

# **Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ**

**Δημιουργική εργασία τμήματος Β<sub>2</sub>**

**2018 – 19**

**ΓΕ.Λ. ΠΡΟΒΑΤΑ ΣΕΡΡΩΝ**

Υπεύθ. Καθηγητής

Νικόλαος Αλεξανδρίδης

### Απόψεις για το φως στην αρχαιότητα

Μέχρι και τον πέμπτο π.Χ. αιώνα οι άνθρωποι διατηρούσαν πάνω στο ζήτημα της μέρας και της νύχτας μια αντίληψη που θα μπορούσαμε σήμερα να τη χαρακτηρίσουμε ποιητική. Πίστευαν ότι το φως είναι ένας λαμπερός ατμός και ότι το σκοτάδι είναι ένας μαύρος ατμός που υψωνόταν το βράδυ από την επιφάνεια της γης. Το φως και το σκοτάδι αποτελούσαν δύο οντότητες μεταξύ τους ανεξάρτητες. Υπάρχουν αρκετές αναφορές σε αρχαία κείμενα, από τις οποίες πιστοποιείται η συλλογική αυτή αναπαράσταση. Σε ένα από τα σημαντικά άλματα που πραγματοποίησε η ανθρώπινη σκέψη κατά τους αιώνες που ακολούθησαν, η παλιά αντίληψη ανετράπη. Η νέα ιδέα την οποία αποδεχόμαστε μέχρι και σήμερα είναι ότι το σκοτάδι δεν έχει υλική υπόσταση, το σκοτάδι δεν είναι παρά η απουσία φωτός. Εκείνο που έχει υλική υπόσταση είναι το φως.

Το φως ήταν και είναι μια βασική αιτία της ύπαρξης ζωής στον πλανήτη μας. Ας μην ξεχνάμε ότι τα φυτά, με τη φωτοσύνθεση, μετατρέπουν την ενέργεια που παρέχει το φως του Ήλιου σε χημική ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούν στη συνέχεια για την ανάπτυξή τους. Το φως είναι αυτό που κάνει ορατά τα αντικείμενα που βρίσκονται στον πλανήτη μας, στη Γη, και στο Σύμπαν. Με τη βοήθεια του φωτός «επικοινωνούμε» με τα άστρα και τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, αντλώντας χιλιάδες πληροφορίες για τη σύστασή τους (φασματοσκοπική μέθοδος).

Από πολύ παλιά, στους αρχαιότατους χρόνους, φιλόσοφοι και φυσιοδίφες προσπαθούσαν να κατανοήσουν και να ερμηνεύσουν τη «φύση» του φωτός. Για πολλά χρόνια ήταν αντικείμενο μακρόπνων συζητήσεων, διαφωνιών, επιχειρημάτων και αντεπιχειρημάτων. Γενικότερα υπήρξε δραστηριότητα σχετικά με την οπτική. Τα επίπεδα κάτοπτρα ήταν γνωστά στους Φαραώ. Τα κοίλα κάτοπτρα ήταν γνωστά στον Αρχιμήδη. Ο Νέρων (σύμφωνα με μια παράδοση!) χρησιμοποιούσε ένα λειασμένο σμαράγδι ως οπτικό βοήθημα. Ο Σενέκας είχε περιγράψει τη μεγέθυνση ενός σώματος από μια φιάλη γεμάτη νερό. Ο Κλαύδιος Πτολεμαίος είχε ανακαλύψει την διάθλαση και είχε μετρήσει τις σχετικές γωνίες. Η χρήση των διορθωτικών φακών συζητήθηκε από τον Άγγλο μοναχό Roger Bacon το 1266, ως αποτέλεσμα των μελετών του για τους συγκλίνοντες φακούς.

Οι Έλληνες δημιουργοί της Γεωμετρίας και ιδιαίτερα οι Αλεξανδρινοί ξεκινώντας από ένα είδος πίστης στο «ευθύγραμμο» της διάδοσης του φωτός και από την ιδέα «φωτεινής ακτίνας» θεμελίωσαν μια γεωμετρική λογική έρευνας

των φαινομένων με γραμμές, γωνίες και επίπεδα, η οποία και κυριάρχησε. Οι ιδέες αυτές συνέβαλαν και στη διατύπωση των πρώτων αντιλήψεων για τη φύση του φωτός, σύμφωνα με τις οποίες το φως είναι τροχιές πολύ μικρών αόρατων σωματιδίων. Για τους περισσότερους Έλληνες στοχαστές του 5ου αιώνα τα αόρατα αυτά σωματίδια εκπέμπονται από το ανθρώπινο μάτι, πέφτουν στα αντικείμενα και έτσι εμείς τα βλέπουμε.

«Κάτι» εκπέμπεται από το μάτι μας, και χωρίς αυτό δεν μπορεί να υπάρξει όραση, είχε πει κάποτε ο Εμπεδοκλής και η ιδέα κυριάρχησε μολονότι ο Εμπεδοκλής μίλησε και για «κάτι άλλο» το οποίο εκπέμπεται από το φωτεινό αντικείμενο, θεωρώντας ότι, κατά τη συνάντησή τους, δημιουργείται «φιλότητα» από την οποία προκύπτει η όραση. Ο Πλάτων, στον Τίμαιο γράφει για ένα είδος φωτιάς που εξέρχεται από το μάτι. Είναι μια φωτιά που δεν μπορεί να κάψει, αλλά δημιουργεί την όραση. Από τους στωικούς ο Ζήνων ο Κιτιεύς πρότεινε θεωρία για σωματίδια που εκπέμπονται από τον ανθρώπινο οφθαλμό και βρίσκονται στα πλαίσια ενός κώνου όρασης με κορυφή την κόρη του ματιού. Ο Δημόκριτος διαφωνούσε με αυτή τη θεώρηση και υποστήριζε ότι τα αόρατα σωματίδια του φωτός εκπέμπονται από τα φωτεινά σώματα και προσπίπτουν στο μάτι του παρατηρητή, με τον σημαντικότερο από αυτούς που είχε απέναντί του να είναι ο Αριστοτέλης.

Οι δύο ιδέες, η μία για ΑΚΤΙΝΕΣ ΜΑΤΙΟΥ (ακτίνες όρασης) και η άλλη για ΑΚΤΙΝΕΣ ΦΩΤΟΣ συνυπήρξαν, αλλά η πρώτη ήταν αυτή που επεκράτησε στους ελληνιστικούς χρόνους. Ο Ευκλείδης, στα Οπτικά, επιμένει στο ότι το μάτι μας εκπέμπει ακτίνες όρασης, οι οποίες διαδίδονται ευθύγραμμα. Με βάση τις ακτίνες όρασης οδηγήθηκε στον νόμο της ανάκλασης. Δύο περίπου αιώνες αργότερα ο Ήρων ο Αλεξανδρινός μας λέει ότι «βλέπουμε με τις ακτίνες που φεύγουν από τα μάτια μας» και διατυπώνει λογικά επιχειρήματα για να αποδείξει ότι οι ακτίνες αυτές ταξιδεύουν με άπειρη ταχύτητα.

Η ιδέα ότι «το φως είναι κινούμενα αόρατα σωματίδια», αφού διακινήθηκε ουσιαστικά χωρίς αντίπαλο, έφθασε και στους Λατίνους στοχαστές. Τον πρώτο αιώνα πριν από τον Χριστό, ο Λουκρήτιος στο «De Rerum Natura – Περί της φύσεως των πραγμάτων» ισχυρίζεται ότι το Φως αλλά και η Θερμότητα είναι κινούμενα λεπτότατα σωματίδια. Στο ίδιο βιβλίο προβάλλει την άποψη ότι «η ταχύτητα του φωτός είναι άπειρη» ενώ χρησιμοποιεί και επιχειρήματα για τη λογική τεκμηρίωση της άποψής του.

### **Η μέτρηση της ταχύτητας του φωτός**

Οι Άραβες ενδιαφέρθηκαν ιδιαίτερα για το φως, αλλά εκείνος που άσκησε την εντονότερη κριτική στη θεωρία της εκπομπής ακτίνων από το μάτι, ήταν ο

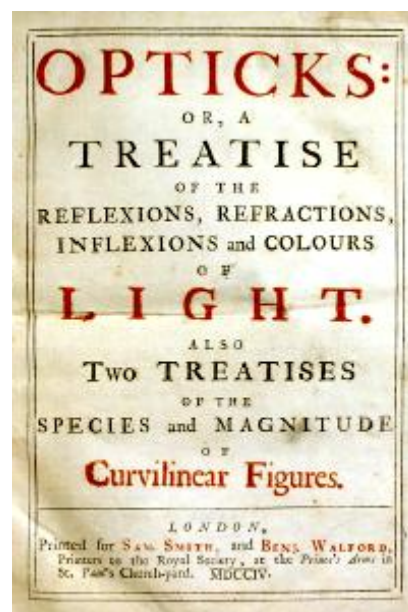
Αλλάζεν. Ήταν ουσιαστικά εκείνος που ενθάρρυνε τους Ευρωπαίους, πολλούς αιώνες αργότερα, να την απορρίψουν. Ένα ακόμα στοιχείο από το έργο του Αλλάζεν κάνει εντύπωση. Υιοθέτησε την ιδέα ότι οι ακτίνες φωτός δε διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα, αλλά με ταχύτητα που θα μπορούσε ίσως κάποτε να μετρηθεί. Η ιδέα του αποκτά ιδιαίτερη αξία αν αναλογιστούμε ότι ο Αριστοτέλης, ο Κέπλερ, αλλά και ο Καρτέσιος πίστευαν ότι η ταχύτητα του φωτός είναι άπειρη.

