού, μπούζι (παχύφυτο),
- φύλλα από διάφορα αγροστώδη φυτρώνουν στα πεζοδρόμια, κισσός κτλ.
- Lugol.
- Τριβλία petri ή ύαλοι ωρολογίου. (Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι. κ.ά., 2012)

Το πείραμα εκτελείται σύμφωνα με τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού της Βιολογίας Γενικής παιδείας της Β΄ Λυκείου. (Παράρτημα)

Πείραμα 2 Το πείραμα του Priestley – Πείραμα επίδειξης

Σκοπός

- Η παρατήρηση της ανταλλαγής αερίων στη διάρκεια της φωτοσύνθεσης.
- Η ταυτοποίηση των αερίων της φωτοσύνθεσης.
- Η διαπίστωση της σχέσης της φωτοσύνθεσης με την κυτταρική αναπνοή.

Όργανα και υλικά απαραίτητα για το πείραμα

- Λεκάνη γυάλινη εργαστηρίου (19x28x15)cm - Τέσσερα μικρά σύρματα.
- Δίσκος πλαστικός με νερό 25x32 βάθους 3cm - Πιεζοηλεκτρικός κινητήρας.
- Πράσινο φυτό (τσουκνίδα) - Ράβδος αλουμινίου λυγισμένη στην άκρη.
- 3 κεράκια ρεσώ - Βίδα με παξιμάδι
- Στατώ δοκιμαστικών σωλήνων πλαστικό - Πλέγμα αμιάντου
- Δύο κομμάτια ηλεκτρολογικό κανάλι 30cm - Χοντρό σύρμα σε σχήμα Π για οδηγό.
- Ένα καρφί - Κατσαβίδι



Εικόνα 2. Το πείραμα του Priestley στο σχολικό εργαστήριο Φυσικών Επιστημών

Το video του πειράματος (<https://www.youtube.com/watch?v=2v0n1S8J5FM>), μπορεί να αξιοποιηθεί από τον εκπαιδευτικό ως εποπτικό υλικό προκειμένου οι μαθητές να κατανοήσουν μέσω του ιστορικού πειράματος την ανταλλαγή των αερίων κατά τη φωτοσύνθεση και την ταυτοποίησή τους. Εναλλακτικά, με την παρακολούθηση του βιντεοσκοπημένου πειράματος, οι μαθητές π.χ. στο πλαίσιο του μαθήματος της Ερευνητικής Εργασίας ή της Τεχνολογίας μπορούν να κατασκευάσουν τη δική τους αντίστοιχη διάταξη και να πραγματοποιήσουν το πείραμα. Ανάλογα θα μπορούσε το video να αξιοποιηθεί για κατασκευή της διάταξης από τους διδάσκοντες Φυσικές Επιστήμες. Επιπλέον εκπαιδευτικό υλικό για το πείραμα του Priestley, μπορούν οι μαθητές να παρακολουθήσουν στο «Φωτόδεντρο» (<http://photodentro.edu.gr/lor/r/8521/4922?locale=el>).

Πείραμα 3 Μελέτη της φωτοσύνθεσης - Μετωπικό πείραμα

Σκοπός

- Η παρατήρηση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης ακόμα και σε τμήματα φύλλων.
- Η κινητική μελέτη της φωτοσύνθεσης σε σχέση με το περιβάλλον.

Όργανα και υλικά απαραίτητα για το πείραμα

- Ηλεκτρική λάμπα
- Λαβίδα και ανατομική βελόνα
- Καλαμάκι
- Ποτήρι ζέσεως των 250 mL
- Υδροβολέας με νερό
- Σύριγγα χωρίς βελόνα
- Χρωματιστές ζελατίνες
- Ορθοστάτης
- Χρονόμετρο
- Απορροφητικό χαρτί
- Σπανάκι
- Διαλύματα Σόδας Μαγειρικής (NaHCO_3), 1% w/w, 2% w/w, 4% w/w
- Απορρυπαντικό Πιάτων

Πείραμα 4 – Σχηματισμός αμύλου κατά τη φωτοσύνθεση – Πείραμα επίδειξης

Σκοπός

- Η ανάδειξη του ρόλου του φωτός για τον σχηματισμό αμύλου με τη φωτοσύνθεση.
- Η ανίχνευση αμύλου σε φύλλα, ως αποτέλεσμα της επίδρασης του φωτός.

