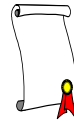
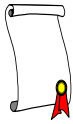


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΑΓΩΓΗΣ**  
**ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ Δ. Ε.**



**Εργασία για την απόκτηση**  
**Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στις**  
**Επιστήμες της Αγωγής**

**του:**

☞ **Νικολάου Β. Γιαννακάκη.**  
**Α.Μ.: 120**

**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

*«Το φως και η διάδοσή του. Μια πολύπλευρη μελέτη και μια ερευνητική προσπάθεια που σχετίζεται με τη διδακτική προσέγγιση του φωτός, σε μαθητές Στ' Δημοτικού»*

**Επιβλέπων:**

**κ. Δ. Πλουμπίδης, καθηγητής.**

**Ρέθυμνο, Απρίλιος 2002.**

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α</b>	<b>1</b>
<b>Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η</b>	<b>3</b>
<b>Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι</b>	<b>5</b>
<b>«Η επιστημονική προσέγγιση του φωτός»</b>	<b>5</b>
1.1 Φύση του φωτός	6
1.1.1 Η ανάκλαση του φωτός	8
1.1.2 Η διάθλαση του φωτός	8
1.1.2.1 Διάθλαση εντός υλικού με συνεχώς μεταβαλλόμενο δείκτη διαθλάσεως	10
1.1.3 Οι οπτικές ίνες	11
1.1.4 Η ταχύτητα του φωτός	12
1.1.5 Η περίθλαση του φωτός	15
1.2 Το κυματικό μοντέλο του φωτός	18
1.2.1 Το είδος του κύματος του φωτός στο κυματικό μοντέλο	18
1.2.2 Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία	19
1.3 Το σωματιδιακό μοντέλο του φωτός	24
1.3.1 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	24
1.3.2 Η κβαντική θεωρία	25
1.4 Η κβαντομηχανική	27
1.4.1 Η κβαντική ηλεκτροδυναμική θεωρία	27
1.5 Η Οπτική	28
1.6 Διαίρεση της Οπτικής	28
1.6.1 Η Γεωμετρική Οπτική	28
<b>Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι</b>	<b>32</b>
<b>«Η διδακτική προσέγγιση του φωτός»</b>	<b>32</b>
2.1 Το μάθημα της Φυσικής	33
2.2 Οι διδάσκοντες των φυσικών επιστημών	34
2.3 Η θεωρία της εποικοδόμησης της γνώσης ή του κονστρουκτιβισμού (constructivism)	36
2.3.1 Επιστημολογική προσέγγιση της γνώσης	37
2.3.2 Ψυχολογική προσέγγιση της γνώσης	37
2.3.2.1 Τα είδη της γνώσης	39
2.3.3 Οι ιδέες των μαθητών	40
2.4 Η θεωρία των νοητικών μοντέλων	42
2.5 Η εννοιολογική αλλαγή	43
2.6 Η διδακτική πράξη	44
2.6.1 Το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας	44
2.6.2 Η πρακτική μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας	45
2.7 Οι ιδέες των μαθητών για το φως	46
<b>Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι Ι</b>	<b>52</b>
<b>«Η ερευνητική προσέγγιση της διδακτικής του φωτός»</b>	<b>52</b>
3.1 Η αφορμή – πρόκληση	53
3.2 Περιγραφή της ερευνητικής διαδικασίας	55
3.3 Διατύπωση των υποθέσεων	56
3.4 Το δείγμα της έρευνας	60
3.5 Το όργανο συλλογής των δεδομένων	61
3.6 Η διαδικασία της παρέμβασης (η ανεξάρτητη μεταβλητή)	63
3.6.1 Η σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία	64
3.6.2 Το πείραμα	68
3.6.2.1 Η αναγκαιότητα της χρήσης πειραμάτων κατά τη διδακτική πράξη	68
3.6.2.2 Ιστορική αναδρομή στην πειραματική διδασκαλία της Φυσικής, στον τόπο μας.	72

3.6.2.3 Παρουσίαση του πειράματος	74
3.7 Τεχνικές κωδικοποίησης και ανάλυσης δεδομένων	77
3.8 Αποτελέσματα της έρευνας	82
3.9 Συζήτηση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα	116
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</b>	<b>131</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</b>	<b>140</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ</b>	<b>148</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV</b>	<b>159</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V</b>	<b>168</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>179</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Η** εργασία η οποία ακολουθεί είναι μέρος των υποχρεώσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στις Επιστήμες της Αγωγής (Μ.Δ.Ε.Ε.Α.).

Το θέμα το οποίο πραγματεύεται είναι ευρύτατο, κοινό και γνωστό σε όλους μας, που όμως χρήζει ακόμα ιδιαίτερης και συνεχούς διερεύνησης, ώστε να γίνει κατανοητή κάθε πτυχή του. Πρόκειται για το φως.

Αρχικά γίνεται μία προσπάθεια μελέτης της επιστημονικής διάστασης του φωτός. Από την αναδίφηση στη σχετική βιβλιογραφία αναδύθηκαν πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία για το φως ως στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας, αλλά και έγινε αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο η σύγχρονη επιστήμη προσπαθεί να προσεγγίσει την αλήθεια της φύσης. Η κατασκευή μοντέλων προσέγγισης παίζει καθοριστικό ρόλο σ' αυτήν την προσπάθεια. Όλα αυτά τα χρήσιμα ευρήματα παρουσιάζονται στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αυτής της εργασίας.

Στη συνέχεια και πάλι με την πολύτιμη βοήθεια της βιβλιογραφίας, προσπαθούμε να μελετήσουμε το φως από τη διδακτική του σκοπιά. Σύγχρονες αντιλήψεις της Επιστημολογίας, της Γνωστικής Ψυχολογίας, αλλά κυρίως της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών παρουσιάζονται εδώ. Η θεωρία των νοητικών μοντέλων αλλά και αυτή της εποικοδόμησης της γνώσης (κονστρουκτιβισμός) κατέχουν σημαντική θέση στην παρουσία αυτή. Πολύ χρήσιμες είναι, για τη συνέχεια αυτής της εργασίας, οι προϋπάρχουσες ιδέες των παιδιών, που σχετίζονται με το φως και εντοπίζονται στο κεφάλαιο αυτό.

Τέλος παρουσιάζεται η ερευνητική προσπάθεια που πραγματώθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας και η οποία άπτεται στη διδακτική συνιστώσα του φωτός. Για τις ανάγκες αυτής της έρευνας δομήθηκε μία σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία και κατασκευάστηκε ένα πείραμα με απλά υλικά καθημερινής χρήσης, η χρησιμοποίηση των οποίων ενσάρκωνε τη διαδικασία της παρέμβασης. Το όργανο συλλογής των δεδομένων ήταν ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο κατασκευάστηκε κατόπιν πολύμηνων προσπαθειών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η πειραματική μέθοδος, με συνδυασμό δύο σχεδίων οργάνωσης της πειραματικής κατάστασης. Όλα αυτά όμως θα παρουσιαστούν αναλυτικά στη συνέχεια καθώς θ' αρχίσει να ξετυλίγεται, μπροστά στα μάτια του αναγνώστη, το κουβάρι που φανερώνει την πρόοδο αυτής της εργασίας.

Σε αυτό το σημείο θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, τόσο στην οικογένειά μου για την κατανόηση και την υπομονή που δείχνει

απέναντί μου, όσο και στους καθηγητές που συμπαραστάθηκαν σ' αυτήν την προσπάθειά μου, τους κυρίους Μιχάλη Βάμβουκα και Απόστολο Παντινάκη για τις χρήσιμες συμβουλές που μου έδωσαν, τον κ. Νικόλαο Ανδρεαδάκη για την πολύτιμη βοήθειά του στη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και ιδιαίτερα τον καθηγητή μου κ. Δημήτριο Πλουμπίδη, για τη συνεχή και αμέριστη βοήθειά του και τις πολύτιμες συμβουλές του.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

«Η επιστημονική προσέγγιση του φωτός»

## 1.1 Φύση του φωτός

Οι πρώτοι που προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τη διαδικασία της όρασης, αλλά όχι αυτό καθ' αυτό το φως, ήταν οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι. Αυτοί (Πλατωνική σχολή, 4<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) νόμιζαν ότι ο οφθαλμός που παρατηρεί είναι η πηγή των φωτεινών ακτίνων (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992), οι οποίες σαρώνουν το υπό παρατήρηση οπτικό πεδίο<sup>1</sup>, (βέβαια το ανθρώπινο σώμα ακτινοβολεί, αυτοί όμως θεωρούσαν ότι ο οφθαλμός εκπέμπει ακτινοβολία που επιτρέπει την ύπαρξη της όρασης). Άλλοι πάλι (Δημόκριτος, 5<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) πίστευαν ότι τα φωτεινά σώματα εκπέμπουν στοιβάδες ατόμων υπό μορφή μεμβρανών, που διατηρούν τη μορφή των επιφανειών από τις οποίες εξεπέμφθησαν (Σκούντζος, 1987). Στα κατοπινά χρόνια ο Αρχιμήδης προχώρησε αρκετά στη θεωρία των κατόπτρων, ο Πτολεμαίος στη μελέτη της διάθλασης του φωτός, ο Ήρωνας ο Αλεξανδρεύς που διατύπωσε τη γνωστή αρχή του «ελάχιστου δρόμου», χωρίς όμως να είναι γνωστό αν έγιναν κάποιες αξιόλογες προσπάθειες για την κατανόηση του φωτός. Πολύ αργότερα έγινε σαφές ότι το φως είναι ένα είδος ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή, προσπίπτει στο φωτιζόμενο αντικείμενο και, στη συνέχεια, αφού ανακλαστεί ή διαχυθεί, μπαίνει στον οφθαλμό, ο οποίος συνήθως δεν αντιλαμβάνεται την αρχική προέλευση.

Ως προς τη φύση του φωτός, στο πέρασμα των χρόνων, διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες. Στη συνέχεια θα επιχειρήσουμε μία μικρή αναδρομή, ανασκαλεύοντας στις προσπάθειες που έκανε ο ανθρώπινος νους, για να δώσει μια λογική απάντηση σ' αυτό το ερώτημα.

Όλοι γνωρίζουμε ότι το φως από τον ήλιο είναι μια σημαντικότερη πηγή ενέργειας για τη γη. Παρέχει στα φυτά την απαραίτητη για τη διεργασία της φωτοσύνθεσης ενέργεια, χωρίς την οποία τα φυτά που γνωρίζουμε σήμερα δε θα υπήρχαν (και αυτό σημαίνει ότι δε θα υπήρχαν και τα υπόλοιπα βιολογικά όντα). Η ενέργεια αυτή ήταν επίσης απαραίτητη για να δημιουργηθούν πριν από πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (ίσως κάποια εκατομμύρια χρόνια πριν) τα αποθέματα φυσικών καυσίμων που υπάρχουν στη γη. Το φως θα γίνει ακόμη πιο σημαντικό για την ύπαρξή μας όταν τα αποθέματα των φυσικών καυσίμων εξαντληθούν, κάτι που δεν είναι και τόσο μακρινό. Τότε η ανθρωπότητα

---

<sup>1</sup> Με τον όρο οπτικό πεδίο εννοούμε τη συγκεκριμένη οπτική γωνία μέσα στην οποία γίνεται διαχωρισμός φαινομένων και ακριβής καταγραφή ή καταγραφή αλλαγής της φωτεινής έντασης (δηλαδή καταγραφή μη σαφούς διαχωρισμού παραστάσεων, γεγονότων ή φαινομένων σ' αυτήν την περίπτωση).

θα αναγκαστεί να βασιστεί στην ηλιακή ενέργεια για να τη μετατρέψει σε ηλεκτρική ή άλλης μορφής ενέργεια και να καλύψει έτσι τις αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες της. Ωστόσο, η σπουδαιότητα του φωτός δεν έγκειται μόνο στο γεγονός ότι μεταφέρει ενέργεια αλλά επίσης ότι μεταβάλλεται από το ένα σημείο στο άλλο και από τη μια χρονική στιγμή στην άλλη και αυτές οι μεταβολές μπορούν να μεταφέρουν τεράστια ποσότητα πληροφοριών. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι περισσότερες από τις πληροφορίες που παίρνουμε από το γύρω κόσμο μεταφέρονται από το φως.

Το ερώτημα ποια είναι η φύση του φωτός έχει απασχολήσει τους ανθρώπους από τις απαρχές της ιστορίας. Καταβλήθηκε λοιπόν προσπάθεια από τον άνθρωπο για να διαμορφώσει κάποιο μοντέλο που θα τον βοηθούσε να κατανοήσει πώς παράγεται το φως, πώς διαδίδεται από το ένα μέρος στο άλλο, πώς αλληλεπιδρά με διάφορα σώματα, πώς απορροφάται κ.τ.λ.

Γενικά ο άνθρωπος γνωρίζει ότι υπάρχουν δύο σαφώς διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να μεταφερθεί ενέργεια από ένα σημείο σ' ένα άλλο (Open University, 1986). Ο ένας είναι με τη διάδοση κυμάτων (ένα παράδειγμα αυτού του τρόπου είναι τα σεισμικά κύματα, τα οποία δε μεταφέρουν ύλη από το επίκεντρο του σεισμού), ενώ ο άλλος είναι με τη κίνηση σωματιδίων, καθένα από τα οποία μεταφέρει μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας<sup>2</sup> από το ένα σημείο στο άλλο. Καθένας από αυτούς τους τρόπους μεταφοράς ενέργειας μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη διαμόρφωση ενός πιθανού μοντέλου για την περιγραφή του φωτός. Έτσι στη σκέψη του ανθρώπου διαμορφώθηκαν δύο αντίστοιχα μοντέλα που πιθανόν να μπορούσαν να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά του φωτός, ένα που στηρίζεται στην περιγραφή μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και ένα δεύτερο που στηρίζεται σ' εκείνη μέσω σωματιδίων, των φωτονίων. Υπάρχουν ιδιότητες του φωτός, όπως είναι η ανάκλαση και η διάθλαση, που η εξήγησή τους μπορεί να στηριχθεί ικανοποιητικά σε οποιοδήποτε από τα δύο μοντέλα, που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αυτά οι ιδιότητες περιγράφονται συνήθως από τη Γεωμετρική Οπτική, η οποία χωρίς να ενδιαφέρεται για την πραγματική φύση του φωτός, θεωρεί ότι το φως διαδίδεται διά φωτεινών ακτίνων. Υπ' αυτή την έννοια, μια φωτεινή δέσμη θα αποτελείται από φωτεινές ακτίνες, οι οποίες διαδίδονται ευθύγραμμα, εφόσον διατρέχουν ομογενή υλικά ή εφόσον κινούνται στο κενό.

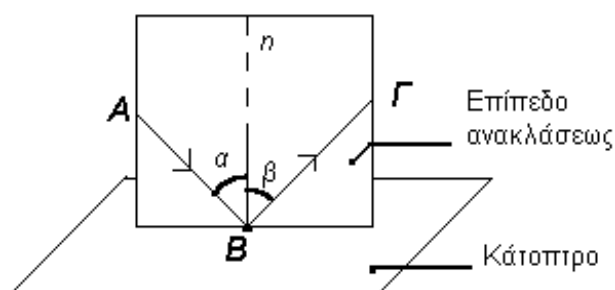
---

<sup>2</sup> Η ενέργεια αυτή μπορεί να είναι κινητική ή εάν η κίνηση πραγματοποιείται σε βαρυτικό πεδίο μπορεί να σημαίνει απλώς αλλαγή δυναμικής ενέργειας.



### 1.1.1 Η ανάκλαση του φωτός

Η διάδοση του φωτός περιγράφηκε από το διάσημο μαθηματικό της αρχαιότητας Ήρωνα (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992), ο οποίος διατύπωσε την εξής αρχή : «Ο δρόμος τον οποίο ακολουθεί μια φωτεινή ακτίνα κατά τη διέλευσή της μεταξύ δύο σημείων, είναι ο συντομότερος δυνατός». Η αρχή του Ήωνα<sup>3</sup> ισχύει τόσο στην περίπτωση της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός μεταξύ των σημείων A και Γ, όσο και στην περίπτωση κατά την οποία η φωτεινή ακτίνα AB συναντά στο δρόμο της ανακλαστική επιφάνεια, υφίσταται ανάκλαση και διαδίδεται κατά τη διεύθυνση ΒΓ (σχήμα 1).



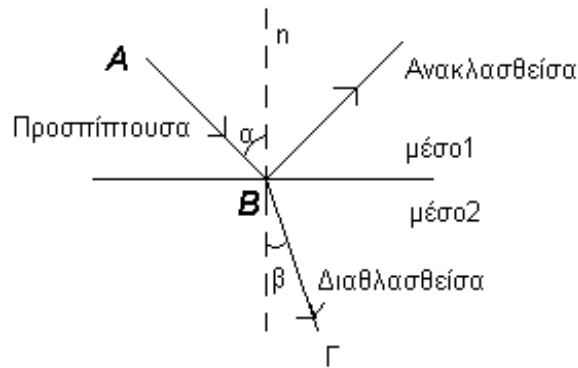
Σχήμα 1

Είναι γνωστό βέβαια ότι η γωνία πρόσπτωσης  $\alpha$  είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης  $\beta$  και ότι η ανακλώμενη με την προσπίπτουσα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, το οποίο ορίζεται από την προσπίπτουσα και την κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης επί της ανακλαστικής επιφάνειας.

### 1.1.2 Η διάθλαση του φωτός

Όταν μια φωτεινή ακτίνα προσπέσει σε επιφάνεια που διαχωρίζει δύο μέσα, στα οποία η ταχύτητα του φωτός είναι διαφορετική, ένα μέρος της μπαίνει στο δεύτερο μέσο, με ταυτόχρονη αλλαγή της διεύθυνσής της. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται διάθλαση του φωτός. Στη διαχωριστική επιφάνεια εκτός από διάθλαση η προσπίπτουσα ακτίνα υφίσταται και ανάκλαση (σχήμα 2).

<sup>3</sup> Ήρων ο Αλεξανδρεύς. Ένας από τους διασημότερους μαθηματικούς της αρχαιότητας (περίοδος ακμής περί το 100 π.Χ.). Ασχολήθηκε με γεωμετρικά και γεωδαιτικά θέματα, καθώς και με θέματα της Οπτικής. Κατασκεύασε διάφορες υδραυλικές συσκευές καθώς και τον πρώτο ατμοστρόβιλο.



Σχήμα 2

Διάθλαση δεν πραγματοποιείται εάν το φως διαδίδεται από οπτικώς πυκνότερο προς οπτικώς αραιότερο μέσο<sup>4</sup> και η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη ή ίση μιας κρίσιμης γωνίας, της ορικής, οπότε έχουμε ολική ανάκλαση (Κασέτας, 1987α). Ορική λέγεται η γωνία πρόσπτωσης που η τιμή της είναι τέτοια ώστε η γωνία διαθλάσεως γίνεται ίση με  $90^0$ , με συνέπεια να μην υπάρχει δέσμη εκ διαθλάσεως, γιατί γωνία διαθλάσεως μεγαλύτερη από  $90^0$  δεν μπορεί να υπάρξει. Σ' αυτήν την περίπτωση εξακολουθεί να υπάρχει μόνο δέσμη εξ ανακλάσεως, η οποία μεταφέρει όλη την ενέργεια της προσπίπτουσας δέσμης του φωτός.