Ο Γαλιλαίος στις «Δυο νέες επιστήμες» καταθέτει το πρόβλημα με ένα γνωστό φαινόμενο. Όταν βλέπουμε να βαράει από μακριά ένα κανόνι, η λάμψη φαίνεται να φτάνει στα μάτια μας χωρίς το παραμικρό χρονικό διάστημα, ενώ ο ήχος φτάνει ύστερα από υπολογίσιμο χρόνο. Κατάλαβε όμως πως και το φως κάνει ένα εξαιρετικό μικρό χρονικό διάστημα και για να μετρήσει κάπως την ταχύτητα του φωτός παρουσίασε μια μέθοδο με δύο ανθρώπους σε απόσταση 1 μίλι που κρατούσαν δυο φανάρια. Ο Γαλιλαίος είχε λίγες πιθανότητες να προσδιορίσει έτσι την ταχύτητα του φωτός, διατύπωσε όμως το πρόβλημα του προσδιορισμού της, κάτι που συχνά είναι πιο βασικό. Θα μπορούσε βέβαια να γίνει αυτό που πρότεινε πιο απλά και με μεγαλύτερη ακρίβεια από έναν μονάχα άνθρωπο τοποθετώντας στο σημείο του δεύτερου έναν καθρέπτη.

Ύστερα από 250 χρόνια περίπου ο Fizeau προσδιόρισε με γήινα πειράματα την ταχύτητα του φωτός. Από τότε, ο αριθμός που αντιπροσωπεύει την ταχύτητα του φωτός καθορίστηκε επανειλημμένα με όλο και πιο μεγάλη ακρίβεια. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι κατά προσέγγιση 300.000 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο.

### Ο Νεύτων και η σωματιδιακή φύση του φωτός

Το επόμενο ορόσημο στην εξέλιξη των ιδεών για το φως εμφανίζεται τον 17ο αιώνα μετά τον Χριστό. Σε ολόκληρη σχεδόν την καριέρα του, ο Isaac Newton ενδιαφέρθηκε σοβαρά για τα ζητήματα του φωτός. Στο κλασικό βιβλίο του «OPTICKS» που πρωτοεμφανίστηκε το 1675, αλλά σε ολοκληρωμένη μορφή το 1703, παρουσίασε μία από τις πρώτες συστηματικές μελέτες για το φως. Σε αυτήν ομολογεί ότι «εάν ήμουν υποχρεωμένος να αποδεχτώ μια θεωρία, η θεωρία την οποία θα υποστήριζα, είναι αυτή της εκπομπής αόρατων σωματιδίων από τα φωτεινά αντικείμενα. Είναι η πλέον αληθοφανής». Στην ίδια πραγματεία του θα επιτεθεί στην άποψη ότι το φως είναι κύμα, η οποία



είχε στο μεταξύ παρουσιαστεί από τον Hooke και τον Huygens. Η σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα κυριάρχησε στην ευρωπαϊκή σκέψη σε όλη τη διάρκεια του 18ου αιώνα.

## Ορισμοί

Ανάκλαση του φωτός ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μια λεπτή παράλληλη δέσμη φωτεινών ακτίνων προσπίπτει πάνω σε λεία και στυλπνή επιφάνεια, τότε επιστρέφει στο ίδιο μέσο διάδοσης, κατά ορισμένη μόνο διεύθυνση.

Η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτίνα με την κάθετη στην ανακλαστική επιφάνεια λέγεται γωνία πρόσπτωσης ( $\theta_{\pi}$ ), ενώ η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια λέγεται γωνία ανάκλασης ( $\theta_{\alpha}$ ).

Οι **νόμοι της ανάκλασης** του φωτός είναι:

α) Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη στην ανακλαστική επιφάνεια, στο σημείο πρόσπτωσης, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο πρόσπτωσης), που είναι κάθετο στην επιφάνεια που προκαλεί την ανάκλαση.

β) Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης:

$$\theta_{\pi} = \theta_{\alpha}$$

Ο παραπάνω ορισμός αναφέρεται στην κανονική (ή κατοπτρική) ανάκλαση.

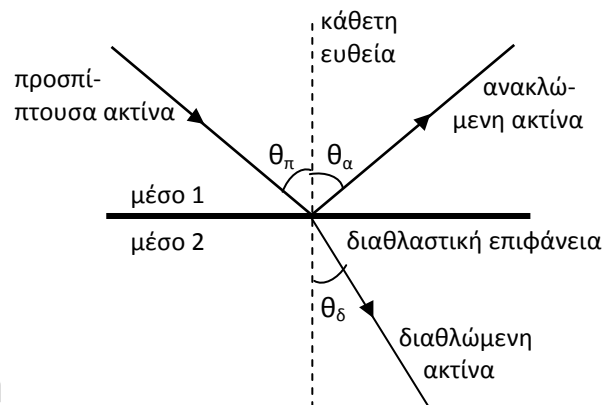
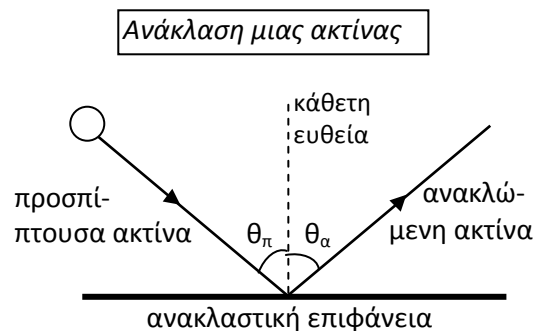
Διάθλαση του φωτός ονομάζεται

το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μια λεπτή παράλληλη δέσμη φωτεινών ακτίνων προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δυο διαφορετικών διαφανών μέσων, τότε ένα μέρος της εισέρχεται στο δεύτερο μέσο, αλλάζοντας ταυτόχρονα διεύθυνση διάδοσης.

Η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια λέγεται γωνία διάθλασης ( $\theta_{\delta}$ ).

Όταν η δέσμη προσπίπτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια, τότε δεν αλλάζει διεύθυνση, δηλαδή δεν έχουμε διάθλαση.

Ανάλυση του λευκού φωτός με πρίσμα ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο μια δέσμη λευκού φωτός που πέφτει πάνω σε πρίσμα διαχωρίζεται στα επιμέρους χρώματα από τα οποία αποτελείται.



## Ερμηνείες

Το γεγονός ότι μπορούμε να δούμε το φως μέσα από ένα γυάλινο δοχείο και όταν δεν περιέχει αέρα αποδεικνύει πως η παρουσία του αέρα ελάχιστα επηρεάζει τη διάδοση του φωτός. Γι' αυτό μπορούμε να κάνουμε οπτικά πειράματα σε ένα συνηθισμένο δωμάτιο με τα ίδια αποτελέσματα που θα είχαμε σε ένα κενό δωμάτιο. Όλα τα φαινόμενα, ακόμα κι οι πιο περίπλοκες περιπτώσεις όπου εμφανίζεται φως, σκιά και υποσκίασμα, μπορούν να εξηγηθούν με την υπόθεση πως το φως διαδίδεται ευθύγραμμα στο κενό ή στον αέρα. Τι συμβαίνει όμως στη διάθλαση; Παρατηρούμε το φαινόμενο της διάθλασης όταν βυθίζουμε ένα ραβδί στο νερό και φαίνεται να σπάει στο σημείο που βυθίζεται.

Τα προηγούμενα γεγονότα αρκούν για να δείξουν πώς επινοήθηκε μια απλή μηχανιστική θεωρία για το φως και πώς πέρασαν στον τομέα της οπτικής οι ιδέες των ουσιών, των σωματίων και των δυνάμεων και στο τέλος κατέρρευσε η παλιά φιλοσοφική αντίληψη. Αρχίζοντας, λοιπόν, ας δεχτούμε πως όλα τα φωτεινά σώματα εκπέμπουν σωματίδια φωτός που προξενούν το αίσθημα της όρασης, χτυπώντας τα μάτια μας. Αυτά τα σωματίδια πρέπει να μετατοπίζονται στον κενό χώρο με γνωστή ταχύτητα, πάνω σε ευθύγραμμες τροχιές, φέρνοντας στα μάτια μας μηνύματα από τα σώματα που ακτινοβολούν. Όλα τα φαινόμενα που δείχνουν πως η διάδοση του φωτός είναι ευθύγραμμη είναι υπέρ της σωματιδιακής θεωρίας, επειδή ακριβώς αυτό το είδος της κίνησης είναι που ορίζεται για τα σωματίδια. Η θεωρία εξηγεί επίσης με πολύ απλό τρόπο την ανάκλαση του φωτός από τους καθρέπτες σαν φαινόμενο του ίδιου είδους με την ανάκλαση ελαστικών σφαιρών σε ένα τοίχο. Ο καθρέπτης εξασκεί μια απωστική δύναμη στα σωματίδια του φωτός. Το μέτρο της ταχύτητάς τους παραμένει σταθερό.