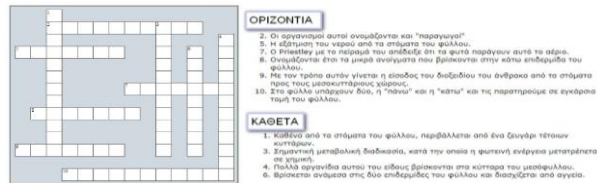
Όργανα και υλικά απαραίτητα για το πείραμα

- Φύλλα γερανιού,
- Οινόπνευμα,
- Γκαζάκι,
- Ποτήρια ζέσεως
- Τριβλίο Petri,
- Βάμμα ιωδίου,
- Δηθητικό χαρτί.

Σύμφωνα και με τις οδηγίες διδασκαλίας, το πείραμα αυτό μπορεί να παρουσιαστεί στην τάξη βιντεοσκοπημένο (<http://photodentro.edu.gr/lor/handle/8521/3137>), είτε αντί του πειράματος επίδειξης, είτε υποστηρικτικά, για την εκτέλεση του πειράματος από τους μαθητές.

Αξιολόγηση της Διδακτικής Παρέμβασης

Οι μαθητές συμπληρώνουν φύλλα αξιολόγησης διαμορφωμένα βάσει της αρχικής στοχοθεσίας. Εναλλακτικά, αξιολογούνται με ερωτήσεις κλειστού τύπου μέσω της εφαρμογής «Quizlet» (<https://quizlet.com/234048633/match>), ή συμπληρώνουν σταυρόλεξο του λογισμικού Hot Potatoes, σε έντυπη (στην τάξη) ή ηλεκτρονική μορφή (στο σχολικό εργαστήριο).



Εικόνα 3. Σταυρόλεξο – Φωτοσύνθεση (Hot Potatoes)

Συμπεράσματα

Η εγγενής πολυπλοκότητα του φαινομένου της φωτοσύνθεσης και οι εννοιολογικές απαιτήσεις του στη διδακτική διαδικασία, αναπόφευκτα οδηγούν στην αναζήτηση εναλλακτικών πρακτικών διδασκαλίας. Το παιχνίδι ρόλων, η ολιστική προσέγγιση, η τεχνική του διαλόγου και της επιχειρηματολογίας, η χρήση του μικροσκοπίου και το πείραμα, μπορούν να εφαρμοσθούν με επιτυχία στη σχολική τάξη, αποδίδοντας αξιοσημείωτα αποτελέσματα στην αξιολόγηση των μαθητών. Προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη χρόνου, τη δομή του ωρολογίου προγράμματος, τον μεγάλο αριθμό των μαθητών ανά τμήμα και την απουσία διακριτής ώρας εργαστηρίου μπορούν –προσωρινά– να παρακαμφθούν με προσεκτική οργάνωση της διδασκαλίας με αντίστοιχα Φύλλα εργασίας και την αξιοποίηση των Νέων Τεχνολογιών.

Βιβλιογραφικές Αναφορές:

- Αποστολάκης, Ε., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Σ., Τσαγλιώτης, Ν., Πανταζής, Γ., Σωτηρίου, Σ., Τόλιας, Β., Τσαγκογέωργα, Α., Καλκάνης, Γ. (2011). «Φυσικά» ΣΤ' Δημοτικού *Ερευνώ και Ανακαλύπτω* Αθήνα: ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ
- Ζόγκζα, Β. (2006). *Θέματα Διδακτικής της Βιολογίας*. Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Ζόγκζα, Β. (2007). *Η βιολογική γνώση στην παιδική ηλικία*. Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι. Ε., Περάκη, Β. & Σαλαμαστράκης, Σ. (2012). *Βιολογία Γενικής Παιδείας Β' Γενικού Λυκείου*. Αθήνα: ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.
- Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι. Ε., Περάκη, Β. & Σαλαμαστράκης, Σ. (2012). *Εργαστηριακός Οδηγός Γενικής Παιδείας Β' Γενικού Λυκείου*. Αθήνα: ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.
- Ridge, I., ελληνική απόδοση Γραμματικόπουλος, Γ., Κυπαρίσσης, Ά., Λεβίζου, Έ., Μανέτας, Γ., Πετροπούλου, Γ., Ψαράς, Γ. (2005). *Φυσιολογία των φυτών*. Αθήνα: Ίων.

Διαδικτυακές Αναφορές:

http://photobiology.info/History_Timelines/Hist-Photosyn.html Brennan, T., Photosynthesis timelines

<https://historicalcasestudyphotosynth.weebly.com/350-bce---1860.html> Photosynthesis

<https://prezi.com/etx58ddwes23/photosynthesis-timeline/> «Ιστοριογραμμή» της Φωτοσύνθεσης

<http://bit.ly/2yp4N57> Η ιστορία της Φωτοσύνθεσης.