Σχετικός δείκτης διαθλάσεως  $n$  του δεύτερου μέσου ως προς το πρώτο ονομάζεται ο λόγος των ταχυτήτων του φωτός<sup>5</sup> στα δύο μέσα. Δηλαδή είναι :

$$n = \frac{c_1}{c_2}$$

Με βάση της αρχή του Huygens<sup>6</sup> και μέσα από γεωμετρικούς συλλογισμούς φθάνουμε στο συμπέρασμα ότι ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών είναι ίσος με το λόγο των ταχυτήτων διάδοσης του φωτός στα δύο διαφανή μέσα, πράγμα που σημαίνει ότι είναι ανεξάρτητος από τη γωνία πρόσπτωσης. Έτσι ισχύει ότι:

$$n = \frac{\eta_{\mu\alpha}}{\eta_{\mu\beta}} = \text{σταθ.}$$

Ακόμη δε θα πρέπει να μας διαφεύγει ότι το λευκό φως αναλύεται κάθε φορά που υφίσταται διάθλαση. Αν όμως πέσει για παράδειγμα πάνω σ' ένα τζάμι, στην πρώτη του επιφάνεια διαθλάται και αναλύεται, με τη δεύτερη όμως διάθλαση, στην επόμενη παράλληλη επιφάνεια, το φως επανασυντίθεται. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο στα τζάμια των σπιτιών μας δε δημιουργούνται χρωματικά φαινόμενα ανάλυσης. Αν βέβαια η δεύτερη επιφάνεια δεν είναι παράλληλη προς την πρώτη, η

<sup>4</sup> Στα οπτικώς πυκνότερα μέσα η ταχύτητα του φωτός είναι μικρότερη ενώ στα οπτικώς αραιότερα μέσα είναι μεγαλύτερη.

<sup>5</sup> Μόνο όταν είναι μονοχρωματικό το φως είναι σταθερός.

<sup>6</sup> Εκτενέστερη αναφορά της αρχής αυτής παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο, που αναφέρεται στην περίθλαση του φωτός.

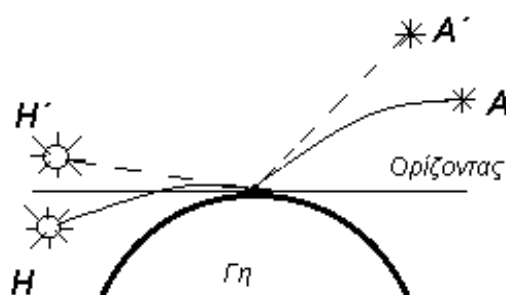
ανάλυση που συμβαίνει κατά την πρώτη διάθλαση, θα διατηρηθεί (Κασέτας, 1987β).

### 1.1.2.1 Διάθλαση εντός υλικού με συνεχώς μεταβαλλόμενο δείκτη διαθλάσεως

Ας θεωρήσουμε μια ακτίνα που διαδίδεται από ένα σημείο A στο σημείο B μέσα σ' ένα υλικό, το οποίο έχει μεταβλητό δείκτη διαθλάσεως. Σ' αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει διαχωριστική επιφάνεια, στην οποία ο δείκτης διαθλάσεως να μεταβάλλεται απότομα, αλλά αυτός μεταβάλλεται συνεχώς από την τιμή που έχει στο σημείο A, μέχρι εκείνης στο σημείο B. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκληθεί κάμψη και όχι θλάση.

Γνωστές είναι οι περιπτώσεις της συνεχούς κάμψης των φωτεινών ακτίνων που προέρχονται από τα άστρα, κατά την είσοδό τους στην ατμόσφαιρα, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου δείκτη διαθλάσεως του αέρα, με αποτέλεσμα τη φαινομενική ανύψωση του άστρου A στη θέση A' (σχήμα 3).

Για τον ίδιο λόγο<sup>7</sup> ενώ ο ήλιος H βρίσκεται ακόμη ή ήδη κάτω από τον ορίζοντα, φαίνεται πάνω απ' αυτόν (θέση H').

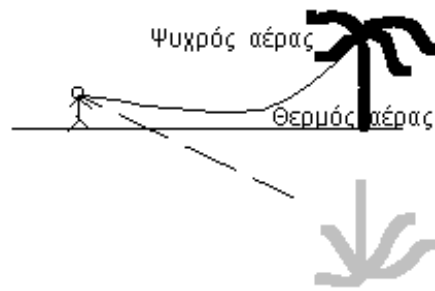


Σχήμα 3

Στο ίδιο φαινόμενο οφείλεται και ο αντικατοπτρισμός, ο οποίος παρουσιάζεται όταν πάνω από το έδαφος σχηματίζεται θερμό στρώμα αέρα<sup>8</sup>. Αυτό συμβαίνει πάνω από την άμμο των ερήμων (σχήμα 4), καθώς και πάνω από τους ασφαλτοστρωμένους δρόμους το καλοκαίρι, οπότε ο παρατηρητής, λόγω του αντικατοπτριζόμενου ουρανού, έχει την εντύπωση ότι ο δρόμος έχει βραχεί.

<sup>7</sup> Αυτό είναι αποτέλεσμα και της περίθλασης που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα.

<sup>8</sup> Σε θερμότερα αέρια στρώματα το φως έχει μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με τα ψυχρότερα.



Σχήμα 4

### 1.1.3 Οι οπτικές ίνες

Σε λεπτές φλέβες νερού το φως διαδίδεται – σχεδόν χωρίς απώλειες – με ανάκλαση ακτίνων υπό συνθήκες ολικής ανάκλασης. Οι φωτεινοί πίδακες που στολίζουν τη νύχτα τις πλατείες διοχετεύουν το φως κατά μήκος της φλέβας παρά την κάμψη. Οι ανωμαλίες της επιφάνειας επιτρέπουν σ' ένα μέρος του φωτός να βγαίνει και να συναντά το μάτι του παρατηρητή.

Άλλος τύπος «φωταγωγού» είναι οι οπτικές ίνες (σχήμα 5).



Σχήμα 5

Σ' αυτές οι ακτίνες μπαίνουν από το ένα άκρο και ανακλώνται ολικώς μέχρι το άλλο άκρο, έστω και αν η ίνα παρουσιάζει κάμψη. Οι οπτικές ίνες βρήκαν τελευταία πολλές εφαρμογές. Στην τηλεφωνία αντικαθιστούν τις συρμάτινες συζεύξεις. Σ' αυτήν την περίπτωση μετάδοσης σημάτων το διαμορφούμενο μέγεθος μπορεί να είναι η ένταση του φωτός και η μετάδοση γίνεται κατά την ψηφιακή μέθοδο (δηλαδή άσπρο – μαύρο). Έτσι μεταφέρεται μεγαλύτερη ποσότητα πληροφοριών με καλώδια πολύ μικρότερης διαμέτρου και πολύ λιγότερου βάρους, χωρίς ιδιαίτερες ενεργειακές απώλειες εξαιτίας της αντίστασης των αγωγών και με τα προβλήματα που οφείλονται στα παράσιτα να μειώνονται στο ελάχιστο (Κασέτας, 1987α). Ακόμη οι οπτικές ίνες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην Ιατρική, για την ενδοσκόπηση του σώματος, σε μια σύγχρονη τεχνική τρισδιάστατης φωτογραφίας η οποία λέγεται ολογραφία και αλλού.

Εάν όλες οι ιδιότητες του φωτός και όλα τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτό μπορούν να εξηγηθούν και από τα δύο μοντέλα ίσως δεν έχει σημασία ποιο μοντέλο θα χρησιμοποιούμε. Ας μελετήσουμε λοιπόν μερικές ιδιότητες και κάποια άλλα φαινόμενα του φωτός, για να καταλήξουμε σε αποδεκτά συμπεράσματα.

#### 1.1.4 Η ταχύτητα του φωτός

Πρώτα απ' όλα ας εξετάσουμε τι προβλέπει το κάθε μοντέλο αναφορικά με το λόγο της ταχύτητας του φωτός στον αέρα προς την ταχύτητά του μέσα σε ένα άλλο υλικό σώμα (π.χ. το νερό). Έχει παρατηρηθεί ότι όταν το φως περνά από ένα υλικό σώμα σε ένα άλλο διαθλάται. Αυτό σημαίνει ότι, όταν περνά από τον αέρα στο νερό, η διεύθυνσή του πλησιάζει προς την ευθεία που είναι κάθετη στην επιφάνεια η οποία χωρίζει τα δύο υλικά. Η γωνία διάθλασης  $\delta$  είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης  $\pi$ .

Το κυματικό μοντέλο κάνει την παρακάτω πρόβλεψη. Επειδή τα κύματα ακολουθούν την αρχή του συντομότερου δρόμου (αρχή του Fermat)<sup>9</sup>, η διάθλαση των ακτίνων προς την κάθετο μπορεί να συμβεί μόνο αν η ταχύτητα του φωτός στο νερό είναι μικρότερη από την ταχύτητα του στον αέρα, όπως φαίνεται και από τον τύπο  $\frac{\eta\mu\pi}{\eta\mu\delta} = \frac{v_{\text{αέρα}}}{v_{\text{νερού}}}$ .

Η πειραματική μέτρηση της ταχύτητας του φωτός θα μας βοηθήσει να διαπιστώσουμε εάν το κυματικό μοντέλο προέβλεψε σωστά.

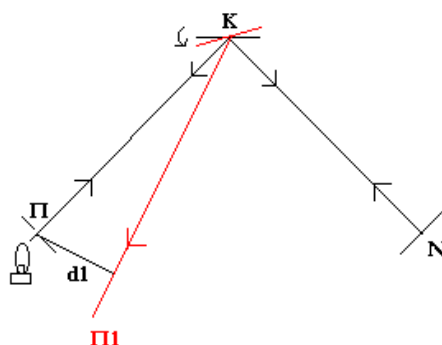
Ένας από τους πρώτους επιστήμονες, όπου η μέθοδός του και το πνεύμα προσέγγισης της φύσης που επέδειξε είναι από τα ύψιστα επιτεύγματά του, ο οποίος αποπειράθηκε να μετρήσει την ταχύτητα του φωτός ήταν ο Galileo Galilei (1564 – 1642). Αυτό που βρήκε ήταν ότι το φως διαδιδόταν γρηγορότερα απ' ότι μπορούσε να μετρήσει με τη μέθοδό του (Segre E., 1997). Αργότερα ο Fizeau έδωσε μια καλή μέτρηση της ταχύτητας αυτής που ήταν  $3,14 \times 10^{10}$  cm/sec. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό, όπως προέκυψε με κατάλληλες μεθόδους στην εποχή μας, είναι με μεγάλη ακρίβεια (Young H., 1994):

$$c_0 = 2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Μέσα στην ύλη η ταχύτητα είναι μικρότερη και εξαρτάται από το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πηλίκο της ταχύτητας  $c_0$  του φωτός μέσα στο κενό διά της ταχύτητας  $c$  μέσα στο υλικό ονομάζεται δείκτης διαθλάσεως  $n$  ( $n = \frac{c_0}{c}$ ).

<sup>9</sup> Θα ασχοληθούμε εκτενέστερα μ' αυτήν την αρχή σε επόμενο κεφάλαιο αυτής της εργασίας.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι το φως διαδίδεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Μπορούμε να πούμε ότι το φως είναι σχεδόν ένα εκατομμύριο φορές ταχύτερο από το υπερηχητικό αεροσκάφος Concorde. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε απόσταση μέσα σ' ένα εργαστηριακό χώρο μπορεί να διανυθεί από το φως μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Έτσι η μέτρηση των πολύ μικρών αυτών χρονικών διαστημάτων, που είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της ταχύτητας του φωτός, είναι αρκετά δύσκολη και απαιτεί τη χρήση εξαιρετικά περίπλοκων πειραμάτων. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε μια πειραματική διάταξη, με τη βοήθεια της οποίας θα υπολογίσουμε τη σχέση της ταχύτητας του φωτός στον αέρα και στο νερό (Open University, 1986). Σε αυτό το πείραμα το φως μιας μικρής πηγής Π πέφτει πάνω σ' έναν καθρέφτη Κ και ανακλάται προς το μέρος ενός άλλου καθρέφτη Ν (σχήμα 6).

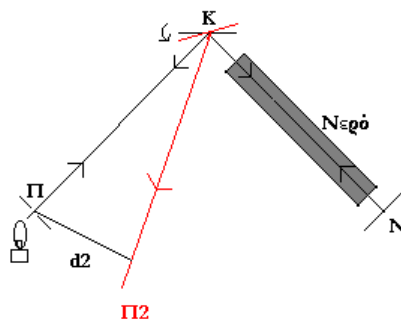


Σχήμα 6

Ο Ν είναι έτσι τοποθετημένος, ώστε το φως να πέφτει πάνω του κάθετα, με αποτέλεσμα να επιστρέφει και πάλι στον καθρέφτη Κ, απ' όπου ανακλάται προς την πηγή Π. Ο καθρέφτης Κ μπορεί να περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα κατά τη φορά που δείχνουν τα βέλη στο σχήμα 6. Καθώς λοιπόν ο Κ περιστρέφεται το φως της πηγής θα ανακλάται προς τον καθρέφτη Ν, όταν ο περιστρεφόμενος καθρέφτης βρίσκεται στη θέση που δείχνει η μαύρη γραμμή. Ωστόσο το φως που επιστρέφει από τον καθρέφτη Ν θα βρει τον Κ σε μια διαφορετική θέση (κόκκινη γραμμή), αφού ο Κ περιστρέφεται. Επομένως το φως δε θα ανακλαστεί από τον Κ προς την πηγή Π, αλλά θα κινηθεί κατά μήκος της κόκκινης διεύθυνσης, προς το  $\Pi_1$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του φωτός τόσο μικρότερος θα είναι ο χρόνος που του χρειάζεται για να κινηθεί από τον Κ στον Ν και να επιστρέψει στον Κ, επομένως τόσο μικρότερη θα είναι και η γωνία κατά την οποία θα έχει περιστραφεί ο Κ μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα και τόσο μικρότερη θα είναι η μετατόπιση από το Π στο  $\Pi_1$ . Πραγματικά το  $d_1$ , η απόσταση ανάμεσα στο Π και το  $\Pi_1$ , είναι αντίστροφα ανάλογη προς την ταχύτητα του φωτός

στον αέρα, δηλαδή:  $d_1 \propto \frac{1}{c_{\text{αέρα}}}$ . Για να υπολογίσουμε την ταχύτητα του

φωτός είναι απαραίτητο να μετρήσουμε την γωνιακή ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο καθρέφτης – πόσες στροφές εκτελεί ανά δευτερόλεπτο – και τις αποστάσεις από τον Κ στον Ν, από τον Κ στο Π και από το Π στο Π<sub>1</sub><sup>10</sup>. Έτσι για να συγκρίνουμε την ταχύτητα που έχει το φως στο νερό με αυτή που έχει στον αέρα, είναι αρκετό να τοποθετήσουμε στη διάταξη ένα σωλήνα με νερό (σχήμα 7) και να συγκρίνουμε τη νέα μετατόπιση  $d_2$  με τη μετατόπιση  $d_1$  που υπήρχε πριν τοποθετήσουμε το σωλήνα. Εφόσον η ταχύτητα περιστροφής και οι άλλες αποστάσεις που υπεισέρχονται στο πείραμα είναι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις, οι τιμές τους δε θα επηρεάσουν το λόγο των αποστάσεων  $d_1$  και  $d_2$ .



Σχήμα 7

Το αποτέλεσμα του πειράματος είναι ότι όταν το φως κινείται μέσα από το νερό η μετατόπιση της ανακλώμενης ακτίνας είναι κατά 1,33 φορές μεγαλύτερη από τη μετατόπιση που παρουσιάζεται όταν το φως κινείται στον αέρα, δηλαδή  $d_2=1,33 d_1$ . Όμως όπως είπαμε παραπάνω η μετατόπιση της ακτίνας είναι αντίστροφα ανάλογη προς την ταχύτητα. Έτσι έχουμε:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\frac{1}{c_{\text{νερού}}}}{\frac{1}{c_{\text{αέρα}}}} = \frac{c_{\text{αέρα}}}{c_{\text{νερού}}} = 1,33 \Leftrightarrow c_{\text{αέρα}} = 1,33 \cdot c_{\text{νερού}}$$

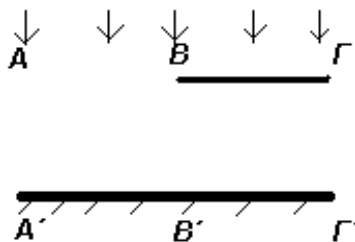
Η σύγκριση της ταχύτητας του φωτός στον αέρα με την ταχύτητά του στο νερό συμφωνεί με την πρόβλεψη της κυματικής θεωρίας.

<sup>10</sup> Έχει βρεθεί ότι αν οι αποστάσεις ανάμεσα στο Κ και στο Ν και ανάμεσα στο Κ και στο Π είναι 15m και αν ο καθρέφτης περιστρέφεται με 200 περιστροφές το δευτερόλεπτο, η μετατόπιση από το Π στο Π<sub>1</sub> είναι περί τα 4mm.

### 1.1.5 Η περίθλαση του φωτός

Στα μακροσκοπικά φαινόμενα το φως φαίνεται να δημιουργεί σκιές με σχετικά σαφές περίγραμμα, όταν συναντήσει ένα εμπόδιο. Όμως διάφορα είδη κυμάτων, όπως είναι αυτά του ήχου ή του νερού περιθλώνται, ή πιο απλά, όταν συναντούν γωνίες, «στρίβουν». Δεν είναι παράδοξο το γεγονός ότι αυτή η διαφορετική συμπεριφορά είχε χρησιμοποιηθεί παλιότερα ως στοιχείο κατά της κυματικής θεωρίας του φωτός. Ας μελετήσουμε όμως λίγο πιο αναλυτικά τη συμπεριφορά του φωτός, θεωρώντας ότι το μέγεθος της φωτεινής πηγής περιορίζεται σε πολύ μικρές διαστάσεις. Αυτό γίνεται κατανοητό αν σκεφτούμε ότι κάθε σημείο μιας συνηθισμένης φωτεινής πηγής (π.χ. ενός λαμπτήρα) θα λειτουργεί ως σημειακή φωτεινή πηγή, που θα στέλνει φως προς κάθε διεύθυνση και που θα παράγει μια εικόνα περίθλασης που θα φαίνεται να έχει ως κέντρο της αυτό το σημείο. Επειδή οι σημειακές πηγές του λαμπτήρα δεν εκπέμπουν κύματα της ίδιας φάσης η συνολική εικόνα θολώνει εντελώς και δεν εμφανίζονται διευθύνσεις ενισχυτικής και αναιρετικής συμβολής (κροσσοί συμβολής).

Θεωρούμε μια παράλληλη δέσμη φωτός που προσπίπτει κάθετα στο αδιαφανές πέτασμα ΒΓ (σχήμα 8), ώστε φως να περνάει μόνο δια του αριστερού ημιεπιπέδου.