Η ερμηνεία της διάθλασης είναι πιο δύσκολη. Όταν τα σωματίδια χτυπάνε π.χ. μια γυάλινη επιφάνεια, είναι δυνατόν να ασκείται πάνω τους μια δύναμη από τα μόρια της ύλης, μια δύναμη που δρα μονάχα στην άμεση γειτονία της ύλης. Εάν η δύναμη που δρα πάνω στα σωματίδια είναι έλξη κάθετη στην επιφάνεια του γυαλιού τότε η ευθεία της κίνησης θα βρίσκεται κάπου ανάμεσα στην αρχική διεύθυνση και την κάθετη. Αυτή η εξήγηση φαίνεται να υπόσχεται επιτυχία στη σωματιδιακή θεωρία του φωτός. Γενικά η θεωρία αυτή προβλέπει ότι το οπτικά πυκνότερο μέσο εξασκεί μια ελκτική δύναμη στα σωματίδια του φωτός και το μέτρο της ταχύτητάς τους είναι μεγαλύτερο στο πυκνότερο μέσο.

Τον 17ο αιώνα η κυρίαρχη άποψη αντίκριζε το λευκό φως του Ήλιου σαν το απλούστερο είδος φωτός. Η παρέμβαση του Νεύτωνα θα ανατρέψει μια μεγάλη βεβαιότητα. Χρησιμοποιώντας την πειραματική προσέγγιση, ανέλυσε το αίνιγμα

του χρώματος. Προμηθεύτηκε ένα γυάλινο τριγωνικό πρίσμα και αφού συσκότισε το δωμάτιο και έκανε μια τρυπίτσα στο παραθυρόφυλλο, τοποθέτησε το πρίσμα μπροστά της, έτσι που το φως που διαθλάται να χτυπάει στον απέναντι τοίχο.



Αφού το λευκό φως του ηλίου πέρασε μέσα από το πρίσμα, έδειξε όλα τα χρώματα που υπάρχουν στον ορατό κόσμο και αυτά του ουράνιου τόξου. Για πρώτη φορά εξηγήθηκε γιατί το ουράνιο τόξο εμφανίζεται από καιρό σε καιρό και πάντα σε σύνδεση με την βροχή. Ο ίδιος εξήγησε πως κάθε χρώμα περιέχεται στο λευκό και όλα μαζί δίνουν το μείγμα του λευκού πριν το πρίσμα τα διαχωρίσει. Οι δυνάμεις που διαθλούν το φως είναι πιο ισχυρές για τα σωματίδια του ιώδους χρώματος και πιο ασθενείς για αυτά του κόκκινου κι έτσι το κάθε χρώμα διαθλάται πάνω σε διαφορετική τροχιά και ξεχωρίζει από τα άλλα, βγαίνοντας από την αντίθετη πλευρά του πρίσματος. Στην περίπτωση του ουράνιου τόξου αντί για πρίσμα έχουμε τα σταγονίδια της βροχής. Οι σειρές των χρωμάτων στο ηλιακό φως ονομάζονται ηλιακό φάσμα ή ορατό φάσμα. Η ανάλυση του λευκού φωτός στις συνιστώσες του ονομάζεται σκεδασμός του φωτός. Ο Νεύτωνας απέδειξε πειραματικά πως είναι δυνατό να ξαναπάρουμε όσες φορές θέλουμε το λευκό φως από το φάσμα του και το αντίθετο. Αν φανταστούμε πως ξαφνικά συμβαίνει ο ήλιος να εκπέμπει μονάχα ομογενές φως π.χ. κίτρινου χρώματος, τότε η μεγάλη ποικιλία των χρωμάτων στη γη θα εξαφανιζόταν αμέσως. Κάθε πράγμα θα ήταν κίτρινο ή μαύρο και η πρόβλεψη αυτή είναι συνέπεια της θεωρίας που βλέπει το φως σαν ουσία, γιατί δεν μπορούν να δημιουργηθούν καινούρια χρώματα.

Συνοπτικά, λοιπόν, τα βασικά σημεία της ερμηνείας των χρωμάτων από τον Νεύτωνα είναι:

- Το λευκό φως αποτελείται από διάφορα «βασικά» χρώματα.
- Κάθε χρώμα «δημιουργείται» από σωματίδια διαφορετικής μάζας.
- Όταν τα σωματίδια του φωτός κινούνται από ένα μέσο σε ένα άλλο, έλκονται με διαφορετική βαρυτική δύναμη, λόγω των διαφορετικών μαζών τους.

- Με αυτόν τον τρόπο η κάθετη, στην επιφάνεια μεταξύ των δύο μέσων, συνιστώσα της ταχύτητας μεταβάλλεται κατά μια διαφορετική ποσότητα για κάθε χρώμα και επομένως το ίδιο συμβαίνει με τη γωνία διάθλασης.
- Η ανασύνθεση του λευκού φωτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα αντίστροφο πρίσμα (προσοχή στη συμμετρία!) ή με τον δίσκο του Νεύτωνα.



Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα κυριάρχησε στην ευρωπαϊκή σκέψη σε όλη τη διάρκεια του 18ου αιώνα. Αυτός είναι ο λόγος που η «αντίπαλη» θεωρία για την κυματική φύση του φωτός δεν επικράτησε εύκολα, παρά το γεγονός ότι και αυτή εξηγούσε με επιτυχία όλα τα παραπάνω φαινόμενα.

#### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

Ν. Αλεξάκης, Σ. Αμπατζής, Γ. Γκουγκούσης Β. Κουντούρης, Ν. Μοσχοβίτης Σ. Οβαδίας, Κ. Πετρόχειλος, Μ. Σαμπράκος, Α. Ψαλίδας, Γεωργακάκος Π., Σκαλωμένος Α., Σφαρνάς Ν., Χριστακόπουλος Ι. (2018), ΦΥΣΙΚΗ Β΄ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Albert Einstein - Leopold Infeld (1978), Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΙΔΕΩΝ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ, «ΔΩΔΩΝΗ»

<http://users.sch.gr/kassetas/historLight.htm>

<http://users.sch.gr/kassetas/historyLightVision.htm>

<http://users.sch.gr/kassetas/xCOLOR4Physics.htm>

[https://www.astro.auth.gr/~varvogli/ieif\\_ppts/5-optics\\_gr.pdf](https://www.astro.auth.gr/~varvogli/ieif_ppts/5-optics_gr.pdf)

#### ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

Πούπος Ελευθέριος

Σιαμπλίδου Αναστασία

Τερπεζίδης Φώτιος

Χατζόπουλος Θωμάς

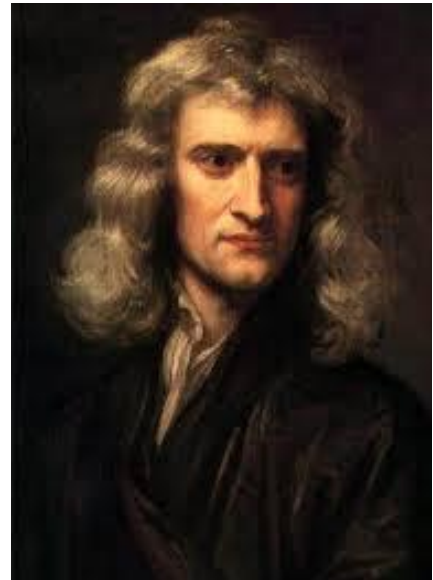
Χρυσαφίδης Αριστοτέλης



Ένα από τα «σκοτεινότερα» αλλά και ελκυστικότερα θέματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο ήταν η φύση του φωτός. Η έρευνα γύρω από το πρόβλημα αυτό σύνδεσε μεγάλα ονόματα της επιστήμης. Κατά την επιστημονική επανάσταση, πρώτοι ο Ισαάκ Νεύτων και ο Ολλανδός φυσικός Κρίστιαν Χούχενς ανέπτυξαν θεωρίες που για πολλά χρόνια αντιμάχονταν σε μεγάλο βαθμό. Το μεγάλο κύρος του πρώτου απέτρεπε κάθε ένσταση ή άλλη πρόταση, ακόμη και συμβιβασμούς. Όταν όμως μια θεωρία δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε όλο το εύρος της, τότε αυτή πάσχει. Έτσι κλονίζεται και παραχωρεί τη θέση της σε άλλη. Αυτό συνέβη και με τη θεωρία του Νεύτωνα, που δεν μπόρεσε να αντέξει ελέγχους και παρατηρήσεις που είχαν να κάνουν και με τις μετρήσεις της ταχύτητας του φωτός.