<http://bit.ly/2zbCIx2> Biology Vol II

http://ekfe.eyr.sch.gr/erg_odhgoi/erg_od_bio_b_gp_lyk.pdf Εργαστηριακός Οδηγός Βιολογίας Γενικής Παιδείας Β΄ Λυκείου.

http://ekfe.kar.sch.gr/keimena/2017-18/didili_gel_2017-18.pdf Οδηγίες διδασκαλίας μαθημάτων Φυσικών Επιστημών 2017-2018.

<https://www.youtube.com/watch?v=2v0n1S8J5FM>. Το πείραμα του Priestley (Ε.Κ.Φ.Ε. Πιερίας)

<http://photodentro.edu.gr/lor/r/8521/4922?locale=el> Το πείραμα του Priestley (Φωτόδεντρο)

<http://bit.ly/2gGesMH> Καλλιεργώντας υπό το φως των LED

<http://bit.ly/2wXjTwO> Ανακαλύφθηκε ζώο που φωτοσυνθέτει

<http://bit.ly/2gd1V2B> Φωτοσύνθεση και φωτο-αποσύνθεση

<http://bit.ly/2yMP2rG> Τα πρώτα βιονικά φυτά με «τούρμπο» φωτοσύνθεση

<http://bit.ly/2yn7vrt> Ρεύμα με τεχνητή φωτοσύνθεση

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Πείραμα 1 Μικροσκόπιο – Παρατήρηση δομών στο φύλλο

Η παρατήρηση γίνεται στην επιδερμίδα διάφορων φύλλων.

Προτιμώνται τα φύλλα στα οποία η επιδερμίδα ξεκολλάει, όταν τα σκίζουμε (π.χ φύλλα γερανιού ή αγγελικής κ.ά).

Σκίζουμε το φύλλο, οπότε η επιδερμίδα ξεκολλάει.

Κόβουμε ένα κομμάτι επιδερμίδας, από την επάνω επιφάνεια του φύλλου και ένα από την κάτω, και το τοποθετούμε σε αντικειμενοφόρο πλάκα.

Στάζουμε μια σταγόνα νερό στο παρασκεύασμα, καλύπτουμε με καλυπτρίδα και παρατηρούμε σε μικρή μεγέθυνση. Βάζουμε στο κέντρο του οπτικού πεδίου ένα στόμα και το παρατηρούμε. Προχωρούμε στην επόμενη μεγέθυνση (X40) και παρατηρούμε το στόμα με δυνατότερο φως. Μέσα στα καταφρακτικά κύπαρα διακρίνονται οι χλωροπλάστες.



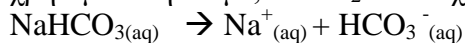
Πείραμα 3 Μελέτη της φωτοσύνθεσης

Με το πείραμα αυτό μπορεί να μελετηθεί ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης και παράγοντες που τον επηρεάζουν. Ως προσομοίωμα του ήλιου χρησιμοποιείται ηλεκτρική λάμπα.

Στον μεσοκυττάριο χώρο του μεσόφυλλου περιέχεται μεσοκυττάριο υγρό, αλλά και αέρας.

Με τη βοήθεια μιας σύριγγας, δημιουργούμε υποπίεση και έτσι απομακρύνουμε τον αέρα από το μεσόφυλλο, οπότε εισέρχεται εκεί διάλυμα και τότε οι δίσκοι βυθίζονται.

Χρησιμοποιούμε υδατικό διάλυμα NaHCO_3 , ώστε να παραχθεί το CO_2 που χρειάζονται τα τμήματα των φύλλων του πειράματος για τη φωτοσύνθεση. Στο διάλυμα NaHCO_3 που θα χρησιμοποιήσουμε, το CO_2 που σχηματίζεται ως εξής:



Στη συνέχεια, από το HCO_3^- προκύπτει H_2CO_3 : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

Το H_2CO_3 διασπάται και δίνει CO_2 : $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης στους δίσκους των φύλλων, το CO_2 εισέρχεται στο εσωτερικό των χλωροπλάστων και το O_2 εξέρχεται μέσω των στομάτων τους. Το CO_2 διαλύε-

ται σχετικά εύκολα στο νερό και δεν μπορούμε να το παρατηρήσουμε στο διάλυμα. Αντίθετα, το O_2 είναι ελάχιστα διαλυτό σε υδατικό διάλυμα γι αυτό βλέπουμε φυσαλίδες κατά το σχηματισμό του. Για τον προσδιορισμό του ρυθμού της φωτοσύνθεσης, καλή ένδειξη είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ανέβουν οι δίσκοι στην επιφάνεια του διαλύματος.