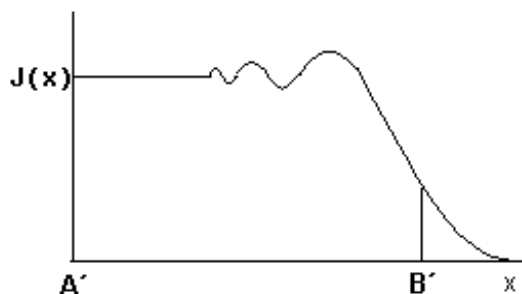


Σχήμα 8

Πίσω από το αδιαφανές πέτασμα υπάρχει οθόνη Α'Β'Γ', η οποία λόγω της διατάξεώς της φωτίζεται μόνο κατά την περιοχή Α'Β', ενώ στην περιοχή Β'Γ' έχουμε τη σκιά του αδιαφανούς πετάσματος. Σύμφωνα με τη Γεωμετρική Οπτική το φως διαδίδεται ευθύγραμμα και, συνεπώς, τα όρια της σκιάς θα έπρεπε να είναι εντελώς αυστηρά. Εντούτοις, αν το πείραμα γίνει με αυστηρώς παράλληλες ακτίνες και αν η απόσταση μεταξύ αδιαφανούς πετάσματος και οθόνης είναι μεγάλη, θα παρατηρήσουμε ασάφεια του ορίου της σκιάς. Έτσι, στη φωτιζόμενη περιοχή και κοντά στην αναμενόμενη θέση για το όριο Β' της σκιάς, θα παρατηρήσουμε τοπικές αυξομειώσεις της έντασης, ενώ ταυτόχρονα θα



βρούμε ασθενές φως και μέσα στην περιοχή της γεωμετρικής σκιάς. Η κατανομή της έντασης  $J^{11}$  του φωτός περιγράφεται στο γράφημα του σχήματος 9.



Σχήμα 9

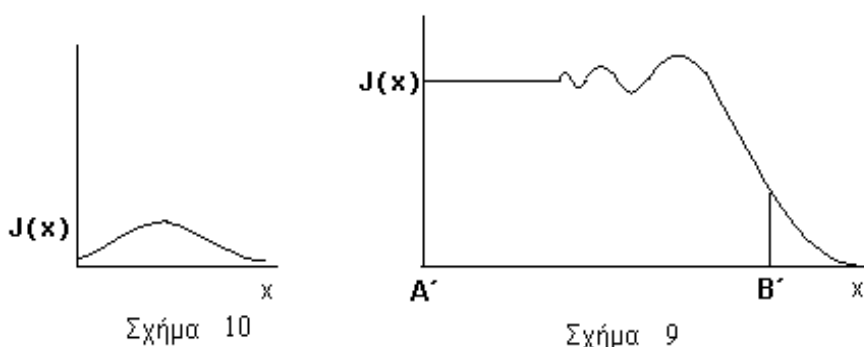
Η απόκλιση της πορείας των φωτεινών ακτίνων από το νόμο της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός αποτελεί φαινόμενο που δεν μπορεί να εξηγηθεί από τη Γεωμετρική Οπτική και ονομάζεται περίθλαση.

Η εξήγηση της περίθλασης είναι εύκολη αν δεχτούμε την κυματική θεωρία του φωτός, κατά την οποία κάθε παράλληλη δέσμη είναι επίπεδο κύμα (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992). Αυτό διαδίδεται ευθύγραμμα όταν κάθε ισοφασική του επιφάνεια έχει τη δυνατότητα να διαδίδεται χωρίς κανένα εμπόδιο. Αν υπάρξει εμπόδιο στη διάδοση ενός μέρους της ισοφασικής επιφάνειας, αυτό έχει συνέπειες που περιγράφονται από την αρχή του Huygens, κατά την οποία στη διάδοση ενός κύματος, κάθε σημείο μιας ισοφασικής επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί ως πηγή ενός νέου, δευτερογενούς ή θυγατρικού θα μπορούσαμε να πούμε, σφαιρικού κύματος (που διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις) και η πιο πέρα μορφή της συμπίπτει με την περιβάλλουσα όλων αυτών των δευτερευόντων κυμάτων. Στο πείραμα του σχήματος 8 το αδιαφανές εμπόδιο ανακόπτει τα δευτερογενή τμήματα που προέρχονται από το τμήμα ΒΓ της ισοφασικής επιφάνειας ΑΒΓ. Γι' αυτό στην οθόνη προσπίπτουν μόνο δευτερογενή κύματα που προέρχονται από το τμήμα ΑΒ και όπως μπορεί να αποδειχθεί η σύνθεσή τους δίνει ακριβώς εκείνο που παρατηρούμε στο πείραμα.

Χαρακτηριστικά έντονα φαινόμενα περίθλασης δημιουργούνται κατά τη δίοδο του φωτός από μια μικρή οπή. Έστω ότι μια παράλληλη δέσμη φωτός προσπίπτει σε οπή, διαμέτρου  $D$  πολύ μεγαλύτερης από το μήκος κύματος  $\lambda$  και πίσω απ' αυτήν βρίσκεται ένα πέτασμα. Σύμφωνα με τους νόμους της Γεωμετρικής Οπτικής θα περιμέναμε να δούμε στο πέτασμα

<sup>11</sup> Η ένταση  $J$  του φωτός ορίζεται σαν την ενέργεια που φτάνει στη μονάδα επιφανείας του πετάσματος, στη μονάδα του χρόνου.

μια φωτεινή κηλίδα, διαμέτρου  $D$  ακριβώς ίσης με τη διάμετρο της οπής. Όμως, σύμφωνα με όσα αναφέραμε παραπάνω, λόγω περίθλασης στα χείλη της οπής θα εμφανίζονται διακυμάνσεις της έντασης του φωτός περί τα άκρα της φωτεινής κηλίδας και θα υπάρχει ασθενές φως στην περιοχή της σκιάς. Τα φαινόμενα της περίθλασης γίνονται περισσότερο αισθητά αν η διάμετρος της οπής γίνει μικρότερη (π.χ. μεγέθους της τάξης μερικών μηκών κύματος του φωτός). Μάλιστα, όταν η διάμετρος της οπής γίνει ίση με το μήκος κύματος  $\lambda$  η κεντρική κηλίδα καταλαμβάνει όλο το επίπεδο του πετάσματος (χαρακτηριστικό είναι το διάγραμμα του σχήματος 10, ιδιαίτερα αν το παρατηρήσουμε συγκριτικά σε σχέση με το διάγραμμα του σχήματος 9).



Φως, λοιπόν, διερχόμενο δια πολύ μικρής οπής περιθλάται προς όλες τις διευθύνσεις σχεδόν ομοιόμορφα, σχηματίζοντας κροσσούς συμβολής και στην προκείμενη περίπτωση ομόκεντρους δακτυλίους σκιάς και φωτός.

Συμπερασματικά λοιπόν με τον όρο περίθλαση χαρακτηρίζουμε το φαινόμενο της εκτροπής του φωτός από την ευθύγραμμη διάδοση, όταν συναντήσει ένα εμπόδιο. Με άλλα λόγια το κύμα θα περάσει στο χώρο της γεωμετρικής σκιάς πίσω από το εμπόδιο σχηματίζοντας στην περιοχή αυτή μια εικόνα κροσσών συμβολής<sup>12</sup>.

Βλέπουμε λοιπόν ότι περίθλαση εμφανίζεται και στο φως, γεγονός που αποτελεί μια πρόσθετη ένδειξη ότι το φως έχει κυματική φύση. Το παραπάνω φαινόμενο δεν ήταν δυνατό να εξηγηθεί με βάση μακροσκοπικά σωματίδια. Έτσι αν για παράδειγμα κυλήσουμε μπάλες του μπιλιάρδου προς ένα πέτασμα στο οποίο υπάρχει σχισμή θα δούμε να περνά σε ευθεία γραμμή μια σειρά από μπάλες. Επιπλέον, μερικές μπάλες θα χτυπούν στις άκρες της σχισμής και θα ανακλώνται προς διάφορες κατευθύνσεις. Οποσδήποτε όμως δε θα διαχωριστούν σε ξεχωριστές δέσμες.

<sup>12</sup> Δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ αυτού του φαινομένου και του φαινομένου συμβολής. Και τα δύο φαινόμενα είναι αποτέλεσμα της επαλληλίας των κυμάτων.

## 1.2 Το κυματικό μοντέλο του φωτός

### 1.2.1 Το είδος του κύματος του φωτός στο κυματικό μοντέλο

Μέχρι τώρα όλες οι ιδιότητες και τα φαινόμενα του φωτός που μελετήσαμε βρίσκονται σε συμφωνία με το κυματικό μοντέλο. Σ' αυτό το σημείο της μελέτης μας όμως ανακύπτει το ερώτημα: *«Εάν δεχθούμε σαν αληθές το γεγονός ότι το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα, τι είδους κύμα είναι αυτό;»*.

Μια κοινή ιδιότητα που χαρακτηρίζει άλλα είδη κυμάτων στα οποία αναφερθήκαμε, όπως τα σεισμικά κύματα, τα ηχητικά κύματα και τα κύματα του νερού, είναι ότι χρειάζονται κάποιο μέσο για τη διάδοσή τους. Το φως μπορεί να διαδίδεται μέσα από ορισμένα στερεά, υγρά και αέρια αλλά διαφέρει από τα άλλα κύματα στο ότι μπορεί επίσης να διαδίδεται και στο κενό. Έτσι το φως του ήλιου φτάνει στη γη διασχίζοντας μια απόσταση περίπου 150 εκατομμυρίων χιλιομέτρων, μέσα στο διάστημα, που είναι σχεδόν κενό. Η ικανότητα αυτή του φωτός μας παρέχει μια πρώτη ένδειξη για το τι είδους κύμα είναι. Σε όλα τα κύματα υπάρχει ένα φυσικό μέγεθος που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο και τη θέση, όπως διαδίδεται το κύμα. Στα κύματα του νερού για παράδειγμα, μεταβάλλεται περιοδικά το ύψος της επιφάνειας του νερού, ενώ στα ηχητικά μεταβάλλεται η συμπίεση του υλικού. Στα φωτεινά κύματα, όποιο και αν είναι το φυσικό μέγεθος που μεταβάλλεται, πρέπει να έχει νόημα και για το κενό. Προφανώς το μέγεθος αυτό δεν μπορεί να είναι το ύψος κάποιας επιφάνειας ή η συμπίεση κάποιου υλικού. Στο κενό μπορεί κανείς να ορίσει βαρυτικό, μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο.

Μια δεύτερη ένδειξη σχετικά με τη φύση των κυμάτων του φωτός μπορούμε να πάρουμε αν σκεφτούμε ποια άλλα κύματα μπορούν να διαδίδονται στο κενό. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα αλλά ένα πολύ γνωστό τέτοιο είδος κύματος στην εποχή μας είναι το ραδιοκύμα. Αυτό το είδος κυμάτων παράγεται όταν ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα τροφοδοτεί, με περιοδικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, μια κεραία. Το περιοδικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα παράγει ένα περιοδικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, ενώ ταυτόχρονα παράγεται ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Τα πεδία αυτά εξαπλώνονται από την κεραία προς τα έξω. Για το λόγο αυτό τα ραδιοφωνικά κύματα ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Με μια πρώτη ματιά τα φωτεινά κύματα και τα ραδιοφωνικά δε φαίνονται να έχουν κανένα κοινό στοιχείο, πέρα από την ικανότητά τους να διαδίδονται στο κενό.

Οποσδήποτε το μήκος κύματος είναι πολύ διαφορετικό για τα δύο κύματα. Όμως οι ταχύτητές τους, ακόμη και με τις καλύτερες μετρήσεις, που έχουν την ακρίβεια ενός εκατομμυριοστού περίπου, δεν παρουσιάζουν καμία διαφορά (Open University, 1986). Αυτό είναι ένα ισχυρό τεκμήριο που μας δείχνει ότι το φως είναι κι αυτό ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

### 1.2.2 Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία

Εάν ανατρέξουμε ιστορικά θα δούμε ότι ως προς τη φύση του φωτός, διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες. Πρώτος ο Ολλανδός φυσικός Christian Huygens (1629 – 1695) το 1678 διατύπωσε την άποψη ότι το φως περιγράφεται ως κυματική διάδοση ενέργειας και με βάση αυτήν την παραδοχή κατάφερε να ερμηνεύσει σωστά όλα τα γνωστά οπτικά φαινόμενα μέχρι τις αρχές του εικοστού αιώνα (ανάκλαση, διάθλαση, περίθλαση<sup>13</sup>, συμβολή, πόλωση). Έτσι διατύπωσε μια κυματική θεωρία του φωτός – ένα από τα σπουδαιότερα επιτεύγματά του – της οποίας η βασική ιδέα ήταν ότι κάθε σημείο μιας κυματικής επιφάνειας αποτελούσε το κέντρο ενός καινούριου σφαιρικού κύματος και ότι το φως εμφανίζεται μόνο στην περιβάλλουσα επιφάνεια όλων αυτών των δευτερογενών κυμάτων (Segre E., 1997). Στο σύγγραμμά του “*Traité de la lumière (Πραγματικά επί του φωτός)*” το 1690 ο Huygens γράφει: «...το φως διαδίδεται κατά τον ίδιο τρόπο με τον ήχο, δηλαδή σε σφαιρικές επιφάνειες ή κύματα...». Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι τα «κύματα» φωτός, όπως τα παρουσίασε ο Huygens ήταν αποστερημένα από το βασικό τους γνώρισμα, την χωροχρονική περιοδικότητα. Πίστευε επίσης, αυτός ο μεγάλος επιστήμονας, ότι οι ταλαντώσεις ήταν διαμήκεις, όπως αυτές του φαινομένου του ήχου στον αέρα (ηχητικά κύματα), άποψη που δεν είναι ορθή. Η βασική δυσκολία που συνάντησε η κυματική θεωρία, όπως την παρουσίασε ο Huygens την εποχή εκείνη, ήταν η αδυναμία της να ερμηνεύσει την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, μια και σύμφωνα μ’ αυτή το φως σαν κύμα θα έπρεπε να παρακάμπτει τα εμπόδια.

Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα ο T. Young (1773 – 1829) με τη δημοσίευση ενός άρθρου του στο περιοδικό “*Philosophical Transactions of the Royal Society*”, με τον τίτλο «*Ερμηνεία κάποιων περιπτώσεων παραγωγής χρωμάτων, που δεν έχουν περιγραφεί έως τώρα*», επιβάλλει ένα κυματικό τρόπο ερμηνείας των φωτεινών φαινομένων, αφού πρώτα είχε κατανοήσει πλήρως και αποδείξει την αρχή της συμβολής (Segre E., 1997). Ακόμη αυτός ήταν που προχώρησε στην εισαγωγή μιας άλλης θεμελιώδους ιδέας για το φως. Όταν η έλλειψη συμβολής ανάμεσα σε

---

<sup>13</sup> Τη μελέτη της, σύμφωνα με την αρχή του Huygens, είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

δυο ακτίνες που περιθλώνται από κρύσταλλο ασβεστίτη είχε δημιουργήσει απορίες στον καθένα, ο Young πρότεινε ως ερμηνεία την άποψη ότι τα οπτικά κύματα είναι εγκάρσια και ότι η πόλωση συνδεόταν με τη διεύθυνση κίνησης των ταλαντώσεων, η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης. Δεν μπορεί να υπάρξει καταστροφική συμβολή για ακτίνες φωτός που είναι πολωμένες σε κάθετα επίπεδα. Ήταν μια ιδέα απλή, που τη σκέφτηκε ανεξάρτητα και ο Fresnel, αλλά αργότερα. Και ο Γάλλος Fresnel (1788 – 1827) με σειρά άρθρων του, ενίσχυσε τις απόψεις υπέρ της κυματικής φύσης του φωτός (Σκούντζος, 1987 & Segre E., 1997). Είχε παρατηρήσει την περίθλαση από ένα ημιεπίπεδο και ανέπτυξε μια προσεγγισμένη θεωρία, συνδυάζοντας με μαθηματική επιδεξιότητα τις έννοιες της ταλάντωσης με μια ακριβή διατύπωση της αρχής του Huygens. Βέβαια, μαζί με την πλειονότητα των φυσικών της εποχής του, ο Fresnel αξιωματικά δεχόταν την ύπαρξη ενός συνεχούς ρευστού, του αιθέρα, που διαπερνούσε τα πάντα. Αυτό το υλικό θεωρήθηκε ως ο φορέας των φωτεινών κυμάτων. Μάταια και απεγνωσμένα πολλοί επιστήμονες προσπάθησαν να ανιχνεύσουν πειραματικά και να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη του αιθέρα. Τελικά το 1887, με το περίφημο πείραμα των Michelson – Morley (Young H., 1994), αποδεικνύεται ακριβώς το αντίθετο.

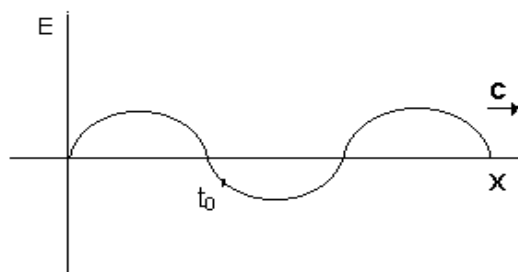
Από όλες τις θεωρίες για τη φύση του φωτός σήμερα ευρύτερη αποδοχή έχει μόνο η ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Σύμφωνα μ' αυτήν τη θεωρία (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992), που αναπτύχθηκε κυρίως από το Maxwell αλλά και από άλλους, η συμπεριφορά του φωτός σε πολλές περιπτώσεις περιγράφεται με το μοντέλο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Είναι γνωστό ότι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από μία ηλεκτρική συνιστώσα και μία μαγνητική συνιστώσα. Τα διανύσματα  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στο άνυσμα που χαρακτηρίζει τη διεύθυνση διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι δύο συνιστώσες, στην περίπτωση διαδόσεως του φωτός στο κενό, έχουν την ίδια φάση και διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα  $c_0$ . Για τη μελέτη ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται κατά κάποια διεύθυνση, αρκεί η μελέτη της μίας από τις δύο συνιστώσες του, π.χ. της ηλεκτρικής. Τα ηλεκτρικά κύματα που μας απασχολούν εδώ είναι απλά αρμονικά κύματα (Φωτεινόπουλος, 1978) και το μέτρο της έντασης  $\vec{E}$  του ηλεκτρικού πεδίου παρέχεται από τη σχέση:

$$E = E_0 \cdot \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \alpha \right)$$

Το σύμβολο  $E_0$  συμβολίζει το πλάτος δηλαδή τη μέγιστη απόκλιση από το σημείο ισορροπίας, το  $\alpha$  είναι η σταθερά φάσης, ενώ τα σύμβολα  $T$  και  $\lambda$  συμβολίζουν τη χρονική περίοδο και το μήκος κύματος αντίστοιχα.

Ο τύπος αυτός επιτρέπει τον υπολογισμό του μέτρου της  $\vec{E}$  σε κάθε σημείο και για κάθε χρονική στιγμή  $t$ . Το τριώνυμο  $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \alpha\right)$  ονομάζεται φάση και όπως παρατηρούμε εξαρτάται τόσο από το χρόνο όσο και από τη θέση. Για δεδομένη χρονική στιγμή  $t=t_0$  οι στιγμιαίες τιμές της έντασης  $\vec{E}$  του πεδίου και της φάσης εξαρτώνται μόνο από το  $x$ . Δύο σημεία που απέχουν κατά  $\Delta x=\lambda$  θα έχουν διαφορά φάσης  $2\pi$  όπως φαίνεται στο σχήμα 11. Λίγο αργότερα, δηλαδή τη χρονική στιγμή  $t_0+\Delta t$  τα σημεία θα έχουν αλλάξει θέση.



Σχήμα 11

Όλα τα σημεία του χώρου που κάποια χρονική στιγμή έχουν την ίδια φάση αποτελούν τις ισοφασικές επιφάνειες (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992). Αυτές μετακινούνται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διαδόσεως του κύματος, η οποία ονομάζεται φασική ταχύτητα. Η παρακολούθηση της διάδοσης των κυμάτων γίνεται εύκολα με τη μελέτη των διαδοχικών θέσεων των ισοφασικών επιφανειών. Συνήθως σχεδιάζονται οι θέσεις που αυτές καταλαμβάνουν ανά χρονικά διαστήματα ίσα με  $T$  ή  $T/2$ .

Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, κατά τη διάδοσή τους μεταβιβάζεται ενέργεια (η ενέργεια που μεταβιβάζεται με τα φωτεινά κύματα είναι ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου και ενέργεια μαγνητικού πεδίου). Για τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου απαιτείται ενέργεια και συνεπώς κάθε περιβάλλον χώρου στο οποίο αντιστοιχεί κάποια τιμή του ηλεκτρικού πεδίου περιέχει ενέργεια. Η ενέργεια ενός ηλεκτρικού πεδίου είναι ανάλογη με το  $E^2$ . Αν προσέξουμε το σχήμα 11 συνειδητοποιούμε ότι, τη χρονική στιγμή  $t_0$ , σε άλλες περιοχές η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου είναι μεγάλη και σ' άλλες μηδέν. Λόγω της διάδοσης του κύματος προς τα δεξιά, μετά από χρόνο  $\Delta t$ , οι περιοχές στις οποίες έχουμε ενέργεια θα έχουν μετακινηθεί προς τα δεξιά. Παρατηρούμε ότι με το διαδιδόμενο ηλεκτρικό κύμα μεταφέρεται διαρκώς ενέργεια (υπό μορφή ενέργειας ηλεκτρικού πεδίου) προς τα δεξιά. Ενέργεια μεταφέρεται επίσης, κατά τον ίδιο μηχανισμό

και από το μαγνητικό κύμα. Η ενέργεια που μεταφέρεται συνολικά από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι ίση με το άθροισμα των δύο πιο πάνω ενεργειών.

Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός, η διεύθυνση διαδόσεώς του είναι η διεύθυνση κατά την οποία μεταβιβάζεται η ενέργεια της ηλεκτρικής και της μαγνητικής συνιστώσας. Ο J. Maxwell (1831 – 1879) έγραψε το πρώτο άρθρο του πάνω στον ηλεκτρισμό, το 1856, με τίτλο «*Σχετικά με τις δυναμικές γραμμές του Faraday*» (Segre E., 1997). Σ' αυτό αναπτύσσει μια θεωρία του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου βασισμένη στην αναλογία. Το 1861 επιστρέφει στο θέμα της έρευνάς του και επινοεί ένα μέσο (χωρίς αντίστοιχα να υπονοεί μια κυριολεκτική ερμηνεία), που θα συμπεριφερόταν ελαστικά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αναπαράγει τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. Από τις ιδιότητες του μοντέλου αυτού ο Maxwell, ένα από τα βαρυσήμαντα συμπεράσματα που συνάγει, είναι ότι το μέσο συντηρεί εγκάρσιες ταλαντώσεις (όχι διαμήκεις), διαδιδόμενο με μια ταχύτητα  $c$  που μπορεί να υπολογισθεί από τους νόμους του Ηλεκτρισμού. Όταν συνέκρινε τα νούμερα διατύπωσε την άποψη: «*Η ταχύτητα των εγκάρσιων διακυμάνσεων στο υποθετικό μας μέσο που υπολογίζεται από τα πειράματα των M. M. Kohlraus και Weber, συμφωνεί με τόση ακρίβεια με την μέτρηση της ταχύτητας του φωτός που υπολογίζεται από τα πειράματα Οπτικής του Fizeau, ώστε να μην μπορούμε να αποφύγουμε το συμπέρασμα ότι το φως συνίσταται από εγκάρσιες διακυμάνσεις του ίδιου μέσου που αποτελεί και την αιτία των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων*». Τα προαισθήματα του Faraday επαληθεύτηκαν και η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός έπαιρνε μορφή. Το 1865 ο Maxwell σχημάτισε ένα σύστημα εξισώσεων που είναι γνωστές ως «*εξισώσεις του Maxwell*» (Hecht E., 1975). Οι εξισώσεις αυτές συσχετίζουν τις χωρικές και χρονικές μεταβολές της εντάσεως  $\vec{E}$  του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής  $\vec{B}$ . Από αυτές τις εξισώσεις, οι οποίες αναπτύσσονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες, ο Maxwell μπόρεσε να αποδείξει ότι οι συνιστώσες του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου ικανοποιούν τη διαφορική εξίσωση του κύματος, μοντέλο που περιγράφει και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του φωτός. Σ' αυτή την εξίσωση και για την περίπτωση του κενού, οι ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες του μέσου αντιπροσωπεύονται από τις σταθερές  $\epsilon_0$  και  $\mu_0$  που δηλώνουν τη διηλεκτρική σταθερά και τη μαγνητική του διαπερατότητα. Επομένως τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία μπορούν να θεωρηθούν σαν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Ο Maxwell, χρησιμοποιώντας αριθμητικές τιμές για τα  $\epsilon_0$  και  $\mu_0$ , έδειξε ότι :

$$v \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Η σχέση αυτή ήταν σε πλήρη συμφωνία με τη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός από το Fizeau. Έτσι αποδέχτηκε σαν αναμφισβήτητο συμπέρασμα ότι το φως συμπεριφέρεται σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Η ορθότητα της θεωρίας του Maxwell αποδείχτηκε πειραματικά από το Hertz<sup>14</sup>, το 1887. Ο H. Hertz (1857 – 1894), σε μελέτες του σχετικά με τη θεωρία του Maxwell, συνειδητοποίησε ότι η συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ήταν κορυφαίας σημασίας σε οποιαδήποτε πειραματική έρευνα και ότι έπρεπε να βρει κάποιον τρόπο για να πάρει ταλαντώσεις με συχνότητα που θα μπορούσε να παράγει στο εργαστήριο (Segre E., 1997). Με τα όργανα που κατασκεύασε μπόρεσε να αναπαραγάγει πολλά θεμελιώδη πειράματα Οπτικής και να αποδείξει ότι τα κύματά του διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Τα πειράματά του τα θεώρησε πειστικές αποδείξεις της θεωρίας του Maxwell. Από την άλλη δεν πρέπει να είχε προβλέψει την τεράστια πρακτική τους σημασία για τις επικοινωνίες. Εκτός από τις ανακαλύψεις που αφορούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ο Hertz γρήγορα παρατήρησε και ένα φαινόμενο εντελώς διαφορετικού είδους. Το φως, ειδικά το υπεριώδες, ευνοούσε την εκδήλωση σπινθήρων μεταξύ των διακένων των δεκτών. Ο ίδιος δεν μπορούσε να φανταστεί ότι εκείνο που είχε δει αποτελούσε εκδήλωση αυτού που σήμερα ονομάζουμε φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, έναν από τους συνδέσμους ανάμεσα στην Κλασική και την Κβαντική Φυσική και ένα από τα πειράματα που θα έδειχναν την ανεπάρκεια του κυματικού μοντέλου της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του φωτός.

Τα στοιχεία που έχουμε παρουσιάσει μέχρι τώρα δηλώνουν ότι το κυματικό μοντέλο αποτελεί μια αρκετά καλή περιγραφή του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρεται το φως. Όλες οι ιδιότητες του φωτός οι οποίες έχουν αναφερθεί, μπορούν να εξηγηθούν με βάση το κυματικό μοντέλο, σε αντίθεση με το σωματιδιακό. Έτσι φαίνεται ότι το κυματικό μοντέλο εμφανίζεται πιο ικανό από το σωματιδιακό. Αυτή η θεώρηση κυριαρχούσε σε γενικές γραμμές ως το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Τότε όμως συνέβη ένα γεγονός που κατέρριψε το παραδεκτό μοντέλο: τα πειραματικά αποτελέσματα μετρήσεων σχετικών με το φαινόμενο που είναι γνωστό ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δεν μπορούσαν να εξηγηθούν ικανοποιητικά από το κυματικό μοντέλο.

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία με βάση το κυματικό μοντέλο, παρά τη μεγάλη επιτυχία της, δεν μπορούσε να εξηγήσει, όπως προαναφέρθηκε,

---

<sup>14</sup> Ο Hertz παράγαγε, με γρήγορες ηλεκτρικές ταλαντώσεις, κύματα της αυτής φύσεως με εκείνη του φωτός, αλλά με πολύ μικρότερη συχνότητα (ερτζιανά κύματα).



το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και ορισμένα άλλα φαινόμενα επίδρασης του φωτός επί της ύλης. Για την εξήγηση αυτών των φαινομένων ο Einstein, επεκτείνοντας τις προτάσεις του Planck, διατύπωσε την αρχή ότι η ενέργεια που μεταβιβάζεται με μία φωτεινή ακτίνα, αντί να διαδίδεται στο χώρο μέσω του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, διαδίδεται διά σωματιδίων (συγκεντρωμένων ποσών ενέργειας), τα οποία ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992). Αυτά τα κβάντα φωτός ή φωτόνια, που στηρίζουν και στηρίζονται στο σωματιδιακό μοντέλο προσέγγισης του φωτός, θα τα κατανοήσουμε καλύτερα κατά τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

### 1.3 Το σωματιδιακό μοντέλο του φωτός

#### 1.3.1 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ήταν γνωστό πειραματικά ότι, όταν φως (στην ορατή ή υπεριώδη περιοχή) προσπέσει σε μια μεταλλική επιφάνεια, προκαλεί έξοδο ηλεκτρονίων από την επιφάνεια. Το ίδιο το φαινόμενο δεν προκαλεί έκπληξη, μια και γνωρίζουμε ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και έτσι μπορούμε να περιμένουμε ότι το ηλεκτρικό πεδίο του φωτεινού κύματος μπορεί να ανταλλάξει ενέργεια με τα ηλεκτρόνια της μεταλλικής επιφάνειας και να προκαλέσει μερικά απ' αυτά να ξεφύγουν από το μέταλλο. Κατανοούμε λοιπόν ότι το κυματικό μοντέλο ως αυτό το σημείο ήταν ικανοποιητικό.

Αυτό που προκαλεί έκπληξη όμως είναι το ότι βρέθηκε, πριν από το 1905 από τον P. Lenard και άλλους (Young H., 1994), ότι η κινητική ενέργεια των εκβαλλόμενων ηλεκτρονίων είναι ανεξάρτητη από την ένταση του φωτός, εάν πρόκειται για μονοχρωματική ακτινοβολία (δηλαδή φως ίδιας συχνότητας), αλλά εξαρτημένη από τη συχνότητα κατά ένα πολύ απλό τρόπο: αυξάνει γραμμικά με τη συχνότητα. Αν αυξηθεί η ένταση του φωτός, απλώς αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται ανά μονάδα χρόνου αλλά όχι η ενέργειά τους.

Πρώτος ο A. Einstein λοιπόν πρότεινε το 1905 μια εξήγηση γι' αυτά τα φαινόμενα, σύμφωνα με την οποία η ενέργεια σε μια δέσμη μονοχρωματικού φωτός έρχεται σε πακέτα μεγέθους  $h \cdot \nu$ , όπου  $h$  είναι μια σταθερά (σταθερά του Planck) και  $\nu$  είναι η συχνότητα. Αυτό το κβάντο ενέργειας (κβάντο φωτός ή φωτόνιο) μπορεί να μεταφερθεί ολόκληρο σ' ένα ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο αποκτά, με άλλα λόγια, την ενέργεια  $E = h \cdot \nu$ . Αν τώρα υποθέσουμε ότι κάποιο ποσό έργου  $W$  πρέπει να καταβληθεί για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο από το μέταλλο, τότε η κινητική ενέργεια με την οποία θα αναδυθεί από το μέταλλο είναι:

$$E_{\text{κιν}}=E-W$$

$$\text{ή } E_{\text{κιν}}=h \cdot \nu - W$$

Η ποσότητα  $W$ , που είναι γνωστή με το όνομα έργο εξαγωγής του υλικού, θεωρείται ότι είναι σταθερά, χαρακτηριστική του μετάλλου και ανεξάρτητη από τη συχνότητα  $\nu$ .

Η προηγούμενη εξίσωση είναι η περίφημη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein. Η ενέργεια των εκβαλλόμενων ηλεκτρονίων αυξάνει γραμμικά με τη συχνότητα, αλλά είναι ανεξάρτητη από την ένταση του φωτός. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εξέρχονται είναι φυσικά ανάλογος προς τον αριθμό των κβάντα που προσπίπτουν και επομένως ανάλογος προς την ένταση του φωτός που προσπίπτει. Ακριβείς μετρήσεις της σχέσης μεταξύ της συχνότητας του φωτός και της ενέργειας των εκβαλλόμενων ηλεκτρονίων έγιναν μόλις το 1916 από τον R. A. Millikan, τα αποτελέσματα των οποίων ήρθαν σε τέλεια συμφωνία με την εξίσωση του Einstein (Hewitt P., 1994).

### 1.3.2 Η κβαντική θεωρία

Μια από τις πρώτες συστηματικές προσπάθειες εξήγησης των γνωστών από την αρχαιότητα οπτικών φαινομένων έγινε από τον Newton (1643 – 1727) γύρω στα 1700. Αυτός ο τόσο μεγάλος διανοούμενος με την πολύπλοκη προσωπικότητα, ανάμεσα στα άλλα επιτεύγματά του διατύπωσε και μια θεωρία του φωτός που ενισχύθηκε από πειράματά του, τα οποία διασαφήνισαν πολλά οπτικά φαινόμενα και κυρίως τη σχέση των χρωμάτων του φάσματος με το λευκό φως και θεμελίωσε μια αντικειμενική σχέση ανάμεσα στη φυσική του φωτός και τη φυσιολογία των οπτικών μας αντιλήψεων (Segre E., 1997). Ήδη από το 1662, στο Καίμπριτζ, ο Newton είχε αρχίσει πειράματα με το φως, με συσκευές που κατασκεύαζε ο ίδιος. Είναι δύσκολο να ξαναδημιουργηθεί το πνεύμα με το οποίο ο Newton πρέπει να μελέτησε Οπτική. Πολύ λίγα γνώριζαν για το φως την εποχή εκείνη και μερικά πράγματα που σήμερα είναι αυτονόητα τότε προκάλεσαν μεγάλα προβλήματα. Για παράδειγμα στην Οπτική υπάρχει ένα περίπλοκο ανακάτεμα ανάμεσα στην εμπειρία μέσω των αισθήσεών μας και τη φυσική του φωτός. Περίπου διακόσια χρόνια αργότερα, τότε που όταν κάποιος μιλούσε για Οπτική γινόταν κατανοητός, ο Einstein βρέθηκε για μια ακόμη φορά αντιμέτωπος με θεμελιώδη προβλήματα γύρω από τη φύση του φωτός και έπρεπε να επιφέρει επανάσταση στις ιδέες που κυριαρχούσαν στις αρχές του εικοστού αιώνα. Ο Newton στο σύγγραμμά του “*Optics*” διατύπωσε την άποψη ότι από τις φωτεινές πηγές εκπέμπονται «*φωτοβόλα σωματίδια*», που κινούνται ευθύγραμμα και καθιστούν ορατά τα αδιαφανή σώματα που συναντούν στην πορεία τους, ενώ διέρχονται σχεδόν ανεμπόδιστα μέσα από τα διαφανή (Σκούντζου, 1987). Με τη θεωρία του ο Newton

ερμήνευσε ικανοποιητικά τα φαινόμενα της σκιάς καθώς και της ανάκλασης, δεν μπόρεσε όμως να ερμηνεύσει επιτυχώς το φαινόμενο της διάθλασης. Σύμφωνα με τη θεωρία του τα φωτεινά σωματίδια, ελκόμενα εντονότερα από τα πυκνότερα διαφανή μέσα, θα πρέπει να επιταχύνονται κατά τη μετάβασή τους από ένα μέσο σε άλλο πυκνότερο, με αποτέλεσμα να κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο τελευταίο. Το συμπέρασμα αυτό διαψεύστηκε από το Foucault (Φουκώ) που απέδειξε πειραματικά (1800) ότι το φως στο νερό διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα απ' ότι στον αέρα<sup>15</sup>. Ο Newton αντιλαμβανόταν τις δυσκολίες που συναντούσε η θεωρία του. Σε αρκετά σημεία στο περίφημο σύγγραμμά του "*Optics*" (1704) βρίσκει κανείς γραμμένο «...δεν ξέρω τι είναι το φως...». Ο ίδιος μάλιστα ανακάλυψε φαινόμενο εναλλαγής φωτεινών και σκοτεινών δακτυλίων που σήμερα ονομάζεται «*Δακτύλιος του Νεύτωνα*» και που για την ερμηνεία του δε δίστασε, σαν πραγματικά μεγάλος επιστήμονας που ήταν, να χρησιμοποιήσει την κυματική άποψη για τη φύση του φωτός. Ο Newton κάπου κάπου αναγνωρίζει βαθιές αναλογίες ανάμεσα στο φως και τα κύματα και μπορεί ίσως να ειπωθεί ότι είναι κοντά στην ανάπτυξη μιας κυματικής θεωρίας του φωτός, αλλά αυτό δε συμβαίνει. Άλλα φαινόμενα, εξίσου σημαντικά, περνούν από το μυαλό του και στρέφεται στη σωματιδιακή θεωρία.

Η κβαντική θεωρία του φωτός<sup>16</sup> προκύπτει από τις βασικές παραδοχές και μεγαλοφυείς συλλήψεις του Einstein, που είδαμε κατά τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Έτσι σύμφωνα μ' αυτήν τη θεωρία η ενέργεια που μεταβιβάζεται με το φως μεταφέρεται από ένα αριθμό «σωματιδίων», καθένα από τα οποία έχει ενέργεια  $h\nu$ , που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια και που κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Η ενέργεια που σχετίζεται με τις καταστάσεις και την κατανομή των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό των ατόμων είναι επίσης κβαντωμένη. Έτσι κάθε είδος ατόμου έχει ένα σύνολο από δυνατές τιμές ενέργειας, που ονομάζονται ενεργειακές στάθμες. Το άτομο δεν μπορεί να έχει ενέργεια που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τέτοιες στάθμες (Young H., 1994).

Εάν αυτή η θεωρία κριθεί επιπόλαια, φαίνεται να βρίσκεται σε αντίφαση προς την κυματική θεωρία, με αποτέλεσμα το φως να παρουσιάζει δυαδικό χαρακτήρα, ώστε άλλα φαινόμενα να εξηγούνται με τη μια θεωρία και άλλα με την άλλη. Όμως στο ίδιο φαινόμενο, με κατάλληλο πείραμα ενδιάμεσα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να εμφανιστεί ως κύμα (π.χ. με χρήση σχισμής – περίθλαση). Την αντίφαση αυτή αίρει η Κβαντομηχανική, η οποία εξηγεί ενιαία όλα τα φαινόμενα με την κβαντική ηλεκτροδυναμική θεωρία.

---

<sup>15</sup> Σε ανάλογο συμπέρασμα καταλήξαμε κι εμείς κατά την αντίστοιχη μελέτη σε προηγούμενο κεφάλαιο.

<sup>16</sup> Η κβαντική θεωρία στηρίζεται γενικά αλλά και ειδικά για το φως στις ιδέες των δύο μεγάλων φυσικών Planck και Einstein.