### Θεωρία Newton

Η πρώτη θεωρία που εξηγούσε κάπως ικανοποιητικά ορισμένα από τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το φως διατυπώθηκε από τον Ισαάκ Νεύτωνα, ο οποίος δεχόταν ότι τα φωτεινά σώματα εκπέμπουν σωματίδια που κινούνται ευθύγραμμα και με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Τα σωματίδια αυτά ανακλώνται στο μάτι και προκαλούν τη ανάλογη αίσθηση, αντίληψη.



### Θεωρία Huygens

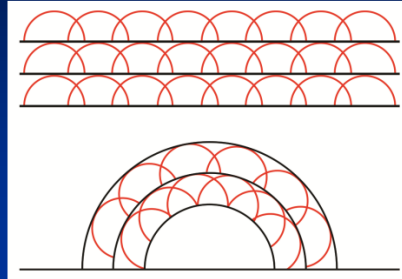
Σε μεγάλη αντιπαράθεση της προηγούμενης θεωρίας, την ίδια εποχή, υπήρξε αυτή του Χούχενς. Ο Χούχενς διατύπωσε μια σχετικά ολοκληρωμένη κυματική θεωρία, με την οποία θα ήταν δυνατόν να ερμηνευτούν τα γνωστά τότε φωτεινά φαινόμενα – η ανάκλαση, η διάθλαση και η διπλή διάθλαση στη λεγόμενη ισλανδική κρύσταλλο. Χρησιμοποιώντας την ομώνυμη αρχή, έδειξε ότι η ταχύτητα του φωτός στο πυκνότερο μέσο είναι μικρότερη από ό,τι



στο αραιότερο. Σύμφωνα με τη θεωρία του Χούχενς, το φως αποστέλλεται από κύματα κατά περιοδικές «διαταραχές» κάποιου υποθετικού μέσου. Εστίες των

περιοδικών αυτών μεταβολών είναι οι φωτεινές πηγές των οποίων τα μόρια βρίσκονται σε «ταχύτατη κραδασμική κίνηση», ενώ το υποθετικό μέσο δια του οποίου μεταδίδονται οι παλμικές κινήσεις είναι ο «αιθέρας», ένα ελαστικό ακίνητο και αβαρές μέσο με το οποίο πληρούται το σύμπαν. Ο αιθέρας αυτός φέρεται διάχυτος στο μεταξύ των ουρανίων σωμάτων διάστημα, προκειμένου έτσι να εξηγηθεί η στο «κενό» διάδοση του φωτός αυτών των ουρανίων σωμάτων.

### Αρχή της δευτερογενούς εκπομπής του Huygens



•Κάθε σημείο, από το οποίο διέρχεται ένα κύμα, γίνεται κέντρο δευτερογενούς εκπομπής.

Εν μέσω της αυθεντίας του Νεύτωνα, η κυματική φύση του φωτός αναδείχτηκε αργότερα από τον Άγγλο Thomas Young, με το περίφημο πείραμα των δυο σχισμών, και ενισχύθηκε από τον Γάλλο Augustin - Jean Fresnel. Οι εργασίες τους αφορούσαν φαινόμενα του φωτός που δεν μπορούσαν να εξηγηθούν με τη σωματιδιακή φύση του. Το αποκορύφωμα της έρευνας και της κατανόησης της κυματικής φύσης του φωτός ήρθε αργότερα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του μεγάλου James Clerk Maxwell, σύμφωνα με την οποία το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

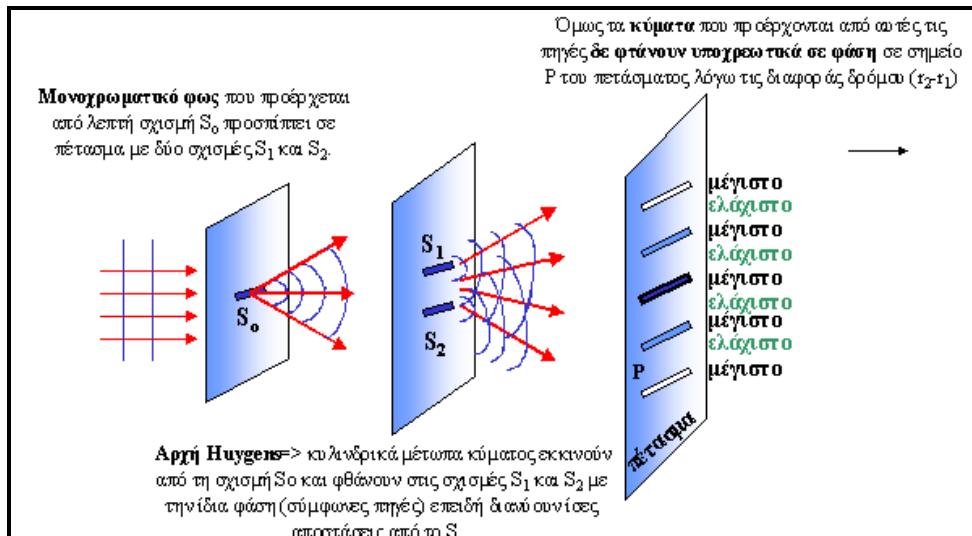
### Thomas Young και συμβολή του φωτός

Ο Βρετανός φυσικός T. Young (Γιανγκ, 1773 - 1829) διατύπωσε την κυματική θεωρία μεταξύ του 1799 και του 1804, εγκαταλείποντας τόσο την ιδέα ότι το φως είναι ένα αβαρές ρευστό όσο και τη νευτώνεια σωματιδιακή θεωρία του φωτός. Πυρήνας αυτής της θεωρίας ήταν η έννοια του «φωτοφόρου» αιθέρα, του μέσου στο οποίο διαδίδεται το φως. Το φως, σύμφωνα με τον Young, ήταν ένα κυματικό φαινόμενο, όπως ο ήχος. Δηλαδή επρόκειτο για μια διαταραχή που ταξιδεύει στον χώρο. Η διάδοση μιας διαταραχής στον χώρο προϋπέθετε την ύπαρξη κάποιου μέσου. Ήταν γνωστό, για παράδειγμα, ότι ο ήχος δε διαδίδεται στο κενό. Η υπόθεση του αιθέρα προτάθηκε αργότερα για να καταστήσει κατανοητό το φως ως κυματικό



φαινόμενο. Η αναπαράσταση του φωτός ως κύματος ήταν σε θέση να εξηγήσει το φαινόμενο της συμβολής του φωτός.

Συμβολή του φωτός ονομάζεται το φαινόμενο της ταυτόχρονης διάδοσης στο ίδιο μέσο δυο (ή περισσότερων) φωτεινών κυμάτων που προέρχονται από σύμφωνες φωτεινές πηγές, κατά το οποίο, με τη συνάντηση των κυμάτων σε μια περιοχή του μέσου, δημιουργείται στα διάφορα σημεία της περιοχής κύμα ισχυρότερο ή ασθενέστερο από τα αρχικά κύματα.



Ο Young, αν και Γιατρός, το μεγάλο μέρος της δραστηριότητάς του το αφιέρωνε στην πραγματοποίηση πειραμάτων, κυρίως στην Οπτική. Το πιο σημαντικό από αυτά έχει μείνει στην ιστορία της Φυσικής ως το πείραμα των δύο σχισμών. Στο πείραμα αυτό ο Γιανγκ χρησιμοποίησε δύο διαφράγματα, ένα με χαραγμένη μία σχισμή και ένα άλλο με χαραγμένες δύο σχισμές. Τοποθέτησε τα δύο διαφράγματα παράλληλα μεταξύ τους και προσανατόλισε το δεύτερο, έτσι ώστε οι δύο σχισμές του να είναι παράλληλες με τη σχισμή του πρώτου. Τοποθέτησε μια πηγή φωτός πίσω από το διάφραγμα με τη μία σχισμή και παρατήρησε ότι στον τοίχο απέναντι από το δεύτερο διάφραγμα εμφανίστηκε μία ταινία από χρωματιστές και σκοτεινές γραμμές, που συνήθως ονομάζονται συνολικά κροσσοί συμβολής. Όταν αφαιρούσε το διάφραγμα με τις δύο σχισμές, εξαφανίζονταν και οι κροσσοί αφήνοντας στη θέση τους λευκό φως και όταν το τοποθετούσε ξανά, εμφανίζονταν και πάλι οι κροσσοί. Η ερμηνεία που έδωσε ήταν ότι αυτό που παρατηρούσε ήταν το φαινόμενο συμβολής δύο πηγών κυμάτων, η καθεμιά από τις οποίες συνέπιπτε με μία από τις σχισμές του δεύτερου διαφράγματος.