Στα διαλύματα $NaHCO_3$ με περιεκτικότητες 1% w/w, 2% w/w, 4% w/w και στο απιονισμένο νερό (0% w/w) προστίθενται 1-2 σταγόνες απορρυπαντικό πιάτων για περιορισμό της δημιουργίας φυσαλίδων αέρα στα φύλλα και στον κύλινδρο.

Προετοιμασία των τμημάτων των φύλλων



Χρησιμοποιώντας το καλαμάκι, κόβουμε 10 κυκλικούς δίσκους από τα φύλλα, αποφεύγοντας τα νεύρα. Βγάζουμε το έμβολο της σύριγγας και τοποθετούμε τους δίσκους σ' αυτήν. Στη συνέχεια τοποθετούμε το έμβολο στη θέση του και το ωθούμε διώχνοντας τον αέρα και προσέχοντας να μην τραυματίσουμε τους δίσκους. Μετράμε με τον ογκομετρικό κύλινδρο 100 mL διαλύματος $NaHCO_3$ 4% w/w.



Παίρνουμε με τη σύριγγα 4 mL από το διάλυμα αυτό. Παρατηρούμε αν οι δίσκοι των φύλλων επιπλέουν ή βυθίζονται στο διάλυμα. Αδειάζουμε προσεκτικά το υπόλοιπο διάλυμα στο γυάλινο ποτήρι. Κλείνουμε το ακροφύσιο της σύριγγας με το δάχτυλο και τραβάμε το έμβολο με προσοχή για 15 – 20 s, ώστε να δημιουργηθεί υποπίεση. Το βήμα αυτό πρέπει να επαναληφθεί όσες φορές χρειάζεται, μέχρι να βυθίζονται όλοι οι δίσκοι.

Με το ακροφύσιο της σύριγγας ανοιχτό προς τα επάνω, τραβάμε το έμβολο ώστε να μπει αέρας σ' αυτήν. Κλείνουμε το ακροφύσιο, και το στρέφουμε προς τα κάτω, βγάζουμε το έμβολο και αδειάζουμε το διάλυμα και τους δίσκους στο ποτήρι

Βεβαιωνόμαστε πως οι δίσκοι βρίσκονται στον πυθμένα.

Μελέτη του ρυθμού Φωτοσύνθεσης – Επίδραση της συγκέντρωσης

Ανάβουμε τη λάμπα και μηδενίζουμε το χρονόμετρο. Μετράμε το χρόνο που χρειάζεται για να ανέβουν 6 δίσκοι στην επιφάνεια και τον καταγράφουμε. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 1 έως 10 για τα διαλύματα με περιεκτικότητες 2 % w/w και 1 % w/w και για το νερό.

Μελέτη του ρυθμού Φωτοσύνθεσης – Επίδραση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας

Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 1 έως 7, χρησιμοποιώντας 100 mL διαλύματος $NaHCO_3$ 4 % w/w. Πριν ανάψουμε τη λάμπα, καλύπτουμε με την κόκκινη ζελατίνα το ποτήρι.

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία (βήματα 1 έως 7), καλύπτοντας με την πράσινη ζελατίνα το ποτήρι και σημειώνουμε τη μέτρησή σας.

Πείραμα 4 Σχηματισμός αμύλου κατά τη φωτοσύνθεση

Συγκρίνεται η παρουσία αμύλου σε φύλλο που αναπτύχθηκε στο φως και φύλλο που παρέμεινε στο σκοτάδι.

Παίρνουμε ένα φύλλο από μολόχα ή γεράνι και το βράζουμε λίγο για να διασπαστούν τα κυτταρικά τοιχώματα. Στη συνέχεια βυθίζουμε το φύλλο σε οινόπνευμα για να διαλυθεί η χλωροφύλλη του στο οινόπνευμα και το φύλλο να αποχρωματιστεί. Αφού αποχρωματιστεί, το στεγνώνουμε με χαρτί κουζίνας ή/και τοποθετώντας το π.χ. κοντά σε πηγή θερμότητας για μείωση του χρόνου αναμονής. Προσθέτοντας μερικές σταγόνες βάμματος ιωδίου παρατηρούμε εμφάνιση μπλε σκούρου χρώματος, χαρακτηριστικού της αντίδρασης αμύλου-ιωδίου. Συμπεραίνουμε ότι το φύλλο περιέχει άμυλο, που παράχθηκε στο φύλλο από τη φωτοσύνθεση.

Εκτελώντας τα ίδια βήματα με ένα φύλλο που έχει παραμείνει στο σκοτάδι ή που το έχουμε καλύψει πλήρως ή μερικώς με αλουμινόχαρτο, παρατηρούμε ότι απουσιάζει το άμυλο.