## 1.4 Η κβαντομηχανική

### 1.4.1 Η κβαντική ηλεκτροδυναμική θεωρία

Η φαινομενική αντίφαση μεταξύ της κυματικής και σωματιδιακής υφής του φωτός εξαλείφθηκε από το 1930 με την ανάπτυξη μιας ευρύτερης θεωρίας, της κβαντικής ηλεκτροδυναμικής, που εμπεριέχει και ερμηνεύει τόσο τις κυματικές όσο και τις σωματιδιακές ιδιότητες του φωτός. Στη θεωρία αυτή, η έννοια των ενεργειακών σταθμών ενός ατομικού συστήματος επεκτείνεται και στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Ακριβώς όπως σε ένα άτομο υπάρχουν μόνο κάποιες καθορισμένες ενεργειακές καταστάσεις, έτσι και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έχει κάποιες καλά καθορισμένες ενεργειακές καταστάσεις, που αντιστοιχούν στην παρουσία διαφόρων αριθμών φωτονίων με διάφορες ενέργειες, ορμές και καταστάσεις πόλωσης. Η θεωρία αυτή έφτασε σε πλήρη άνθηση 50 χρόνια μετά την εννοιολογική γέννηση της Κβαντομηχανικής με την υπόθεση του Planck, το 1900. Η κβαντική ηλεκτροδυναμική θεωρία μέσω προτύπων προσεγγίζει την πραγματικότητα έτσι ώστε σ' άλλα φαινόμενα να εκδηλώνεται η κυματική φύση του φωτός, ενώ σ' άλλα να εκδηλώνεται ο κβαντικός χαρακτήρας του, δηλαδή τα φωτόνια. Έτσι η διάδοση του φωτός περιγράφεται κάλλιστα από το κυματικό μοντέλο, αλλά η κατανόηση της εκπομπής και της απορρόφησης επιζητεί ως απαίτηση τη σωματιδιακή άποψη προσέγγισης (Young H., 1994). Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στην περιοχή των μέσων μηκών κύματος (π.χ. ορατό φως), ανάλογα με το πείραμα, τότε είναι περισσότερο εμφανής ο ένας χαρακτήρας και τότε ο άλλος.

Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε ν' αναφέρουμε ότι στην εποχή μας επικρατεί η άποψη ότι η φύση του φωτός προσεγγίζεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία άλλοτε εμφανίζει εντονότερα τον κυματικό της χαρακτήρα και άλλοτε το σωματιδιακό της. Βέβαια πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι το φως ούτε είναι κύμα ούτε αποτελείται από σωματίδια (Open University, 1986). Αυτά είναι απλώς μοντέλα, αναλογίες, νοητικές εικόνες που μας βοηθούν να καταλάβουμε πώς συμπεριφέρεται το φως σε ορισμένες περιπτώσεις.

## 1.5 Η Οπτική

Οπτική ονομάζεται το μέρος της Φυσικής το οποίο πραγματεύεται τα φαινόμενα, τα σχετικά με το φως, δηλαδή με τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι. Κατ' επέκταση, στην Οπτική περιλαμβάνονται και περιοχές συχνοτήτων που βρίσκονται εκατέρωθεν της ορατής περιοχής, δηλαδή η υπέρυθρη και η υπεριώδης ακτινοβολία.

Στην Οπτική δεν περιλαμβάνονται όλες οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες ανεξαρτήτου συχνότητας, παρά το ότι όλες είναι της αυτής φύσεως, γιατί οι διατάξεις παραγωγής και μετρήσεως άλλων ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών είναι εντελώς διαφορετικές από εκείνες που χρησιμοποιούνται για το φως. Έτσι για παράδειγμα οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες της ραδιοφωνίας μελετώνται σε βιβλία σχετικά με τον Ηλεκτρομαγνητισμό, η ακτινοβολία Röntgen και η ακτινοβολία  $\gamma$  σε βιβλία Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής κ.τ.λ.

## 1.6 Διαίρεση της Οπτικής

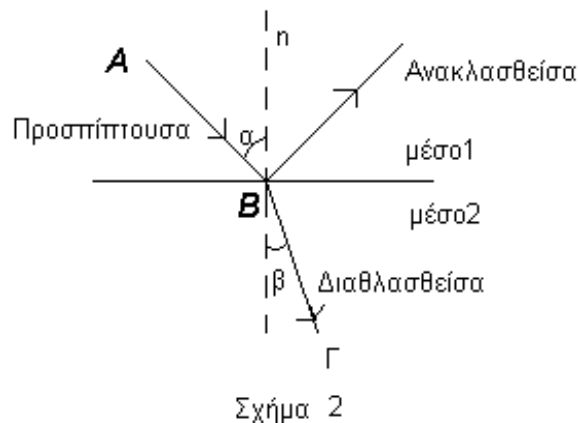
Η Οπτική διαιρείται σε τρία μέρη (Αλεξόπουλος – Μαρίνος, 1992): τη *Γεωμετρική Οπτική*, την *Κυματική Οπτική* και την *Κβαντική Οπτική*. Όπως αναφέρθηκε, η φύση των φαινομένων προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την Κυματική και την Κβαντική Οπτική, όμως η Γεωμετρική Οπτική, που κάνει αποκλειστική χρήση της έννοιας των ακτίνων, κατορθώνει να περιγράψει και να εξηγήσει πάρα πολλά φαινόμενα και μάλιστα κατά τρόπο απλούστερο.

### 1.6.1 Η Γεωμετρική Οπτική

Η Γεωμετρική Οπτική, χωρίς να ενδιαφέρεται για την πραγματική φύση του φωτός, θεωρεί ότι το φως διαδίδεται διά φωτεινών ακτίνων. Υπ' αυτή την έννοια, μια φωτεινή δέσμη θα αποτελείται από φωτεινές ακτίνες, οι οποίες διαδίδονται ευθύγραμμα, εφόσον διατρέχουν ομογενή υλικά.

Είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ότι η αρχή του Ήρωνα, που διατυπώθηκε στην αρχαιότητα, προσπάθησε να περιγράψει τη διάδοση του φωτός. Η αρχή αυτή, ενώ εξηγεί επαρκώς την ανάκλαση, είναι προφανές ότι δεν ισχύει στην περίπτωση που μια ακτίνα φωτός διαθλάται σε μια επιφάνεια και καταλήγει σε σημείο που βρίσκεται στο μέσο διαθλάσεως. Στην περίπτωση αυτή η συντομότερη γεωμετρική

απόσταση είναι η ευθεία γραμμή και όχι η τροχιά που ακολουθεί το φως όπως είδαμε και στο σχήμα 2.



Το 1657 ο Fermat γενίκευσε την παρατήρηση του Ήρωνα και διατύπωσε την πρόταση : «Μια φωτεινή ακτίνα διερχόμενη από δύο σημεία που βρίσκονται σε δυο διαφορετικά οπτικά μέσα ακολουθεί το χρονικά συντομότερο δρόμο» (Hecht E., 1975).

Κατά το νόμο της διαθλάσεως μια ακτίνα που περνάει από τα σημεία Α και Γ θα απαιτεί για το δρόμο ΑΒ το χρόνο (1) και για το δρόμο ΒΓ το χρόνο (2)

$$\frac{l_1}{c_1} \qquad \frac{l_2}{c_2} \quad (2)$$

όπου  $c_1$  και  $c_2$  είναι οι ταχύτητες του φωτός στα δύο μέσα. Ο συνολικός χρόνος  $t_{ολ}$  είναι ίσος με :

$$t_{ολ} = \frac{l_1}{c_1} + \frac{l_2}{c_2}$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση  $n=c_0/c$  όπου  $c_0$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό, παίρνουμε την έκφραση:

$$t_{ολ} = \frac{1}{c_0} (l_1 \cdot n_1 + l_2 \cdot n_2)$$

Σύμφωνα με την αρχή του Fermat το σημείο Β από το οποίο θα περάσει η ακτίνα στην πραγματικότητα, θα βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε το διώνυμο  $l_1 n_1 + l_2 n_2$  να είναι ελάχιστο, δηλαδή να είναι μικρότερο από την τιμή που θα είχε αυτό για κάθε άλλη διαδρομή.

Όταν έχουμε διάδοση εντός μέσων με τον ίδιο δείκτη διαθλάσεως, η αρχή του Fermat καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το διώνυμο  $l_1 + l_2$  πρέπει να είναι ελάχιστο, δηλαδή συμπίπτει με την αρχή του Ήρωνα.

Η διατύπωση της αρχής του Fermat αν και είναι σωστή, σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ικανοποιητική. Ας δούμε πώς η αρχή του Fermat επεκτείνεται στην περίπτωση ακτίνων που διαδίδονται μέσα σ' ένα υλικό με συνεχώς μεταβαλλόμενο δείκτη διαθλάσεως. Θεωρούμε ότι η ακτίνα

φωτός διαδίδεται μεταξύ δύο σημείων διασχίζοντας γεωμετρικές διαδρομές  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$  σε μέσα με αντίστοιχους δείκτες διαθλάσεως  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$  οπότε ο συνολικός χρόνος διαδρομής θα είναι:

$$t = \sum_{i=1}^m \frac{s_i}{v_i} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^m n_i s_i \quad \text{όπου } v_i = \frac{c}{n_i}$$

Το άθροισμα που συναντούμε μέσα σ' αυτό τον τύπο ονομάζεται οπτικός δρόμος και η αρχή του Fermat διατυπώνεται ως εξής : «Μια ακτίνα ακολουθεί εκείνη τη διαδρομή που αντιστοιχεί στο συντομότερο οπτικό δρόμο».

Η αρχή του Fermat μπορεί να γενικευτεί με τη χρήση παραγώγων ακόμη περισσότερο και να γίνει : «Μια ακτίνα φωτός, καθώς διαδίδεται από ένα σημείο σ' ένα άλλο, ακολουθεί, ανεξάρτητα από το μέσο που παρεμβάλλεται, μια διαδρομή που αντιστοιχεί σε μια ακραία τιμή του οπτικού δρόμου (μέγιστος, ελάχιστος ή σταθερός)». Εδώ διαφαίνεται με ιδιαίτερη έμφαση ότι τόσο ο νόμος της διάθλασης όσο και ο νόμος της ανάκλασης μπορούν να εξαχθούν από την ίδια αρχή, την αρχή του Fermat.

Στη Γεωμετρική Οπτική περιγράφουμε πολλά φαινόμενα με τη χρησιμοποίηση της έννοιας της φωτεινής ακτίνας. Εντούτοις η μέθοδος αυτή είναι ικανοποιητική για αρκετά μακροσκοπικά φαινόμενα, στα οποία τα χρησιμοποιούμενα όργανα (φακοί, σχισμές, πρίσματα κ.λ.π.) έχουν μεγάλες διαστάσεις, σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός εάν συλλογίζομαστε σύμφωνα με το κυματικό μοντέλο και, κάτω από ορισμένες συνθήκες, σε συνδυασμό με το σωματιδιακό μοντέλο και για ορισμένα μικροσκοπικά φαινόμενα. Όμως, στις περιπτώσεις που οι διαστάσεις είναι μικρές, παρουσιάζονται νέα φαινόμενα (π.χ. φαινόμενα περίθλασης), τα οποία εξηγούνται μόνο αν λάβουμε υπόψη μας τον κυματικό χαρακτήρα του φωτός.

Βέβαια σε αυτό το σημείο μπορούμε να αναφέρουμε μια διαφορετική διατύπωση άποψης η οποία σκοπό έχει να συνδέσει φαινομενικά ασύνδετα σημεία κατά την αντίληψη της περίθλασης και της ανάκλασης. Γενικότερα γίνεται μια προσπάθεια σύνδεσης της κυματικής άποψης (το φως αντιμετωπίζεται σαν κύμα) με τη γεωμετρική άποψη (το φως αντιμετωπίζεται σαν ακτίνα). Έτσι, στην αντίστοιχη δημοσίευση (Newburgh R., 1995), αναφέρεται η άποψη ότι η ακτίνα είναι ένα κύμα με μηδενικό μήκος κύματος. Η παραδοχή σ' αυτήν την περίπτωση είναι ότι η οπτική ακτίνων (Γεωμετρική Οπτική) είναι μια οριακή περίπτωση της Κυματικής Οπτικής. Όσο το μήκος κύματος γίνεται μικρότερο το κύμα μοιάζει με ακτίνα όλο και πιο πολύ. Αυτός ήταν και ο λόγος που οι ακτίνες  $\chi$  (x – rays) ονομάστηκαν ακτίνες, όταν αυτές ανακαλύφθηκαν. Αυτό έγινε επίσης επειδή αμέσως αναγνωρίστηκαν ως τα μόνα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μέχρι τότε, με εξαιρετικά βραχύ μήκος

κύματος. Η παραπάνω παραδοχή γίνεται φανερή και από τον τύπο για την περίθλαση, εφόσον πρόκειται για φράγμα περίθλασης, όπως στην περίπτωση που παρουσίασε κατά τη δημοσίευσή του ο Newburgh.:

$$n \cdot \lambda = d \cdot (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) \quad (3)$$

όπου το  $n$  συμβολίζει την τάξη των κροσσών και παίρνει ακέραιες τιμές, το  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος, το  $d$ <sup>17</sup> είναι το μήκος του κάθε διαστήματος της σχάρας που παίζει το ρόλο του φράγματος περίθλασης (Newburgh R., 1995) και  $\theta_1$  και  $\theta_2$  είναι οι γωνίες πρόσπτωσης και περίθλασης. Όταν το  $n$  είναι 0 το αποτέλεσμα του τύπου (3) είναι το ίδιο για όλα τα μήκη κύματος. Έτσι δεν υπάρχει διαχωρισμός χρωμάτων. Όταν το  $\lambda$  θεωρηθεί 0 πάλι ο παραπάνω τύπος ικανοποιείται και προκύπτει ότι  $\theta_1 = \theta_2$  (όπως συμβαίνει στην ανάκλαση).

Το περιεχόμενο της Γεωμετρικής Οπτικής περιορίζεται σε περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα της περίθλασης λόγω της κυματικής φύσης του φωτός είναι αμελητέα. Αυτή η απλοποίηση ισοδυναμεί με την παραδοχή ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα στα ομογενή μέσα, δηλαδή ότι οι ακτίνες είναι ευθείες γραμμές.

Το θεωρητικό μοντέλο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, εκ πρώτης όψεως καταργεί την ανάγκη παραδοχής φωτεινών ακτίνων και την παραδοχή της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός. Πράγματι είναι δυνατό να περιγράψουμε σχεδόν όλα τα φαινόμενα (ανάκλαση, διάθλαση κ.λ.π.) κάνοντας χρήση της έννοιας του κύματος, χωρίς να χρησιμοποιήσουμε την έννοια των φωτεινών ακτίνων. Παρά ταύτα, η περιγραφή πολλών φωτεινών φαινομένων είναι δυνατή και μάλιστα με απλό τρόπο, ακριβώς με την εισαγωγή της έννοιας των ακτίνων.

---

<sup>17</sup> Το μήκος του  $d$  είναι συγκρίσιμο (αρκετά κοντά) με το μήκος κύματος.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ**

*«Η διδακτική προσέγγιση του φωτός»*

## 2.1 Το μάθημα της Φυσικής

Η Φυσική ως επιστήμη παρουσιάζει στις μέρες μας άνθιση. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους είναι η καταλυτική επίδραση που ασκούν οι θετικές επιστήμες στην εξέλιξη του πολιτισμού μας. Έτσι οι φυσικοί που εργάζονται σήμερα είναι περισσότεροι παρά ποτέ, οι επιστημονικές δημοσιεύσεις πληθαίνουν ραγδαία και οι γνώσεις μας αυξάνονται εκθετικά. Αντίστοιχο κύρος κερδίζει και το σχολικό μάθημα. Η Φυσική διδάσκεται στις περισσότερες χώρες ως ανεξάρτητο μάθημα, ο αριθμός των διδακτικών ωρών που διατίθενται σήμερα δεν υπήρξε ποτέ μεγαλύτερος.

Παρόλα αυτά όμως η αντιμετώπιση του μαθήματος από τους μαθητές και η αποτελεσματικότητά του δείχνουν ότι η Φυσική στο σχολείο περνά ουσιαστική κρίση. Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας φαίνεται ότι στους μαθητές κυριαρχεί η άποψη ότι η Φυσική είναι δύσκολο, βαρετό, ξένο προς τη ζωή, δυσνόητο μάθημα, που έχει για τη ζωή τού κάθε μαθητή μικρή αξία (Σάββας Σ. και Καλκάνης Γ., 1998).

Η αρνητική τοποθέτηση απέναντι στη Φυσική δεν τεκμηριώνεται μόνο από γενικές διαπιστώσεις αλλά και από συστηματικές εμπειρικές έρευνες. Μία απ' αυτές πραγματοποιήθηκε στη Γερμανία, όπου διαπιστώνεται μείωση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τη Φυσική, η οποία είναι λιγότερο έντονη τα πρώτα χρόνια και σημαντικότερη τα επόμενα. Ενδιαφέρον έχει η παρατήρηση ότι οι συνιστώσες του μαθήματος στις οποίες προβλέπεται ενεργητική συμπεριφορά των μαθητών αντιμετωπίζονται με σημαντικά αυξημένο ενδιαφέρον.

Στον ελληνικό χώρο δεν έχουμε ανάλογες μελέτες και έρευνες. Όμως ήδη από τη δεκαετία του '80 έχουν γίνει επισημάνσεις για αναχρονιστικό περιεχόμενο, απουσία πειράματος και εργαστηρίου, εξετάσεις που ευνοούν την αποστήθιση από πλευράς μαθητών κ. ά. (Κόκοτας, 1989), καθώς και για το μηχανιστικό χαρακτήρα της μάθησης γενικότερα στην ελληνική εκπαίδευση (Κασσωτάκης, 1981). Επιπλέον όλοι όσοι ασχολούνται με την εκπαίδευση των φυσικών επιστημών «υποψιάζονται» ή έχουν γνωρίσει «από πρώτο χέρι» κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά στη διδασκαλία και στη μάθηση της Φυσικής. Σε μια πρώτη αντίστοιχη έρευνα (Σάββας Σ. και Καλκάνης Γ., 1998) – με την επιφύλαξη του μικρού δείγματος που καλύφθηκε και του γεωγραφικού εντοπισμού της έρευνας στην περιοχή της Αττικής, ως προς τη γενίκευση – ευρέθησαν αντίστοιχα αποτελέσματα. Βασικοί παράγοντες που εντοπίστηκαν να επιδρούν στη θετικοποίηση της στάσης των μαθητών είναι η στάση του δασκάλου, ο θεματικός προσανατολισμός του μαθήματος στα ενδιαφέροντα των μαθητών και η μεγιστοποίηση της συμμετοχής των μαθητών στη μαθησιακή πορεία.

Η εκπαιδευτική πράξη στο μάθημα της Φυσικής χαρακτηρίζεται από αδυναμία να εμπνεύσει στους μαθητές θετικές στάσεις και μορφωτικές συνήθειες σύμφωνες με το πνεύμα των φυσικών επιστημών (Αλιμήσης Δ., 1998). Η διδασκαλία της Φυσικής στη χώρα μας στη δεκαετία του '90 φαίνεται να παραμένει προσκολλημένη στο παρωχημένο διδακτικό μοντέλο της μεταφοράς της γνώσης από το διδάσκοντα και το ένα και μοναδικό σχολικό βιβλίο, που περιέχει την προς «αποκάλυψη» (και προς αποστήθιση) αλήθεια προς τους μαθητές, οι οποίοι αντιμετωπίζονται σαν «άγραφη ταινία», με απευθείας μετάδοση γνώσης κυρίως πληροφοριακού χαρακτήρα. Σίγουρο είναι ότι δε θα αυξηθεί η αποδοτικότητα του μαθήματος της Φυσικής, αν δε γίνουν γενναίες τομές τόσο στον καθορισμό της έκτασης της ύλης όσο και στον μεθοδολογικό σχεδιασμό της διδακτικής του προσέγγισης, αν δε δοθεί περισσότερη βαρύτητα στη διδακτική / παιδαγωγική του διάσταση απ' ότι στην έκταση και την επιστημονική εμβάθυνση του θεματικού περιεχομένου (Σάββα Σ. και Καλκάνη Γ., 1998).