Το φαινόμενο της συμβολής είναι εύκολο να το παρατηρήσει κανείς σε δύο κύματα που διαδίδονται στην επιφάνεια ενός υγρού. Κάθε στιγμή τα δύο κύματα

προστίθενται, έτσι ώστε το ύψος σε ένα σημείο να είναι ίσο με το άθροισμα των υψών του κάθε κύματος. Όταν σε ένα σημείο φθάσουν δύο κορυφές ή δύο κοιλάδες ταυτόχρονα, τότε το κύμα που παρατηρείται έχει διπλάσιο ύψος ή βάθος. Όταν όμως φθάσει η κορυφή του ενός κύματος και η κοιλάδα του άλλου, τότε η επιφάνεια μένει ήρεμη, σαν να μην υπάρχει καθόλου κυματισμός. Αυτή η κατάσταση αντιστοιχεί στις σκοτεινές γραμμές που παρατηρούσε ο Γιανγκ, όπου δεν υπάρχει φως. Από τη διαφορετική θέση των χρωματιστών γραμμών ο Γιανγκ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε κύματα διαφορετικού μήκους κύματος. Στην τελική μορφή του πειράματος ο Γιανγκ τοποθέτησε χρωματιστά φίλτρα πριν από το διάφραγμα με την απλή σχισμή και πέτυχε να υπολογίσει το μήκος κύματος του κάθε χρώματος. Μετρώντας την απόσταση των δύο σχισμών, την απόσταση του δεύτερου διαφράγματος από τον τοίχο και την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σκοτεινών κροσσών, βρήκε ότι το κόκκινο χρώμα έχει μήκος κύματος 0,7 χιλιοστά του χιλιοστομέτρου και το ιώδες 0,4. Επεκτείνοντας μάλιστα την αναλογία των φωτεινών κυμάτων με τα κύματα επιφάνειας μπόρεσε να ερμηνεύσει και το φαινόμενο της πόλωσης. Υπέθεσε ότι η κύμανση του μέσου στο οποίο διαδίδεται το φως είναι κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης, οπότε υπάρχουν δύο διευθύνσεις κύμανσης κάθετες μεταξύ τους, η καθεμιά από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια ακτίνα με ξεχωριστές ιδιότητες. Όσο για το είδος του μέσου στο οποίο διαδίδεται το φως δεν είχε κάποια συγκεκριμένη ιδέα, ωστόσο οι μεταγενέστεροι φυσικοί του 19ου αιώνα δέχτηκαν ότι είναι ένα είδος αβαρούς ρευστού, μη ανιχνεύσιμου με τις αισθήσεις μας, το οποίο ονόμασαν αιθέρα.

Ένας ερασιτέχνης Φυσικός είχε πραγματοποιήσει ένα από τα σημαντικότερα πειράματα στην ιστορία της Φυσικής. Έτσι ο Young είχε πειστεί ότι το φως έχει χαρακτήρα κυματικό. Αυτό δε σημαίνει ότι κατάφερε να πείσει και την επιστημονική κοινότητα της εποχής. Η δημοσίευση της εργασίας του, ενώ έγινε με απλό και πειστικό τρόπο, προκάλεσε όχι μόνο αποδοκιμασίες, αλλά και παρά πέρα αντιδράσεις στα όρια του εμπαιγμού. Ήταν το αναπόφευκτο τίμημα της προσωπικής του σύγκρουσης με τη νευτωνική αυθεντία. Μέσα σε εκατό χρόνια, η νευτωνική επανάσταση είχε προλάβει να γίνει καθεστώς.

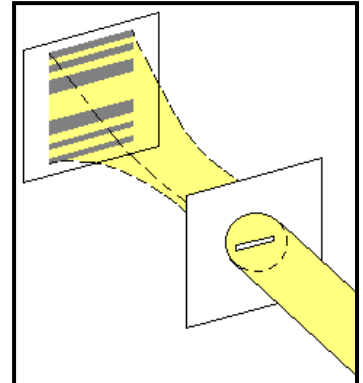
### **Augustin-Jean Fresnel και Περίθλαση του Φωτός**

Η κυματική οπτική αναπτύχθηκε, επίσης, από τον Γάλλο φυσικό A.J. Fresnel (Φρενέλ, 1788-1827). Ο Fresnel ήταν αντίθετος, όπως και ο Young, στην αναπαράσταση του φωτός ως αβαρούς ρευστού, καθώς και στη σωματιδιακή θεωρία του φωτός, κύριος εκφραστής της οποίας ήταν ο Laplace. Ο Fresnel θεωρούσε ότι το φως είναι ένα κυματικό φαινόμενο στον αιθέρα και διατύπωσε, έως το 1821, μια κυματική οπτική. Ο στόχος του δεν περιοριζόταν στην οπτική

και περιελάμβανε την ενοποίηση της φυσικής με βάση τον αιθέρα. Όλα τα φαινόμενα, στο πλαίσιο αυτού του ενοποιητικού, μηχανιστικού προγράμματος, θα ερμηνεύονταν ως αποτέλεσμα των μηχανικών χαρακτηριστικών του αιθέρα. Για μεγάλο διάστημα, τουλάχιστον έως το 1815, ο Fresnel αγνοούσε τη θεωρία του Young. Εκείνη την περίοδο ερμήνευσε το φαινόμενο της περίθλασης του φωτός χρησιμοποιώντας την κυματική υπόστασή του και άρα το φαινόμενο της συμβολής. Η ερμηνεία αυτή επαληθεύθηκε πειραματικά και αποτέλεσε μια σημαντική ένδειξη για την ορθότητα της κυματικής θεωρίας του φωτός.

Περίθλαση του φωτός ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται απόκλιση από την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, όταν πέφτει πάνω σε λεπτές σχισμές ή λεπτά διαφράγματα με διαστάσεις της τάξης μεγέθους του μήκους κύματος.

Το φαινόμενο της περίθλασης παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον Ιταλό φυσικό Φραντσέσκο Γκριμάλντι το 1665, μερικά δηλαδή χρόνια πριν διαμορφωθούν οι δύο αντίπαλες θεωρίες για το φως. Ο Grimaldi παρατήρησε ότι οι ακτίνες φωτός που διαπερνούσαν μία λεπτή σχισμή δημιουργούσαν μία λεπτή φωτεινή ζώνη λίγο πλατύτερη από τη σχισμή. Το φαινόμενο αυτό το ερμήνευσε ως κάμψη του φωτός λόγω των άκρων των σχισμών και το ονόμασε περίθλαση.



Ο Fresnel, δεκαπέντε χρόνια μετά τις εργασίες του Young, με ένα διαφορετικό πείραμα, έδειξε ότι το φως παρουσιάζει φαινόμενα συμβολής. Το 1818 έδωσε εξήγηση στο φαινόμενο, χρησιμοποιώντας την αρχή του Χόιχενς. Όταν φωτεινή δέσμη προσπίπτει πάνω σε μία λεπτή σχισμή, τότε, σύμφωνα με την αρχή του Χόιχενς, κάθε μέρος της σχισμής γίνεται με τη σειρά του πηγή εκπομπής φωτεινών ακτίνων. Οι φωτεινές αυτές ακτίνες συμβάλλουν είτε καταστρεπτικά είτε ενισχυτικά, ακολουθώντας τους κανόνες της ενισχυτικής και καταστρεπτικής συμβολής. Και δε σταμάτησε εκεί. Ενάμιση περίπου αιώνα μετά τον



Huygens θα διακρίνει μέσα στο φαινόμενο «περίθλαση» αυτό που δεν μπόρεσε να διακρίνει ο Huygens, ένα ισχυρό δηλαδή επιχείρημα για την κυματική φύση του φωτός. Σε αντίθεση με ό,τι είχε συμβεί με τον Young, η παρέμβαση του Fresnel έπεισε τους περισσότερους φυσικούς της εποχής για τον κυματικό χαρακτήρα του φωτός. Το 1819 ο Fresnel υπέβαλε μια εργασία στην Ακαδημία

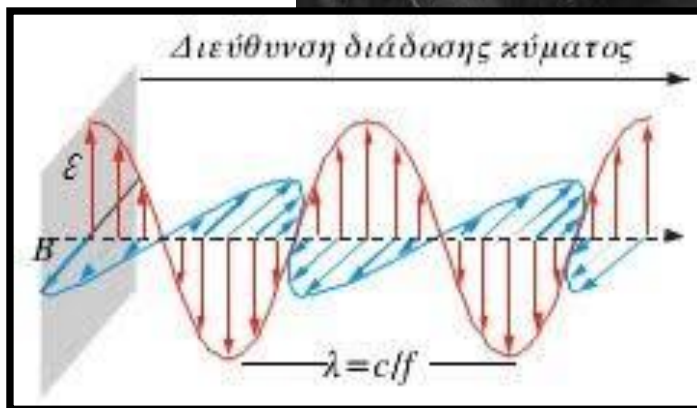
Επιστημών, στο πλαίσιο ενός διαγωνισμού. Η εργασία αυτή περιείχε μια ακριβή μαθηματική ανάλυση της περίθλασης και κέρδισε το σχετικό βραβείο. Η ανάλυση του Fresnel οδήγησε σε μια «παράξενη» πρόβλεψη, η οποία στη συνέχεια επιβεβαιώθηκε πειραματικά: στο κέντρο της σκιάς ενός μικρού δίσκου που φωτίζεται θα υπάρχει μια φωτεινή κηλίδα. Αν και έχει αμφισβητηθεί ότι αυτή η πρόβλεψη και μόνο οδήγησε στην εδραίωση της κυματικής θεωρίας του φωτός, η σημασία της ήταν μεγάλη, διότι η σωματιδιακή θεωρία δεν ήταν σε θέση να την αναπαραγάγει.