Όλοι, λοιπόν, κατανοούν ότι πρέπει να γίνουν βήματα ώστε η εκπαιδευτική πράξη που σχετίζεται με το μάθημα της Φυσικής να καταστεί αποδοτικότερη. Η κάλυψη μίας εκτεταμένης ύλης δεν πρέπει να καταδυναστεύει τη διδασκαλία, σε βάρος της εμβάθυνσης και της κατανόησης των επιμέρους θεμάτων. Η διδακτική / παιδαγωγική διάσταση πρέπει να έχει ιδιαίτερη βαρύτητα και να υπάρχει συνολική και συστηματική οργάνωση της διδασκαλίας της Φυσικής από τα χρόνια του Δημοτικού σχολείου (όπου για πρώτη φορά αυτή διδάσκεται) έως και την Γ' Λυκείου. Άποψη του συγγραφέα αυτής της μελέτης είναι ότι η επιστημονική εμβάθυνση σε θέματα της Φυσικής, οπωσδήποτε προσαρμοσμένη στα νοητικά και ψυχοκινητικά δεδομένα της ηλικίας των εκάστοτε μαθητών, σύμφωνα με τις επιταγές της Ψυχολογίας και συνοδευόμενη από πειραματική ενασχόληση, εάν ξεκινάει από τα πρώτα χρόνια διδασκαλίας της Φυσικής μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της εκπαιδευτικής πράξης.

## **2.2 Οι διδάσκοντες των φυσικών επιστημών**

Τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας προβάλλει όλο και πιο επιτακτική η ανάγκη μιας πιο ουσιαστικής εκπαίδευσης των δασκάλων της πρωτοβάθμιας και των καθηγητών / τριών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, για μια πιο αποτελεσματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο σχολείο. Σήμερα είναι πιο αναγκαίο παρά ποτέ να αντιμετωπιστούν κριτικά οι μέχρι πρότινος κρατούσες αντιλήψεις, σύμφωνα με τις οποίες αρκεί ο καθηγητής να γνωρίζει το γνωστικό του αντικείμενο, δηλαδή την ύλη των φυσικών επιστημών, για να το διδάξει καλά και να το μάθουν καλά και τα παιδιά. Όσον αφορά δε το δάσκαλο αρκεί να έχει μια γενική

παιδαγωγική κατάρτιση ή και γνώσεις γενικής διδακτικής για να διδάξει με επιτυχία οποιοδήποτε γνωστικό αντικείμενο, συμπεριλαμβανομένων και των φυσικών επιστημών (Παπαδημητρίου Β. κ. άλ., 1992). Δεν είναι λοιπόν τυχαίο, στα πλαίσια αυτής της λογικής, ότι ο πρώτος θεωρείται επιστήμονας, ενώ ο δεύτερος παιδαγωγός.

Θα μπορούσε κανείς εύκολα να υποθέσει ότι αυτό που λείπει από τον καθηγητή είναι η παιδαγωγική κατάρτιση, ενώ από το δάσκαλο λείπει η γνώση των Φυσικών επιστημών, οπότε η κάλυψη αυτών των ελλείψεων θα αρκούσε για να εκσυγχρονίσει και να βελτιώσει την τωρινή πρακτική στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Τα πράγματα όμως δεν είναι τόσο απλά και τα περιθώρια βελτίωσης δεν εξαντλούνται στην παραπάνω διαδικασία.

Έρευνες και προβληματισμοί που αναπτύχθηκαν τα τελευταία 20 χρόνια, στα πλαίσια της διδακτικής των φυσικών επιστημών, αποκαλύπτουν μια εκπαιδευτική πραγματικότητα πολύ πιο πολύπλοκη, η δυναμική της οποίας επιβάλλει αναγκαιότητες άγνωστες μέχρι πρότινος. Η ανακάλυψη του ρόλου και της σημασίας των αρχικών ιδεών, εννοιών, παραστάσεων των παιδιών για την οικοδόμηση της νέας γνώσης οδήγησε στη διατύπωση μιας νέας θεωρίας για τη μάθηση, της κοινωνιογνωστικής, που με τη σειρά της υποδεικνύει τις κατευθύνσεις και εμπνέει το σχεδιασμό σύγχρονων προγραμμάτων εκπαίδευσης μαθητών / τριών και φοιτητών / τριών, σε πολλές χώρες του κόσμου. Σήμερα, όλο και πιο πολύ, κερδίζει έδαφος η θέση ότι τα παιδιά από πολύ νωρίς πρέπει να διδάσκονται φυσικές επιστήμες, με τρόπο που η οικοδόμηση επιστημονικών εννοιών να συμβαδίζει με την ανάπτυξη δεξιοτήτων και στάσεων. Θεωρείται αναγκαίο λοιπόν οι δάσκαλοι, για να διδάξουν φυσικές επιστήμες, να έχουν ανάλογη επιστημονική κατάρτιση. Ερευνητικά δεδομένα εξάλλου υποστηρίζουν αυτή την άποψη. Οι Tobin & Garrett (1988), συζητώντας τα αποτελέσματα έρευνάς τους σε δασκάλους / άλες πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, διαπιστώνουν ότι η έλλειψη της αναγκαίας γνώσης του περιεχομένου των φυσικών επιστημών έχει σημαντικές συνέπειες και πιο συγκεκριμένα δεν επιτρέπει στους διδάσκοντες να βελτιώσουν την ποιότητα της διδασκαλίας τους. Ακόμα διαπιστώθηκε ότι (Smith, 1987) δάσκαλοι / άλες, που άρχισαν τη διδασκαλία έχοντας μη παραδεκτές - λανθασμένες απόψεις για τη φύση του φωτός, δεν κατόρθωσαν με διδασκαλία μιας εβδομάδας, ακόμα και προσφεύγοντας σε ποικίλες δραστηριότητες, ν' αλλάξουν αρχικές λανθασμένες ιδέες των μαθητών / τριών.

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να μελετήσουμε διεξοδικά αυτές τις νέες απόψεις της διδακτικής με τις διάφορες παραμέτρους τους και τις επιρροές που αυτές συνεπάγονται στην πραγμάτωση της εκπαιδευτικής πράξης του μαθήματος της Φυσικής.

## 2.3 Η θεωρία της εποικοδόμησης της γνώσης ή του κονστρουκτιβισμού (constructivism)

Η έρευνα στη γνωστική επιστήμη, την τελευταία εικοσαετία, έχει αποδείξει τη σπουδαιότητα της προγενέστερης γνώσης για την απόκτηση καινούριων γνώσεων. Στους τομείς της επιστήμης αυτή η προγενέστερη γνώση συχνά παρουσιάζεται με τη μορφή κάποιας διαισθητικής γνώσης. Η διαισθητική γνώση αντικατοπτρίζει την ερμηνεία του κόσμου που πηγάζει μέσα από την καθημερινή εμπειρία των ατόμων που δεν έχουν αποκτήσει επιστημονικές γνώσεις. Τόσο τα παιδιά όσο και οι ενήλικοι λειτουργούν με βάση μια τέτοια διαισθητική αντίληψη του κόσμου, ισχυρή, η οποία φαίνεται να είναι πολύ δύσκολο να εξαλειφθεί (Βοσνιάδου Στ., 1989).

Σύμφωνα με την *εποικοδομητική υπόθεση* το κάθε άτομο, μαθητής ή επιστήμονας, κατασκευάζει τη δική του προσωπική γνώση, δηλαδή ερμηνεύει την πραγματικότητα μ' ένα δικό του τρόπο ο οποίος εξαρτάται από τις ιδέες του και από τις νοητικές του δομές. Συνεπώς η γνώση δε «μεταβιβάζεται» ούτε γίνεται αποδεκτή παθητικά, αλλά εποικοδομείται ενεργά από τα υποκείμενα, με την καθοδήγηση και τη συνεργασία του δασκάλου. Με άλλα λόγια δεν μπορούμε να βάλουμε ιδέες στα κεφάλια των μαθητών. Αυτοί θα οικοδομήσουν και πρέπει να οικοδομήσουν τα δικά τους νοήματα. Ο ρόλος του δασκάλου είναι να ενθαρρύνει τους μαθητές σ' αυτή τους την προσπάθεια. Ο ρόλος του δηλαδή είναι καθοδηγητικός. Εάν αυτός καταφέρει να εντοπίσει και στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει την κατάλληλη διδακτική παρέμβαση είναι βέβαιο ότι μπορεί να ξεριζώσει λανθασμένες απόψεις των μαθητών.

«Ο πιο σπουδαίος απλός παράγοντας που επηρεάζει τη μάθηση είναι αυτό που ο μαθητής ήδη γνωρίζει. Εξακρίβωσε το και δίδαξε τον σύμφωνα με αυτό» (Ausubel, 1968). Η άποψη αυτή του Ausubel οριοθετεί και προσδιορίζει τη σημασία των ιδεών των μαθητών στη μάθηση και στη διδασκαλία. Καινούριοι ρόλοι μορφοποιούνται τόσο για το μαθητή όσο και για το δάσκαλο. Η εποικοδομητική υπόθεση της μάθησης θεωρεί τα υποκείμενα ως συμμετέχοντα ενεργά στη δόμηση των δικών τους νοημάτων. Η μάθηση είναι συνήθως προϊόν της εννοιολογικής αλλαγής που επέρχεται στους μαθητές λόγω της γνωστικής σύγκρουσης στην οποία υποβάλλονται (Driver R. κ. άλ., 2000). Η μάθηση θεωρείται ως εποικοδόμηση που γίνεται στο πλαίσιο της κοινωνίας της ομάδας. Η θεωρία της εποικοδόμησης της γνώσης στηρίζεται σε δύο σύγχρονους επιστημονικούς κλάδους, την *Επιστημολογία*, που είναι μέρος της Φιλοσοφίας<sup>18</sup> και τη *Γνωστική Ψυχολογία*.

<sup>18</sup> Από άποψη αρχών και από άποψη μεθοδολογική, η επιστημολογία συνδέεται με τη φιλοσοφία. Ωστόσο είναι ένας κλάδος με σχετική αυτονομία και με αντικείμενο περιορισμένο σε σχέση με το

### 2.3.1 Επιστημολογική προσέγγιση της γνώσης

Η *Επιστημολογία* πραγματεύεται τη φύση της επιστημονικής γνώσης καθώς και το πώς αυτή παράγεται. Το ερευνητικό ενδιαφέρον σήμερα επικεντρώνεται στη μελέτη της συσχέτισης των εννοιών, των αρχών και των θεωριών που εφαρμόζουμε για την παρατήρηση των γεγονότων ή των αντικειμένων καθώς και στη συνακόλουθη εποικοδόμηση της γνώσης. Μας ενδιαφέρει η περιγραφή της αλλαγής της επιστημονικής γνώσης.

Σύμφωνα με τη νέα αντίληψη που προσβέει η Επιστημολογία, η επιστήμη δε θεωρείται ως το μέσο για την αναζήτηση της αλήθειας, αλλά για την οικοδόμηση επεξηγηματικών μοντέλων που όλο και πιο συχνά προσπαθούν να ερμηνεύσουν έναν ευρύτερο κύκλο φαινομένων (Novak, 1988). Σημαντικό είναι να τονίσουμε τη σύγκλιση, όλων αυτών που ασχολούνται με την επιστημολογία, στις θέσεις ότι η αλλαγή των επιστημονικών απόψεων δεν είναι αποτέλεσμα συσσώρευσης και ότι στην εξέλιξη της επιστήμης καταγράφονται ασυνέχειες.

### 2.3.2 Ψυχολογική προσέγγιση της γνώσης

Δύο είναι οι κυρίαρχες απόψεις για τη ψυχολογική προσέγγιση της γνώσης, στις οποίες και θα περιοριστούμε. Πρόκειται για τον *μπεχέβιορισμό* και τη *γνωστική ψυχολογία*.

Ο *μπεχέβιορισμός* διατείνεται ότι πεδίο της ανθρώπινης ψυχολογίας είναι η συμπεριφορά του ανθρώπινου όντος. Η μπεχέβιοριστική άποψη δίνει έμφαση στην αλληλουχία συνδέσεων μεταξύ ερεθισμάτων και αντιδράσεων, χωρίς να καταφεύγει στην ενδοσκόπηση και χωρίς την αναφορά των εσωτερικών μηχανισμών που είναι υπεύθυνοι ή που ακολουθούν τέτοιες σχέσεις. Η μελέτη της συμπεριφοράς περιορίζεται μόνο στις αντιδράσεις που είναι παρατηρήσιμες. Ο μπεχέβιορισμός, όπως ονομάστηκε αρχικά από τον Αμερικανό J. B. Watson στις αρχές του 20ου αιώνα, εξακολουθεί να έχει

---

αντικείμενο της φιλοσοφίας. Αν θα θέλαμε να μιλήσουμε με μαθηματική γλώσσα θα μπορούσαμε να πούμε ότι η επιστημολογία αποτελεί υποσύνολο ενός ευρύτερου συνόλου, που είναι η φιλοσοφία. Ωστόσο αυτή η σχέση εγκλεισμού δεν είναι τυπική. Πρόκειται για διαφορετικούς κλάδους και η διαφορά δεν είναι μόνο ποσοτική: είναι ποιοτική. Η επιστημολογία δε νοείται εν τέλει έξω από τις επιστήμες. Δεν είναι λόγος αυθύπαρκτος, έξω από τον πλούτο των ειδικών επιστημών. Επίσης δε νοείται πάνω από τις επιστήμες, σαν ένα είδος υπερεπιστήμης, που θα κρίνει, θα αποτιμά και θα παιδαγωγεί. Η επιστημολογία προκύπτει μέσα από την κριτική ανάλυση του υλικού των ειδικών επιστημών, είτε σαν ειδική, είτε σαν θεωρητική κριτική και γενίκευση. Έργο της είναι η μελέτη των προβλημάτων γένεσης, ανάπτυξης, διαφοροποίησης, ενότητας των επιστημών και συνολικά του προβλήματος της επιστημονικής αλήθειας. Ρόλος της είναι ανάμεσα στα άλλα να αποκαλύψει την ιστορική διάσταση των επιστημών, τις αντιθέσεις και τα προβλήματα που τις κινούν, να ασκήσει μια μεθοδολογική παιδεία και να συμβάλει στη διαμόρφωση της στρατηγικής της έρευνας (Μπιτσάκης Ε. – Θεμέλια των επιστημών, 1979α).

αρκετή επίδραση στην Αμερική ως αποτέλεσμα των μελετών του B. F. Skinner (Κομίλη Α., 1981).

Ο μηχευβιοριστής φρονεί ότι το πραγματικό πεδίο της ψυχολογίας αποτελείται μονάχα από κινήσεις παρατηρήσιμες. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά, δηλαδή εκείνο που κάνει και λέει ο οργανισμός. Η συμπεριφορά των ανθρώπινων όντων μπορεί πάντοτε να περιγραφεί σε όρους «ερεθισμάτων και ανταποκρίσεων», όταν παρατηρούμε ένα απόσπασμα, ένα ορισμένο τμήμα της (Naville, 1942). Ο μηχευβιορισμός υποστηρίζει ότι παρατηρώντας απλές συμπεριφορές και καταγράφοντάς τες είναι δυνατόν να ερμηνεύσουμε την πολυπλοκότητα του φαινομένου της μάθησης (Κόκκοτας Π., 1998). Κατά τους μηχευβιοριστές η μάθηση είναι αλλαγή στη συμπεριφορά του υποκειμένου λόγω των εμπειριών που δοκιμάζει. Αυτή η αντίληψη για τη μάθηση, που κυριάρχησε τόσο στη ψυχολογία όσο και στην εκπαίδευση για περισσότερο από μισό αιώνα, θεωρούσε τη μάθηση ως παθητική, ληπτική και αναπαραγωγική διαδικασία. Ο ρόλος του δασκάλου σύμφωνα μ' αυτήν είναι να διαχέει τις πληροφορίες που οι μαθητές μπορούν να απορροφούν περισσότερο ή λιγότερο παθητικά και να τις αναπαράγουν στον κατάλληλο χρόνο. Αυτή η προσέγγιση είναι σήμερα κυρίαρχη στις περισσότερες χώρες.

Η *γνωστική ψυχολογία* θεωρεί ότι κεντρικό ρόλο στην εποικοδόμηση της γνώσης παίζουν οι έννοιες και τα εννοιολογικά πλαίσια (Κόκκοτας Π., 1998). Η γνωστική ψυχολογία ερευνά τις διαδικασίες μάθησης, τη γνωστική επεξεργασία της πληροφορίας, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά του υποκειμένου της μάθησης. Πρωτοπόρος στη νέα αντίληψη για τη Ψυχολογία είναι ο Piaget. Αυτός, μετά από έρευνες δεκαετιών, υποστήριξε την άποψη ότι ο άνθρωπος αναπτύσσεται γνωστικά περνώντας από στάδια γνωστικής ανάπτυξης. Έτσι η γνωστική ή διανοητική ανάπτυξη χωρίζεται σε τρεις μεγάλες περιόδους (Piaget J., 1956):

1. Την περίοδο της αισθησιοκινητικής νόησης που υποδιαιρείται σε έξι στάδια.
2. Την περίοδο της προετοιμασίας και της οργάνωσης των συγκεκριμένων διεργασιών, συνόλων, σχέσεων και αριθμών που υποδιαιρείται σε δύο υποπεριόδους και πέντε στάδια.
3. Την περίοδο των τυπικών διεργασιών που υποδιαιρείται σε δύο στάδια.

Ο Piaget θεωρείται σημαντικός εκπρόσωπος της άποψης ότι το άτομο εποικοδομεί μόνο του τη γνώση. Η εκμάθηση είναι διαδικασία που οδηγεί σε κατάκτηση γνώσεων με βάση την εμπειρία και μόνο. Σε όλα τα επίπεδα η απόκτηση των γνώσεων προϋποθέτει τη δραστηριότητα του υποκειμένου, της οποίας οι διάφορες μορφές προετοιμάζουν, σε διαφορετικό βαθμό η κάθε μία, τις λογικές δομές (Piaget J., 1959). Στη

νεότερη γενιά των ψυχολόγων που υποστήριξαν τη σπουδαιότητα της επικοινωνίας των εννοιών ανήκει ο Ausubel. Αυτός περιγράφει με λεπτομέρειες τη φύση και το ρόλο των εννοιών καθώς και τη σημασία της προϋπάρχουσας γνώσης στη μάθηση (Ausubel, 1963 & 1968). Κάνει τη διάκριση μεταξύ της απομνημονευτικής μάθησης και της μάθησης με νόημα. Θεωρεί ότι για να υπάρξει μάθηση με σημασία (meaningful learning) απαιτούνται κατάλληλα έργα, σχετική προϋπάρχουσα γνώση και ομάδα από μαθήσεις με σημασία. Δυστυχώς στο παραδοσιακό σχολείο από την πλειονότητα των μαθητών και από τα περισσότερα μαθήματα απουσιάζουν οι όροι του Ausubel με αποτέλεσμα η μάθηση να είναι σχεδόν απομνημονευτικού χαρακτήρα.