### James Clerk Maxwell και ηλεκτρομαγνητική θεωρία

Η πιο σημαντική εξέλιξη του 19ου αιώνα στη μελέτη παραγωγής και διάδοσης του φωτός υπήρξε το έργο του Maxwell, ο οποίος το 1873 διατύπωσε τη θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία ξεκινούν από τη φωτεινή πηγή και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις.

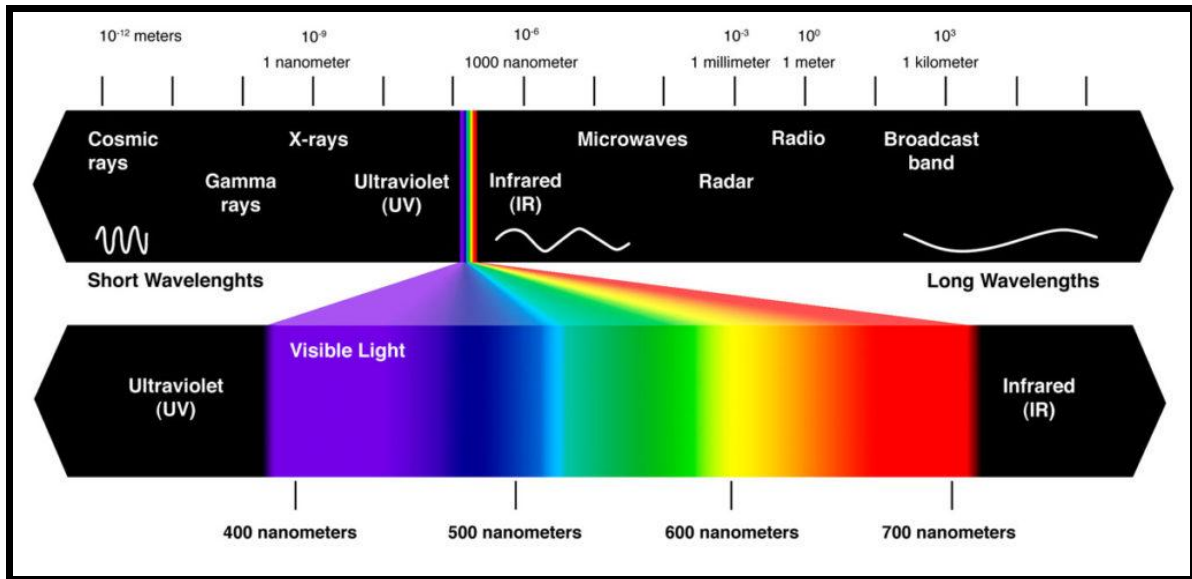


Ο Maxwell απέδειξε ότι, όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο ταλαντώνεται, παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό κύμα. Δηλαδή είναι ένα πεδίο με δύο χαρακτηριστικά, την ένταση  $E$  του ηλεκτρικού πεδίου και την ένταση  $B$  του μαγνητικού πεδίου, των οποίων τα διανύσματα είναι κάθετα μεταξύ τους και μεταβάλλονται



από θέση σε θέση και από στιγμή σε στιγμή. Γι' αυτόν τον λόγο χαρακτηρίζονται ως δύο τοπικά και χρονικά μεταβαλλόμενα μεγέθη ( $E$  και  $B$ ). Οι εντάσεις των πεδίων  $E$  και  $B$  παίρνουν ταυτόχρονα τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους, δηλαδή έχουν την ίδια φάση, και διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα  $c$ .

Οι συνηθισμένες πηγές ορατού φωτός δίνουν τέτοιες συχνότητες (ή μήκη κύματος), ώστε να γίνονται αντιληπτές από το μάτι. Το μήκος κύματος των κυμάτων αυτών κυμαίνεται από 400nm έως και 700nm περίπου.



Επίσης εύκολα διαπιστώνουμε ότι το φως μεταφέρει ενέργεια (π.χ. ένα οποιοδήποτε σώμα, όταν εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία, θερμαίνεται). Η ενέργεια αυτή είναι ενέργεια ηλεκτρικού και ενέργεια μαγνητικού πεδίου, η οποία παράγεται από τις πηγές και μεταφέρεται ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Την ορθότητα της θεωρίας του Maxwell απέδειξε πειραματικά ο Hertz (Χερτς) το 1887, ο οποίος παρήγαγε, μέσω ταχέων ηλεκτρικών ταλαντώσεων, κύματα της ίδιας φύσης με αυτήν του φωτός, αλλά με μικρότερη συχνότητα. Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ( $c$ ), η συχνότητα ( $f$ ) και το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) συνδέονται με τη σχέση

$$c = \lambda f,$$

η οποία ονομάζεται θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής.

Στα τέλη του 19ου αιώνα το φως θεωρείται:  
 Από την άποψη της υλικής του δομής ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.  
 Από τη σκοπιά του τρόπου διάδοσης ηλεκτρομαγνητικό κύμα.  
 Από τη σκοπιά της ενέργειας που μεταφέρει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

Ν. Αλεξάκης, Σ. Αμπατζής, Γ. Γκουγκούσης Β. Κουντούρης, Ν. Μοσχοβίτης Σ. Οβαδίας, Κ. Πετρόχειλος, Μ. Σαμπράκος, Α. Ψαλίδας, Γεωργακάκος Π., Σκαλωμένος Α., Σφαρνάς Ν., Χριστακόπουλος Ι. (2018), ΦΥΣΙΚΗ Β΄ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Αραμπατζής Θ., Γαβρόγλου Κ., Διαλέτης Δ., Χριστιανίδης Γ., Κανδεράκης Ν., Βερνίκος Σ. (1999), ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ (ΜΑΘΗΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ), ΟΕΔΒ

<http://users.sch.gr/kassetas/historLight.htm>

[https://www.astro.auth.gr/~varvogli/ieif\\_ppts/5-optics\\_gr.pdf](https://www.astro.auth.gr/~varvogli/ieif_ppts/5-optics_gr.pdf)

[https://el.wikipedia.org/wiki/Φως#Θεωρίες\\_για\\_τη\\_φύση\\_του\\_φωτός](https://el.wikipedia.org/wiki/Φως#Θεωρίες_για_τη_φύση_του_φωτός)

<http://photographyinfo.gr/blog/tag/η-φύση-του-φωτός/>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Περίθλαση>

<https://www.tovima.gr/2010/12/05/science/o-giangk-kai-oi-dyo-sxismes/>

#### ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

Ξενιτίδης Θεόδωρος

Πηλιώκης Γεώργιος

Τσιφτσής Ιωάννης

Τσομπανίδης Μιχαήλ



Η πιο σημαντική εξέλιξη του 19ου αιώνα στη μελέτη παραγωγής και διάδοσης του φωτός υπήρξε το έργο του Maxwell, ο οποίος το 1873 διατύπωσε τη θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Στο τέλος όμως του 19ου αιώνα ανακαλύφθηκε και ένα καινούριο φαινόμενο, ανεξήγητο με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Ήταν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Την ίδια εποχή προβλήματα ερμηνείας παρουσιάζει επίσης και το φαινόμενο «εκπομπή ακτινοβολίας από ένα θερμό αντικείμενο».

### **Max Planck (1858-1947)**

Ο Μαξ Πλανκ καταγόταν από οικογένεια πανεπιστημιακών. Το 1867 η οικογένεια μετακόμισε στο Μόναχο και ο Μαξ εγγράφηκε στο περίφημο Königlich Maximilians gymnasium. Τελείωσε τη μέση εκπαίδευση σε ηλικία 16 ετών, ενώ, όπως και ο Χάιζενμπεργκ, είχε εξαιρετικό ταλέντο στη Μουσική, σε βαθμό που θα μπορούσε να σταδιοδρομήσει και ως επαγγελματίας μουσικός: έπαιζε πιάνο, εκκλησιαστικό όργανο και βιολοντσέλο, τραγουδούσε και συνέθετε τραγούδια και όπερες. Παρόλα αυτά, αποφάσισε να σπουδάσει Φυσική. Μετά τον διορισμό του ως άμισθου υφηγητή στο Μόναχο, μέχρι να του προσφερθεί μία καθηγητική έδρα, ολοκλήρωσε τις μελέτες του στον τομέα της θερμοδυναμικής. Τον Απρίλιο του 1885 ο Πλανκ διορίστηκε έκτακτος καθηγητής της Θεωρητικής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο του Κιέλου. Ακολούθησαν νέες μελέτες του πάνω στην εντροπία και την εφαρμογή της στη Φυσικοχημεία. Το 1889 χρίστηκε διάδοχος του Κίρκοφ στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου, το πιθανότερο χάρη στη μεσολάβηση του Χέλμχολτς, και το 1892 έγινε τακτικός καθηγητής.



### **Ακτινοβολία μέλανος σώματος**

Το 1894 ο Πλανκ έστρεψε την προσοχή του στο πρόβλημα της ακτινοβολίας μέλανος σώματος. Είχε αναλάβει να ανακαλύψει για λογαριασμό εταιρειών ηλεκτρισμού τον τρόπο παραγωγής του περισσότερου δυνατού φωτός με λαμπτήρες που θα κατανάλωναν την ελάχιστη ενέργεια. Με το πρόβλημα είχε ήδη ασχοληθεί ο Κίρκοφ το 1859: πώς εξαρτάται η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα (ένας τέλειος

απορροφητής της ξένης ακτινοβολίας, όπως μία κοιλότητα) από τη συχνότητα της ακτινοβολίας (π.χ. το χρώμα του φωτός) και τη θερμοκρασία του μέλανος σώματος;

Ένα μέλαν σώμα μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα κουτί βαμμένο μαύρο στο εσωτερικό του, στο οποίο έχει ανοιχτεί μια πολύ μικρή τρύπα. Το κουτί απορροφά από την τρύπα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και στη συνέχεια την εκπέμπει. Αν μετρήσει κανείς την εκπεμπόμενη ακτινοβολία για διαφορετικές τιμές της συχνότητάς της προκύπτει μια καμπύλη, που αναπαριστά την κατανομή της ενέργειας σε διάφορες συχνότητες. Το ζήτημα είχε ήδη μελετηθεί πειραματικά, αλλά ο νόμος Rayleigh - Jeans που εξαγόταν με τη βοήθεια της Κλασικής Φυσικής αποτύγχανε να εξηγήσει την παρατηρούμενη συμπεριφορά σε υψηλές συχνότητες, δίνοντας πυκνότητα ενέργειας αποκλίνουσα προς το άπειρο, από όπου και ο όρος «υπεριώδης καταστροφή». Ο Βίλχελμ Βίεν πρότεινε τον ομώνυμο νόμο (Νόμος του Βίεν), που προέβλεπε με ακρίβεια τη συμπεριφορά σε υψηλές συχνότητες, αλλά αποτύγχανε στις χαμηλές.

Στην προσπάθειά του να συμφιλιώσει τη θεωρία με το πείραμα, ο Πλανκ τον Δεκέμβριο του έτους 1900, στο Συνέδριο των Γερμανών φυσικών, παρουσίασε μια εργασία η οποία θα άνοιγε ένα καινούριο κεφάλαιο στην Ιστορία της Φυσικής. Ανακοίνωσε ότι τα παράδοξα που παρουσίαζε κατά την εποχή εκείνη η εκπομπή ακτινοβολίας θα μπορούσαν να ερμηνευτούν, αρκεί κανείς να παραδεχόταν ότι, από τη σκοπιά της ενέργειας, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται μόνο κατά τρόπο ασυνεχή και ότι η ασυνέχεια αφορούσε τις τιμές της ενέργειας. Θα μπορούσαμε να εκλαϊκεύσουμε τον ισχυρισμό του, λέγοντας ότι η ενέργεια μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας εκπέμπεται με τρόπο που θυμίζει σταγόνες που βγαίνουν από ένα σταγονόμετρο. Κάθε σταγόνα αντιστοιχεί σε ένα ποσό ενέργειας. Εκπομπή ακτινοβολίας μπορεί να γίνει μόνο εφόσον συμπληρωθεί ένα ενεργειακό ποσό το οποίο, χρησιμοποιώντας τη λατινική λέξη για τον όρο «ποσόν», ονόμασε quantum ενέργειας. Όλα τα εκπεμπόμενα κβάντα μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας είναι ίσα και αδιαίρετα. Η ενέργεια καθενός από αυτά είναι ίση με το γινόμενο μιας παγκόσμιας σταθεράς επί τη συχνότητα της ακτινοβολίας.

Σύμφωνα, λοιπόν, με την κβαντική θεωρία του Planck, το φως (και γενικότερα κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) εκπέμπεται και απορροφάται από τα άτομα της ύλης όχι κατά συνεχή τρόπο, αλλά ασυνεχώς. Κάθε άτομο εκπέμπει ή απορροφά στοιχειώδη ποσά ενέργειας, που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια. Από το άτομο δηλαδή δεν εκπέμπονται συνεχώς κύματα, αλλά φωτόνια, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη συχνότητα και

έχει συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας  $E$ . Η ενέργεια κάθε φωτονίου μιας ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση

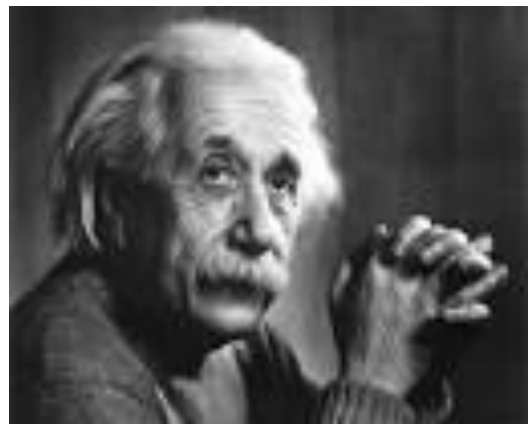
$$E = hf.$$

Το  $h$  είναι μια σταθερά που ονομάζεται σταθερά του Planck και έχει τιμή  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J·s και το  $f$  είναι η συχνότητα.

Η θεωρία των κβάντα δεν αναιρεί την κυματική φύση του φωτός. Το φωτόνιο έχει και κυματικές ιδιότητες, για παράδειγμα η ενέργειά του εξαρτάται από τη συχνότητα του, που είναι κατ' εξοχήν κυματική ιδιότητα.

### **Albert Einstein (1879-1955)**

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν ήταν Γερμανός φυσικός εβραϊκής καταγωγής. Είναι ο θεμελιωτής της Θεωρίας της Σχετικότητας και από πολλούς θεωρείται ο σημαντικότερος επιστήμονας του 20ού αιώνα και όλων των εποχών. Η επίδραση των ανακαλύψεων του Αϊνστάιν σχετικά με τη φύση του χώρου και του χρόνου εξακολουθεί να αποτελεί κεντρικό αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας σε φυσική, κοσμολογία και μαθηματικά, ενώ το επώνυμο του χρησιμοποιείται συχνά ως χαρακτηρισμός για να δηλώσει πως κάποιος έχει υψηλή ευφυΐα.



Γεννήθηκε στο Ουλμ (Ulm) της Γερμανίας. Σπούδασε στο ΕΤΗ Ζυρίχης (Πολυτεχνική Ακαδημία της Ζυρίχης) στην Ελβετία, όπου ολοκλήρωσε με επιτυχία τέσσερα χρόνια σπουδών. Μετά την αποφοίτησή του, το 1900, πήρε την ελβετική υπηκοότητα, εργάστηκε για δύο μήνες ως καθηγητής μαθηματικών και το 1902 προσλήφθηκε ως εξεταστής στο Ελβετικό Γραφείο Ευρεσιτεχνιών στη Βέρνη. Το 1921 τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ για τη συμβολή του στη θεωρητική φυσική και για την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

### ***Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο***

Με τον όρο «φωτοηλεκτρικό φαινόμενο» περιγράφουμε την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια των μετάλλων, όταν προσπίπτει πάνω τους κατάλληλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ορατή ή υπεριώδης κ.ά.