### 2.3.2.1 Τα είδη της γνώσης

Στο χώρο της γνωστικής Ψυχολογίας τα είδη της γνώσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στην *απεικονιστική (figurative) ή δηλωτική (declarative) ή προτασιακή (propositional)* και στη *λειτουργική (operational) ή διαδικαστική (procedural)* (Anderson 1980, Lawson 1982). *Δηλωτική γνώση* σημαίνει: γνωρίζω γεγονότα. Αυτή η γνώση αναφέρεται στη συστηματική και οργανωμένη γνώση που έχουμε για κάτι. Αναφέρεται στο περιεχόμενο, στο «τι» της γνώσης. Αντίθετα *λειτουργική γνώση* σημαίνει: κατανοώ την προέλευση της δηλωτικής γνώσης. Σημαίνει ακόμη ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, να εφαρμόσουμε, να μετασχηματίσουμε και να αναγνωρίσουμε τη σημασία της δηλωτικής γνώσης σε νέες ή ασυνήθιστες καταστάσεις. Η λειτουργική ή διαδικαστική γνώση αναφέρεται στην ικανότητα που έχει κάποιος να ακολουθεί επιστημονικές διαδικασίες π.χ. να παρατηρεί προσεκτικά, να καταγράφει δεδομένα, να τα ταξινομεί, να βγάζει συμπεράσματα από αυτά, να προβλέπει, να υποθέτει κ.τ.λ. Το είδος αυτό της γνώσης αναφέρεται στις επιστημονικές διαδικασίες, στο «πώς» της επιστημονικής μεθόδου.

Όπως φαίνεται από τις αντιλήψεις που διατυπώνουν οι ψυχολόγοι, δεν υπάρχει ένα ξεκαθαρισμένο «σώμα» γνώσης. Η γνώση γύρω από ένα θέμα μπορεί να βρεθεί σε διαφορετικές θέσεις. Π.χ. η γνώση γύρω από την έννοια «φως» υπάρχει στους μαθητές ως προϋπάρχουσες ιδέες, υπάρχει στην επιστήμη, στο αναλυτικό πρόγραμμα κ.τ.λ. Κατά τους Gilbert, Watts και Osborne (1985) υπάρχουν πέντε διαφορετικές περιοχές στις οποίες βρίσκονται «σώματα» (corpus) επιστημονικής γνώσης: 1) επιστήμη των επιστημόνων 2) επιστήμη του αναλυτικού προγράμματος 3) επιστήμη των διδασκόντων 4) επιστήμη των μαθητών 5) επιστήμη των σπουδαστών. Αυτή η ταξινόμηση αντιπροσωπεύει τις ποικίλες πηγές γνώσης που πρέπει να λάβει κανείς υπόψη όταν πρόκειται να διδάξει το μάθημα των φυσικών επιστημών.



Η βασική πρόταση της εποικοδόμησης είναι ότι η γνώση αποτελεί ανθρώπινο κατασκεύασμα, άρα δεν υπάρχει ανεξάρτητα από αυτούς που την κατέχουν. Η γνώση δε λαμβάνεται παθητικά αλλά χτίζεται ενεργητικά από το υποκείμενο. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να μεταδοθεί κατευθείαν από αυτόν που την κατέχει σε κάποιον άλλο μόνο μέσω της γλώσσας. Η απόκτηση γνώσης απαιτεί την ενεργό ανάμειξη του υποκειμένου που χρησιμοποιεί την προϋπάρχουσα γνώση του για να εποικοδομήσει νέες κατανοήσεις. Ως προσωπική γνώση χαρακτηρίζεται αυτή που κατασκευάζεται από τα άτομα στην καθημερινή τους ζωή. Με αυτή την έννοια οι ιδέες των μαθητών συνιστούν γνώση που έχει ομοιότητες και διαφορές με την επιστημονική γνώση π.χ. οι μαθητές ταυτίζουν τη γνώση με την πραγματικότητα, ενώ πρόκειται για μια νοητική αναπαράστασή της.

Συμπερασματικά μπορούμε να δεχτούμε ότι, ενώ η πραγματικότητα μπορεί να θεωρηθεί αντικειμενική, η γνώση δεν είναι ποτέ. Η διυποκειμενική συναίνεση αντικειμενικοποιεί την πραγματικότητα. Ο μόνος έλεγχος της γνώσης είναι το πείραμα και γενικότερα η εμπειρία. Ο κονστρουκτιβισμός κάνει μια σπουδαία αναφορά στο status της γνώσης. Θεωρεί ότι ο μόνος έλεγχος για την ισχύ των κατασκευών της ανθρώπινης γνώσης είναι ο βαθμός εναρμόνισής της με την εμπειρία. Η εμπειρία μπορεί να δείξει ότι οι κατασκευές της γνώσης μπορεί να διαψευστούν αλλά και ότι είναι δυνατόν να υπάρξουν πολλές κατασκευές που είναι σε αρμονία με την εμπειρία.

### 2.3.3 Οι ιδέες των μαθητών

Σύμφωνα με τη νέα θεώρηση των πραγμάτων, που επικρατεί από τα μέσα της δεκαετίας του '70 και μετά, κυρίαρχο ρόλο στη μάθηση παίζουν οι ιδέες (ideas, conceptions, representations) που έχουν τα παιδιά για τα φυσικά φαινόμενα πριν καν τα διδαχθούν στο σχολείο (Κόκκοτας Π., 1998). Π.χ. πριν ο μαθητής διδαχθεί στο σχολείο για το φως έχει διαμορφώσει κάποια δική του άποψη για την έννοια αυτή. Οι ιδέες των παιδιών για τα φυσικά φαινόμενα έχουν μια παγκοσμιότητα και συγκροτούν ερμηνευτικά πρότυπα (Driver R. κ. άλ., 2000). Τα παιδιά μέσω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων και μέσα από την κοινωνική επαφή και τη γλώσσα αρχίζουν να οικοδομούν ένα ευρύ φάσμα ιδεών για το πώς λειτουργεί ο κόσμος. Οι ιδέες αυτές χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν και να ερμηνεύσουν ότι υποπίπτει στην αντίληψή τους. Οι απόψεις των μαθητών για τα φαινόμενα ομαδοποιούνται και συγκροτούν ερμηνευτικά πρότυπα που καταγράφονται συνήθως ως εναλλακτικές ιδέες των παιδιών ή παρανοήσεις – πλάνες, προϋπάρχουσες ιδέες,

αυθόρμητες αντιλήψεις, διαισθητικές ιδέες, επιστήμη των παιδιών, αναπαραστάσεις ή ως νοητικά μοντέλα<sup>19</sup>.

Στην κονστρουκτιβιστική αντίληψη η παρανόηση – πλάνη είναι η έκφραση μιας μορφής γνώσης. Οι ιδέες των παιδιών δεν είναι απλές παρανοήσεις που οφείλονται σε κακή πληροφόρηση, αλλά δημιουργούνται από τους μηχανισμούς που αυτά διαθέτουν και με τους οποίους αντιλαμβάνονται ότι συμβαίνει γύρω τους. Σύμφωνα με τον G. Brousseau η πλάνη δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα της άγνοιας, της αβεβαιότητας, της τύχης, όπως συμβαίνει στις εμπειρικές και συμπεριφοριστικές θεωρίες μάθησης, αλλά το αποτέλεσμα μιας προηγούμενης γνώσης, που είχε τη σημασία της, τις επιτυχίες της, μα που, τώρα αποκαλύπτεται λαθεμένη ή απλά ακατάλληλη. Σύμφωνα με την κονστρουκτιβιστική αντίληψη μάθησης δύο υποθέσεις μπορούν να ερμηνεύσουν τη γένεση της παρανόησης – πλάνης (Τρούλης Γ., 1996). Η μία στηρίζεται στη γνωστική ψυχολογία κυρίως του Piaget και υπογραμμίζει τη σημασία της διαδικασίας στη «διατάραξη – εξισορρόπηση – οργάνωση» των γνώσεων και στην οποία οι αντιλήψεις του μαθητή παίζουν καθοριστικό ρόλο. Η άλλη στηρίζεται στην κοινωνική ψυχολογία και τονίζει τη σημασία των κοινωνικών – γνωστικών συγκρούσεων ανάμεσα στους μαθητές που εργάζονται ως σύνολο ή που επικοινωνούν από απόσταση. Σύμφωνα μ' αυτά η παρανόηση – πλάνη έχει θέση μέσα στη διαδικασία της μάθησης και ίσως είναι ο ασφαλέστερος δρόμος για την ακριβή γνώση, αρκεί να κατανοηθεί και να θεραπευθεί.

Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών έχουν γενικότητα και διαχρονική ισχύ, παρόλο που μερικές από αυτές διαφοροποιούνται με την ανάπτυξη του μαθητή ή την επίδραση της διδασκαλίας. Οι ιδέες<sup>20</sup> αυτές είναι επαρκείς για τους μαθητές, για την ερμηνεία των φαινομένων και συγκροτούν μια αυτοσυνεπή ως ένα βαθμό γνωστική δομή με περιορισμένη ισχύ. Πολλές φορές επηρεάζονται ελάχιστα από την παραδοσιακή ή την πειραματική διδασκαλία (Ψύλλος κ. άλ., 1993). Μάλιστα μερικές από τις ιδέες που χρησιμοποιούν τα παιδιά για το

---

<sup>19</sup> Τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει η χρήση των εκφράσεων *νοητικές αναπαραστάσεις* (*mental representation*) και *νοητικά μοντέλα* (*mental models*). Ωστόσο οι ψυχολόγοι δε συμφωνούν ως προς το τι ακριβώς αντιπροσωπεύει η κάθε μια από τις δύο αυτές έννοιες. Μια άποψη υποστηρίζει ότι με την έκφραση «*νοητικές αναπαραστάσεις*» εννοούμε την ικανότητα του υποκειμένου να φέρνει στο μυαλό του τις εικόνες αντικειμένων, φαινομένων, γεγονότων κ.τ.λ. όταν απ' αυτά λείπει η φυσική τους παρουσία. Μια άλλη άποψη είναι ότι αντιστοιχούν σε γνωστικές στρατηγικές που αναπτύσσει ο μαθητής όταν αντιμετωπίζει νέες καταστάσεις – προβλήματα. Με τον όρο «*νοητικό μοντέλο*» θεωρούνται τα είδη των νοητικών αναπαραστάσεων που σχηματίζουν τα άτομα.

<sup>20</sup> Οι ιδέες είναι έννοια, «ον», που μελετήθηκε ακόμα και από τη φιλοσοφία της αρχαιότητας. Ο Πλάτωνας διακήρυττε ότι οι Ιδέες είναι αιώνιες, έξω από το χρόνο και συνιστούν το πραγματικό Ον (το όντος Ον). Κατά τον Αριστοτέλη δεν υπάρχουν γενικές ιδέες σαν αυτόνομες οντότητες. Υπάρχουν μόνο τα συγκεκριμένα όντα. Κατ' αυτόν οι ιδέες δεν μπορούν να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε τα άλλα πράγματα, γιατί δεν αποτελούν την ουσία τους (για να είναι η ουσία των πραγμάτων θα έπρεπε να είναι μέσα στα ίδια τα πράγματα) (Μπιτσάκης Ε., 1979β).

φυσικό κόσμο είναι τόσο εδραιωμένες που δεν αλλάζουν με τη διδασκαλία. Έτσι, παρόλο που μερικά παιδιά μπορούν να εφαρμόσουν τις επιστημονικές ιδέες σε προβλήματα των εξετάσεων, αποτυγχάνουν να τις εφαρμόσουν εκτός του σχολείου για να ερμηνεύσουν μερικά φαινόμενα. Οι ιδέες των παιδιών είναι δυνατόν να παραμένουν όχι μόνο μετά τη διδασκαλία, αλλά και μετά την ενηλικίωσή τους (Viennot, 1979).

Οι ιδέες αναπτύσσονται στην προσπάθεια των παιδιών να δώσουν νόημα στον κόσμο μέσα στον οποίο ζουν με αναφορά στις εμπειρίες τους, τις τρέχουσες γνώσεις τους και τη γλώσσα που χρησιμοποιούν. Πολλές ιδέες των παιδιών φαίνεται να αναπτύσσονται καθώς αυτά προσπαθούν να ερμηνεύσουν το φυσικό τους περιβάλλον. Οι ιδέες των παιδιών διαμορφώνονται με την επίδραση των αντιλήψεων των μεγάλων, των μέσων επικοινωνίας, την αλληλεπίδραση με άλλα παιδιά, από τη διδασκαλία, τα σχολικά εγχειρίδια κ.τ.λ. Όπως οι επιστήμονες έτσι και τα παιδιά συγκεντρώνουν στοιχεία και χτίζουν μοντέλα για να ερμηνεύσουν τα γεγονότα και να κάνουν προβλέψεις.

## 2.4 Η θεωρία των νοητικών μοντέλων

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή όταν ο άνθρωπος σκέπτεται η σκέψη του στρέφεται γύρω από τα μέρη ενός κόσμου, συχνά του πραγματικού, μερικές φορές όμως ενός φανταστικού κόσμου. Ο άνθρωπος αναπαριστά αυτό το μέρος του κόσμου με ένα νοητικό μοντέλο που αντανακλά τη δομή του (Garnham & Oakhill, 1994).

Ένας σημαντικός λοιπόν τρόπος αναπαράστασης της γνώσης είναι τα *νοητικά μοντέλα*. Αυτά τα μοντέλα χρησιμεύουν στο να αναπαριστούν το φυσικό κόσμο και αντικατοπτρίζουν πολλά από τα όρια που βάζει ο φυσικός κόσμος. Πιστεύουμε ότι στην πορεία της αλληλεπίδρασης με το φυσικό κόσμο τα παιδιά αυθόρμητα αναπτύσσουν έναν τύπο νοητικού μοντέλου που ονομάζουμε *φαινομενολογικό* (Βοσνιάδου Στ., 1989).

Το *φαινομενολογικό μοντέλο* μπορεί να ορισθεί σαν ένα σύνολο ερμηνειών ή υποθέσεων που δημιουργούν οι άνθρωποι με βάση συγκεκριμένες απόψεις, διαμορφωμένες μέσα από την εμπειρία του κόσμου. Εκείνο που χαρακτηρίζει τα φαινομενολογικά μοντέλα είναι ότι παρουσιάζουν τη μικρότερη δυνατή απόκλιση από το φυσικό κόσμο, έτσι όπως τον αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας.

Τα παιδιά διαθέτουν ποικιλία ασαφών και συχνά λανθασμένων ιδεών γύρω από το πώς λειτουργεί ο κόσμος.<sup>21</sup> Συχνά είναι πιθανό να έχουν πολλαπλές, ασυμβίβαστες μεταξύ τους ιδέες για το ίδιο φαινόμενο που

---

<sup>21</sup> Ήδη απ' αυτές τις πρώτες διαπιστώσεις καθένας αντιλαμβάνεται πόσο πολύτιμος είναι ο ρόλος του δασκάλου, αρκεί βέβαια η προσπάθειά του να είναι οργανωμένη και αποδοτική. Είναι φανερό ότι και μέσα απ' αυτή τη νέα θεώρηση της διδακτικής πράξης, σύμφωνα με τις επιταγές του κονστρουκτιβισμού, ο ρόλος του δασκάλου είναι ιδιαίτερα αναβαθμισμένος.

τις χρησιμοποιούν σε διαφορετικά πλαίσια. Αυτά τα νοητικά μοντέλα επιτρέπουν στα παιδιά να ερμηνεύσουν πώς και γιατί συμβαίνουν τα πράγματα, ακόμα και να προβλέψουν πότε θα συμβούν. Παρά τις ατέλειές τους παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αντίσταση στην αλλαγή. Ο κονστρουκτιβισμός υποστηρίζει πως τέτοιες αντιλήψεις αποτελούν ένα φυσικό επακόλουθο της καθημερινής ζωής. Κατασκευάζουμε δηλαδή νοητικά μοντέλα για όλα τα είδη των καταστάσεων που μας επιτρέπουν να τις δομήσουμε για τον εαυτό μας. Τα νοητικά μοντέλα είναι δυναμικές αναπαραστάσεις που μπορούν να δώσουν αιτιακές εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων και να κάνουν προβλέψεις στο φυσικό κόσμο.

Σύμφωνα με την κονστρουκτιβιστική αντίληψη το υποκείμενο μαθαίνει κατά τρόπο που εξαρτάται από τις γνωστικές του δομές. Αυτό έχει δύο πολύ βασικές συνέπειες: Πρώτη, ότι διαφορετική δομή θα αξιοποιήσει με ξεχωριστό τρόπο τη νέα πληροφορία ή ιδέα, γεγονός που σημαίνει ότι ο κάθε μαθητής αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση από πλευράς γνωστικής δομής. Δεύτερη, η νέα γνώση θα αφομοιωθεί μόνο όταν ενσωματωθεί στην υπάρχουσα δομή του μαθητή, αλλιώς θα απομονωθεί και θα χαθεί. Η μάθηση στις φυσικές επιστήμες δεν περιλαμβάνει μόνο την αποδοχή νέων ιδεών, αλλά και την τροποποίηση ή κατάργηση των προϋπαρχουσών ιδεών του μαθητή.

## 2.5 Η εννοιολογική αλλαγή

Με την έκφραση «*εννοιολογική αλλαγή*» εννοούμε την τροποποίηση – εάν χρειάζεται – των διαισθητικών αντιλήψεων των μαθητών για όλες τις έννοιες, ανάμεσά τους και για τις φυσικές, για τα φαινόμενα και τις σχέσεις μεταξύ μεγεθών, σε γνώσεις που είναι πιο συμβατές με το αντίστοιχο επιστημονικό πρότυπο (Ψύλλος κ. άλ., 1993). Οι επονομαζόμενες τεχνικές της «*εννοιολογικής αλλαγής*» περιλαμβάνουν μια ποικίλη δέσμη προσεγγίσεων, που πολύ αμυδρά θα μπορούσε να ονομαστεί «*μέθοδος*». Αυτό που έχουν κοινό είναι η επιστημολογική υπόθεση της εποικοδόμησης ή του κονστρουκτιβισμού, ότι οι μαθητές έρχονται σε νέες καταστάσεις μάθησης με ένα ποσό προϋπάρχουσας γνώσης και ο πρωταρχικός ρόλος του δασκάλου είναι αυτός του «*διαπραγματευτή των εννοιών*» ή του «*εφευρετικού καλλιεργητή της αλλαγής*».

Οι Driver & Oldham πρότειναν ένα διδακτικό μοντέλο της εποικοδομητικής προσέγγισης στη μάθηση και στη διδασκαλία που περιλαμβάνει τις φάσεις του *προσανατολισμού*, της *ανάδειξης των ιδεών των μαθητών*, της *αναδόμησης των ιδεών*, της *εφαρμογής των νέων ιδεών* και της *ανασκόπησης* (Κόκκοτας Π., 1989).

## 2.6 Η διδακτική πράξη

### 2.6.1 Το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας

Στα εκπαιδευτικά συστήματα όπου λείπει η απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή για να κάνουν οι μαθητές πειράματα και όπου η κατάρτιση των διδασκόντων (τόσο η παιδαγωγική όσο και η πρακτική) δεν είναι άρτια, το κέντρο της διδασκαλίας είναι η διδακτέα ύλη και ο δάσκαλος. Οι προτιμήσεις, τα ενδιαφέροντα, οι κλίσεις κ.τ.λ. των μαθητών, κατά κανόνα, δε λαμβάνονται υπόψη. Ο δάσκαλος των Φυσικών, μπαίνοντας στην τάξη, θα σηκώσει με τον κατάλογο ή θα εξετάσει από τη θέση τους 3 – 4 μαθητές. Στη διαδικασία της εξέτασης θα καταναλώσει ένα σημαντικό μέρος της διδακτικής ώρας, γιατί συνήθως απαιτεί από τους μαθητές να πουν το μάθημα απέξω.