Στις αρχές του 20ού αιώνα ήταν γνωστό πειραματικά πως, όταν το ορατό ή το υπεριώδες φως προσπέσει πάνω σε μια μεταλλική επιφάνεια, εκπέμπονται

φωτοηλεκτρόνια από την επιφάνεια. Το φαινόμενο δεν προκαλούσε έκπληξη, επειδή οι φυσικοί ήξεραν ότι το ηλεκτρικό πεδίο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας θα μπορούσε να εξασκήσει δύναμη πάνω στα ηλεκτρόνια της μεταλλικής επιφάνειας κι έτσι μερικά από αυτά μπορούν να ξεφύγουν από το μέταλλο. Η έκπληξή τους όμως βρισκόταν αλλού. Στην κλασική θεωρία πίστευαν ότι αυξάνοντας την ένταση, δηλαδή το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου της ακτινοβολίας, τα φωτοηλεκτρόνια θα επιταχύνονταν σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Υπολογίζοντας όμως την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων διαπίστωσαν ότι ήταν ανεξάρτητη από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, αλλά εξαρτιόταν από το μήκος κύματος της ή αλλιώς από τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Σήμερα βέβαια γνωρίζουμε ότι αν αυξήσουμε την ένταση του φωτός, αυτό που στην πραγματικότητα κάνουμε είναι να αυξήσουμε τον αριθμό των φωτονίων ανά μονάδα χρόνου που εκπέμπονται από τη πηγή, αλλά όχι και την ενέργεια τους.

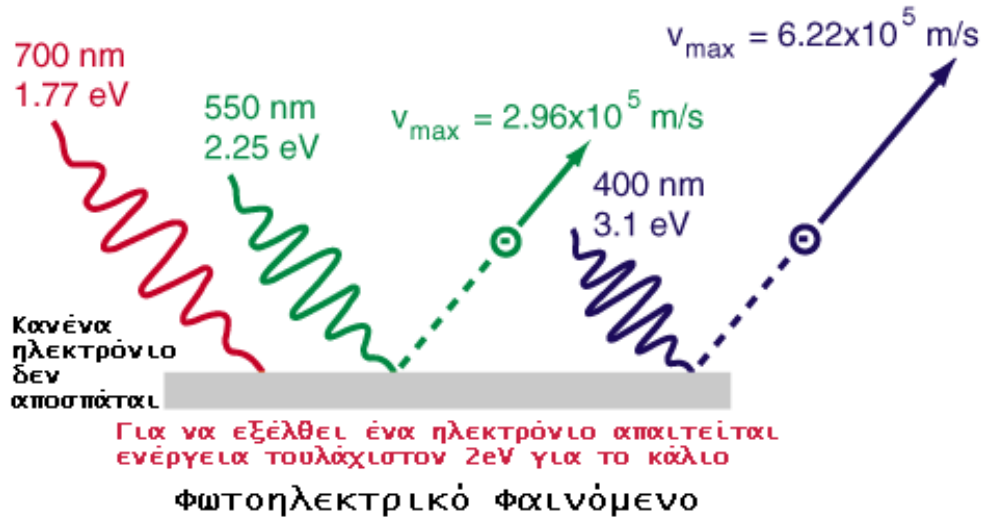
Το 1905 ο Αϊνστάιν πρότεινε μια εξήγηση του φαινομένου βασισμένη στη θεωρία του Planck για τα κβάντα φωτός. Όταν προσπίπτει φως πάνω στα μέταλλα, τότε μεταφέρεται ενέργεια από ένα φωτόνιο σε ένα από τα ηλεκτρόνια του ατόμου του μετάλλου. Δηλαδή το ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρά με ένα από τα φωτόνια του φωτός σαν να είναι το φωτόνιο σωματίδιο. Η ενέργεια του κβάντου  $E = hf$  μπορεί να μεταφερθεί στο ηλεκτρόνιο, ενώ αυτό βρίσκεται ακόμη μέσα στο μέταλλο. Αν  $W$  είναι το έργο εξαγωγής για την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου από το μέταλλο, τότε η κινητική του ενέργεια μόλις αποσπασθεί είναι

$$K = hf - W.$$

Η ποσότητα  $W$  είναι γνωστή σαν έργο εξαγωγής του υλικού, ανεξάρτητη της συχνότητας και χαρακτηριστική σταθερά του υλικού. Η παραπάνω εξίσωση είναι η περίφημη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Αϊνστάιν. Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που φεύγουν από το μέταλλο εξαρτάται από τη συχνότητα, αλλά είναι ανεξάρτητη της έντασης. Έτσι μπόρεσε να εξηγήσει ένα φαινόμενο που η κλασική φυσική, με την θεωρία του Maxwell, αδυνατούσε να ερμηνεύσει.

Ο Αϊνστάιν κατέληξε σε αυτή την ιδέα, παρατηρώντας ότι μερικές εκδηλώσεις του νόμου της ακτινοβολίας για το μέλαν σώμα του Planck, μπορούσαν να εξηγηθούν μόνο με την υπόθεση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της κοιλότητας είχε σωματιδιακές ιδιότητες. Ο Πλανκ μέχρι τότε δεν είχε δώσει σαφείς εξηγήσεις ή ερμηνείες για το τι είναι στην πραγματικότητα η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η επιτυχία του Αϊνστάιν έγκειται στο γεγονός ότι εφάρμοσε τις ιδέες της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Επιπλέον πρόσφερε τη δυνατότητα για μια ακριβή μέτρηση της σταθεράς του Πλανκ  $h$ .

Σχετικά πειράματα είχαν γίνει πριν από το 1905 από φυσικούς όπως ο P. Lenard και άλλους, αλλά ακριβείς μετρήσεις της σχέσης μεταξύ της συχνότητας και της κινητικής ενέργειας των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται, έγιναν το 1916 από τον R. Millikan.



Ο Albert Einstein έδωσε ερμηνεία στο ανεξήγητο μέχρι τότε φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με μια από τις τρεις εργασίες του που δημοσιεύτηκαν στο περίφημο τεύχος 17 του «Annalen der Physik». Στην ίδια δημοσίευση, με τη διασημότερη από τις τρεις εργασίες του, τη λεγόμενη «Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας», προτείνει να αγνοήσουμε τον αιθέρα, αποδεικνύοντας ότι πρόκειται για μία έννοια που μας είναι εντελώς άχρηστη και ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και οι αντίστοιχες ακτινοβολίες δεν έχουν ανάγκη κάποιον υποθετικό «ωκεανό» για τη διάδοσή τους στο κενό.

Με το μοντέλο του Einstein, κάθε φωτεινή δέσμη συντίθεται από «σωματίδια» καθένα από τα οποία μεταφέρει ενέργεια ενός κβάντου. Είκοσι χρόνια αργότερα ονομάστηκαν φωτόνια. Το φωτόνιο άρχισε να θεωρείται σωματίδιο χωρίς μάζα ηρεμίας. Το καινοφανές στοιχείο της νέας θεωρίας είναι ότι δεν αρνείται την κυματική φύση του φωτός. Για πρώτη φορά το δίλημμα «σωματίδιο ή κύμα» φαίνεται να ξεπερνιέται. Η άποψη αυτή που επικρατεί μέχρι και σήμερα αποδίδει σε κάθε ακτινοβολία μία διττή υπόσταση. Η ακτινοβολία συνιστά μία υλική οντότητα, αλλά σε ορισμένα από τα φαινόμενα με τα οποία εκδηλώνεται η ύπαρξή της - διάθλαση, συμβολή, περίθλαση, πόλωση - μπορούμε να ερμηνεύσουμε και να προβλέψουμε τη συμπεριφορά της επικαλούμενοι την κυματική της υπόσταση. Σε άλλα πάλι φαινόμενα - κατά τα οποία αλληλεπιδρά με την ύλη, όπως είναι το φωτοηλεκτρικό - για να ερμηνεύσουμε και να προβλέψουμε τη συμπεριφορά της, της αποδίδουμε μία σωματιδιακότητα, θεωρούμε ότι συγκροτείται από φωτόνια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

Ν. Αλεξιάκης, Σ. Αμπατζής, Γ. Γκουγκούσης Β. Κουντούρης, Ν. Μοσχοβίτης Σ. Οβαδίας, Κ. Πετρόχειλος, Μ. Σαμπράκος, Α. Ψαλίδας, Γεωργακάκος Π., Σκαλωμένος Α., Σφαρνάς Ν., Χριστακόπουλος Ι. (2018), ΦΥΣΙΚΗ Β΄ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Albert Einstein - Leopold Infeld (1978), Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΙΔΕΩΝ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ, «ΔΩΔΩΝΗ»

Αραμπατζής Θ., Γαβρόγλου Κ., Διαλέτης Δ., Χριστιανίδης Γ., Κανδεράκης Ν., Βερνίκος Σ. (1999), ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ Γ΄ ΛΥΚΕΙΟΥ (ΜΑΘΗΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ), ΟΕΔΒ

<http://users.sch.gr/kassetas/historLight.htm>

[https://el.wikipedia.org/wiki/Μαξ\\_Πλανκ](https://el.wikipedia.org/wiki/Μαξ_Πλανκ)

[https://el.wikipedia.org/wiki/Άλμπερτ\\_Αϊνστάιν](https://el.wikipedia.org/wiki/Άλμπερτ_Αϊνστάιν)

<http://www.physics4u.gr/articles/2002/photoelectric.html>

## ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

Παπαδοπούλου Δέσποινα

Ποταμοπούλου Δαμιανή

Τσεκρέζι Γιωργίνα

Χατζηαντωνίου Αντωνία