Στο λίγο χρόνο που του μένει, ο δάσκαλος θα παραδώσει το νέο μάθημα. Συνήθως θα κάμει ένα σχήμα στον πίνακα ή θα κάμει επίδειξη ενός πειράματος. Μπορεί να κάμει ερωτήσεις που αφορούν το νέο μάθημα ή να πει ο ίδιος το μάθημα απέξω, σε μορφή διάλεξης. Επειδή ο χρόνος είναι λίγος οι μαθητές δεν ενθαρρύνονται να υποβάλουν ερωτήσεις. Έτσι το ενδιαφέρον για το πόσοι μαθητές κατανοούν τα συμβαίνοντα στην τάξη είναι ανύπαρκτο και επαφίεται στην ευσυνειδησία και στο φιλότιμο του εκάστοτε εκπαιδευτικού. Εκείνο που ενδιαφέρει το σύστημα είναι πώς θα τελειώσει μια ορισμένη ποσότητα ύλης για να δώσουν οι μαθητές εξετάσεις. Στο τέλος ο δάσκαλος θα ορίσει ποιο κομμάτι παρέδωσε απ' το βιβλίο. Οι μαθητές θα ανατρέξουν σ' αυτό, θα μάθουν το μάθημα απ' έξω και θα απομνημονεύσουν τους τύπους για να είναι έτοιμοι να εξεταστούν την επόμενη φορά. Όπως γίνεται φανερό ο μαθητής είναι παθητικός δέκτης πληροφοριακής γνώσης και δεν αποκτάει καμιά από τις δεξιότητες στις οποίες αποβλέπουν οι φυσικές επιστήμες. Ακόμα πολλά θέματα πειθαρχίας στην τάξη μπορεί να έχουν την αιτία τους στον τρόπο αυτό της διδασκαλίας, αφού η πλήξη, η ανία και η αδιαφορία που αυτός προκαλεί διακατέχουν τους περισσότερους μαθητές.

Τα αποτελέσματα της κλασικής αυτής διδασκαλίας, στα μαθήματα των φυσικών επιστημών, είναι γνωστά εδώ και δύο τουλάχιστον δεκαετίες, από έρευνες που έχουν γίνει διεθνώς (Παπαδημητρίου Β. κ. άλ., 1992). Στην καλύτερη περίπτωση ευνοείται η δημιουργία απόψεων και γνώσεων δογματικών, ενώ στη χειρότερη παρατηρείται παντελής απόρριψη της γνώσης από τα παιδιά. Εξ άλλου έρευνες έδειξαν ότι η αποστήθιση μπορεί να δίνει μεν καλά αποτελέσματα για τεστ

σχεδιασμένα γι' αυτό το σκοπό, αλλά οι «γνώσεις» αυτές δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση ή εξήγηση άλλων φαινομένων, κυρίως της καθημερινής ζωής, όντας μη λειτουργικές. Η αναποτελεσματικότητα του κλασικού προτύπου διδασκαλίας θεωρείται σήμερα δεδομένη και τεκμηριωμένη.

## 2.6.2 Η πρακτική μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας

Το σημαντικότερο έργο του δασκάλου είναι η διδασκαλία, αφού μέσω αυτής θα προσπαθήσει να κατανοήσουν οι μαθητές αυτά που θέλει να διδάξει. Εάν η διδακτική της Φυσικής επιμένει στο ότι οι μαθητές μπορούν να οικοδομήσουν διάφορα πράγματα μόνοι τους, ο ρόλος του διδάσκοντος και του διδακτικού υλικού είναι να τους καθοδηγούν και όχι να τους αποθαρρύνουν, έτσι ώστε προοδευτικά να συγκροτούν δομές που βλέπουν προς την επιστήμη (Κασέτας Α., 1996). Η εξουσία του δασκάλου είναι διακριτική και καθόλου ευδιάκριτη. Ο δάσκαλος εδώ προκαλεί και συντονίζει συζητήσεις, επιλέγει σύμφωνα με τις ιδέες των μαθητών τα κατάλληλα έργα τα οποία θα προκαλέσουν την εννοιολογική αλλαγή, που είναι και ο κύριος σκοπός του. Ενδιαφέρεται για το ευχάριστο κλίμα στην τάξη ώστε οι μαθητές να αισθάνονται άνετα για να συμμετέχουν στις διαδικασίες και να απολαμβάνουν ότι συμβαίνει γύρω τους. Τους ενθαρρύνει για να σκέφτονται ελεύθερα, χωρίς το φόβο να χαρακτηριστούν λανθασμένα αυτά που λένε (Driver R. κ. άλ., 2000).

Το πρώτο βήμα για μια αποδοτική διδασκαλία είναι ο σχεδιασμός της (Κόκκοτας Π., 1989). Το σχεδιασμό της διδασκαλίας ο δάσκαλος τον κάνει μόνος του, στο γραφείο του σπιτιού του, όταν προετοιμάζεται για την επόμενη μέρα. Αφού μελετήσει το γνωστικό μέρος, ώστε να είναι κάτοχος αυτού που θα διδάξει, θα καταστρώσει το σχέδιό του. Ταυτόχρονα θα διερωτηθεί και θα αναζητήσει τους διδακτικούς στόχους του μαθήματος. Ο σχεδιασμός της διδασκαλίας είναι αναγκαίο να καταγράφεται στο χαρτί και να τον έχει μπροστά του ο δάσκαλος την ώρα του μαθήματος.

Στη συνέχεια ακολουθεί η πραγματοποίηση της διδασκαλίας. Συνήθως ο δάσκαλος μετά τη σύντομη ανακεφαλαίωση της προηγούμενης ενότητας, του ελέγχου των τυχών εργασιών που είχε αναθέσει, προετοιμάζει τους μαθητές νοητικά και συναισθηματικά για το νέο θέμα που πρόκειται να ερευνήσουν όλοι μαζί. Ο ρόλος του είναι να κάνει ερωτήσεις, να θέτει προβλήματα. Ακολουθεί η συνέρευνα των ερωτημάτων ή προβλημάτων. Ο δάσκαλος συντονίζει τις δραστηριότητες, παρεμβαίνει και κατευθύνει τη συζήτηση και τη σκέψη των μαθητών στους στόχους. Τα συμπεράσματα θα συζητηθούν στην τάξη με τη μικρότερη δική του παρέμβαση, ώστε ο μαθητής να

ανακαλύψει μόνος του τη γνώση. Η συχνή ανακεφαλαίωση πρέπει να είναι μέρος της διδασκαλίας.

Το τρίτο βήμα είναι η αξιολόγηση της διδασκαλίας. Με την αξιολόγηση, που είναι απαραίτητη, θα ελεγχθεί ο βαθμός μέχρι του οποίου οι μαθητές κατέκτησαν τους διδακτικούς στόχους. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα και αποτελεσματικά με ένα σύντομο τεστ αξιολόγησης, που έχει ετοιμάσει ο δάσκαλος και του οποίου τα ερωτήματα αναφέρονται στους διδακτικούς στόχους.

Στο ερευνητικό κομμάτι της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε και διδασκαλία συγκεκριμένου θέματος Φυσικής, σε τάξεις παιδιών Δημοτικού σχολείου, η οποία ακολουθεί τα παραπάνω βήματα μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, ενστερνίζεται το διδακτικό μοντέλο της εποικοδομητικής προσέγγισης με τις φάσεις του, τα βήματα της οποίας θα παρουσιαστούν αναλυτικά στη συνέχεια. Πρώτα όμως θα γίνει μια παρουσίαση των ιδεών που κατέχουν τα παιδιά σε σχέση με το φως, όπως έχουν καταγραφεί στην ελληνική αλλά και διεθνή βιβλιογραφία.

## **2.7 Οι ιδέες των μαθητών για το φως**

Οι απόψεις των παιδιών για τη φύση του φωτός συχνά θεωρούνται γνωστές, γι' αυτό ο μοναδικός ορισμός που δίνεται κατά τη διδασκαλία αυτής της έννοιας είναι ότι το φως είναι «μια μορφή ενέργειας» (Driver R. κ. άλ., 2000). Όμως πολλά γνωστικά εμπόδια για τα παιδιά διαφόρων ηλικιών, που έχουν αναδειχθεί από σχετικές έρευνες, δυσχεραίνουν την προσέγγιση και την κατανόηση της έννοιας του φωτός ως οντότητας, με αποτέλεσμα να υπονομεύεται κάθε προσπάθεια ανάπτυξης διδακτικών δραστηριοτήτων από την περιοχή της Οπτικής (Βουτσινά Χρ. κ. ά., 1998). Ως κύρια προβλήματα εντοπίζονται η ταύτιση του φωτός με τις φωτεινές πηγές, η αναγνώριση του φωτός εκτός των πηγών μόνο όπου αυτό ανιχνεύεται με την όραση, η αδυναμία απόδοσης αυτόνομων ιδιοτήτων στο φως και αναγνώρισής του ως αυτόνομης οντότητας με συνεχή παρουσία στο χώρο.

Κάποιες από τις πρώτες έρευνες που αναφέρονται σ' αυτή την περιοχή ήταν από τον Piaget (1974) (Osborne J. κ. άλ., 1990), ο οποίος πρόσεξε ότι τα νεαρά παιδιά δεν κάνουν καμιά σύνδεση μεταξύ ματιού και αντικειμένου, ενώ σε ένα μεταγενέστερο ηλικιακό και αναπτυξιακό στάδιο θεωρούν την όραση ως ένα πέρασμα από το μάτι στο αντικείμενο. Στα παιδιά επικρατεί η αντίληψη με την οποία εξετάζουν το φως της ημέρας ως μια παρεχόμενη «θάλασσα φωτός», η οποία επιτρέπει την όραση, όπως ανέφερε η Guesne το 1978. Επίσης μερικά παιδιά δεν είναι εύκολο να αναγνωρίσουν ότι το φως είναι αποτέλεσμα διεγέρσεων και διαδίδεται μέσα στο χώρο με ευθύγραμμη κίνηση. Αυτά είναι μερικά

στοιχεία από διάφορες εργασίες που υποστηρίζουν την άποψη ότι πολλά παιδιά συχνά βλέπουν το φως σαν κάτι το οποίο διαδίδεται αόριστα μέσα στο χώρο.

Η Edith Guesne αναφέρει ότι για το φυσικό επιστήμονα το φως είναι μια οντότητα<sup>22</sup> που διαδίδεται στο χώρο προερχόμενη από μία πηγή, που αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα τα οποία συναντά στην πορεία του και τότε παράγει διάφορα αισθητά αποτελέσματα (Driver R. κ. άλ., 1993). Ακόμα αναφέρει ότι έχει ορισμένο αριθμό ιδιοτήτων: στον ομογενή χώρο διαδίδεται σε ευθείες γραμμές, η ταχύτητα διάδοσής του είναι πεπερασμένη, δηλαδή το φως πάντοτε χρειάζεται ορισμένο χρόνο για να πάει από ένα μέρος σε άλλο, μπορεί να εξαφανιστεί μερικά ή ολικά όταν διασχίζει ένα υλικό μέσο και διατηρείται όσο δεν συναντά κάποιο μέσο που να το απορροφά.

Αντίστοιχα μας λέει ότι, παιδιά που δεν έχουν διδαχθεί τίποτε για το φως συστηματικά, κατέχουν ιδέες συνδεδεμένες με τη λέξη «φως» και ερμηνείες για τα φαινόμενα τα σχετιζόμενα μ' αυτό. Η επιστημονική θεώρηση για το φως δε φαίνεται να είναι πολύ διαδεδομένη ανάμεσα στους μαθητές. Τα παιδιά στην ηλικία 10 – 11 ετών φαίνεται ότι χρησιμοποιούν σπάνια την έννοια «φως – οντότητα μέσα στο χώρο» και γενικά εξισώνουν το φως με την πηγή του ή τα αποτελέσματά του. Έτσι πολύ συχνά συνδέουν την έννοια «φως» αποκλειστικά με τις φωτεινές πηγές και το εντοπίζουν εκτός των πηγών μόνο σε ισχυρά φωτισμένες επιφάνειες (Βουτσινά Χρ. κ. ά., 1998). Συλλαμβάνουν λοιπόν την έννοια του φωτός ως μια πηγή (όπως είναι ο ηλεκτρικός λαμπτήρας), ως ένα αποτέλεσμα (όπως είναι μια ακτίνα φωτός) ή ως μια κατάσταση (όπως είναι η φωτεινότητα). Στον ελληνικό χώρο, σε αντίστοιχη έρευνα (Ραβάνης Κ., 1994), βρέθηκε ότι μόνο το 9,1% των παιδιών ηλικίας 10 ετών, που συμμετείχαν στην έρευνα, αποδέχεται το φως ως αυτόνομη οντότητα και το 6,8% αυτών αποδίδει αυτόνομη δραστηριότητα στο φως. Έτσι και σ' αυτή την έρευνα φαίνεται ότι τα παιδιά δεν κατανοούν το φως ως αυτόνομη οντότητα η οποία καταλαμβάνει όλο το χώρο μεταξύ φωτεινής πηγής και αποδέκτη. Στα 13 – 14 χρόνια τα παιδιά στο σύνολό τους έχουν φανερά προοδεύσει. Όμως βρίσκει κανείς ακόμη κάποια παιδιά που εξακολουθούν να ορίζουν το φως με την πηγή του ή με τα αποτελέσματά του. Οπωσδήποτε σ' αυτή την ηλικία συμβαίνει τα περισσότερα παιδιά να μιλούν για το φως ως μια οντότητα στο χώρο.

Η ερμηνεία του φαινομένου του σχηματισμού των σκιών, στα πλαίσια του μοντέλου της γεωμετρικής οπτικής είναι απλή. Καθώς το φως διαδίδεται ευθύγραμμα και αλληλεπιδρά με τα υλικά που συναντά, εμποδίζεται από τα αδιαφανή αντικείμενα, με αποτέλεσμα να

---

<sup>22</sup> Στο πρώτο μέρος του θεωρητικού πλαισίου της εργασίας αυτής αναφερθήκαμε εκτενώς στη φύση του φωτός.



δημιουργούνται οι σκιές. Ως προς τη σκιά και το σχηματισμό της, από τη σύγκριση των απαντήσεων των παιδιών 10 – 11 ετών και 13 – 14 ετών, φαίνεται ότι τα περισσότερα από τα παιδιά 13 – 14 ετών είναι σαφώς περισσότερο προχωρημένα από τα μικρότερα παιδιά. Σχεδόν όλα τα παιδιά 10 – 11 ετών δέχονται το «φως – πηγή» ως υπεύθυνο για το φαινόμενο, αλλά δίνουν προσοχή μόνο στην απεικόνιση του σχήματος του αντικειμένου. Αρκετά παιδιά ενώ μπορούν σωστά να προβλέψουν τη διαμόρφωση της σκιάς δεν μπορούν να προβλέψουν τα αποτελέσματα της αλλαγής της χωρικής σχέσης μεταξύ φωτεινής πηγής, αντικειμένου και πετάσματος. Από το άλλο μέρος η πλειονότητα των παιδιών ηλικίας 13 – 14 ετών χρησιμοποιεί την ιδέα «φως – οντότητα στο χώρο» για να ερμηνεύσει τις σκιές, αν και ορισμένα παιδιά συνεχίζουν να δίνουν τις απαντήσεις τους με τον όρο «αντανάκλαση», όπως κάνουν τα μικρότερα παιδιά.

Η ιδέα του φωτός που διαδίδεται είναι μάλλον ξένη στα παιδιά, ακόμη και όταν θεωρούν το φως ως μια οντότητα εντοπισμένη στο χώρο. Ακόμα και όταν αναφέρουν ότι το φως πηγαίνει από ένα σημείο σε ένα άλλο είναι πιθανό να το αντιλαμβάνονται ως ένα καλώδιο ή ως ένα δρόμο που πηγαίνει από το ένα σημείο στο άλλο. Οι περισσότεροι μαθητές δε θεωρούν ότι το φως ταξιδεύει πολύ μακριά από την πηγή και ειδικότερα την ημέρα. Είναι φανερό ότι αυτό το θέμα δεν κάνει αίσθηση στα παιδιά, ειδικά των 10 – 11 ετών, τα οποία ταυτίζουν το φως με την πηγή του ή με τα αποτελέσματά του.

Η ιδέα της ευθύγραμμης πορείας του φωτός μπορεί να αποσυνδεθεί τελείως από την ιδέα του χρόνου διάδοσης (Driver R. κ. άλ., 1993). Τα παιδιά μπορούν πραγματικά να τοποθετήσουν το φως σε ευθύγραμμες ακτίνες χωρίς να έχουν κάποια ιδέα για τη διάδοση (κίνηση) του φωτός πάνω σ' αυτές τις ακτίνες. Όμως μπορούν να τοποθετούν το φως πάνω σε ακτίνες μόνο εφ' όσον έχουν την αντίληψη «φως – οντότητα στο χώρο». Σε έρευνα (Ramadas & Driver, 1989), με μαθητές ηλικίας 15 ετών, διαπιστώθηκε ότι πολλά παιδιά θεωρούν ότι οι ακτίνες του φωτός είναι «μακριές, λεπτές, αστραφτερές, διαφορετικές από το συνηθισμένο φως». Οι μαθητές συχνά τις συσχέτιζαν με διάφορα κείμενα επιστημονικής φαντασίας. Το γεγονός ότι η διαδρομή που ακολουθεί το φως δεν είναι από μόνη της απευθείας ορατή δημιουργούσε ιδιαίτερες δυσκολίες για τους μαθητές, ειδικά όταν είχαν να σχεδιάσουν την παρουσία του φωτός σε διαφορετικές καταστάσεις. Το σκοτάδι φαίνεται ότι είναι το ίδιο σημαντικό με το φως στην αντίληψη των μαθητών και μάλιστα ως ξεχωριστή οντότητα (πολλές φορές, στα σχέδιά τους, παριστάνουν το σκοτάδι πάνω σε λευκό χαρτί με σκούρα χρώματα αντί να προσπαθήσουν να παρουσιάσουν την έλλειψη φωτός). Το ζήτημα της πορείας του φωτός δεν προκαλεί αίσθηση στα παιδιά των 10 – 11 ετών.

Ως προς το ρόλο του μεγεθυντικού φακού τα παιδιά γνωρίζουν ότι ένας τέτοιος φακός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανάψει κάτι, μια ηλιόλουστη μέρα. Στα 13 – 14 χρόνια πολλά απ' αυτά το έχουν δοκιμάσει. Σ' αυτή την ηλικία δόθηκαν εξίσου δύο τύποι απαντήσεων: «Ο μεγεθυντικός φακός κάνει το φως μεγαλύτερο» ή «Ο μεγεθυντικός φακός συγκεντρώνει το φως». Όμως ορισμένα από τα παιδιά που έχουν την ιδέα ότι ο φακός συγκεντρώνει το φως δε δείχνουν σωστά πώς ο φακός συγκεντρώνει το φως.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα παιδιά δεν παίρνουν υπόψη τους τη διατήρηση του φωτός, αφού υποστηρίζουν ότι ο μεγεθυντικός φακός έχει την ικανότητα να πολλαπλασιάζει ή να δυναμώνει το φως. Για το φυσικό επιστήμονα, από το άλλο μέρος, η ποσότητα του φωτός μπορεί να μειωθεί όταν συναντά ένα υλικό μέσο. Όταν συναντά ένα μη απορροφητικό υλικό (ή ένα υλικό ελάχιστα απορροφητικό, όπως το γυαλί ενός φακού) διατηρείται. Τα παιδιά λοιπόν συνδέουν την παρουσία του φωτός με ένα αισθητό αποτέλεσμα. Γι' αυτά το φως είναι ισχυρό. Όταν χάσει τη δύναμή του παύει να υπάρχει.

Τα παιδιά σπάνια συσχετίζουν αυθόρμητα το χρώμα με το φως. Για τα παιδιά το χρώμα είναι πιθανόν να είναι μια εσωτερική ιδιότητα των αντικειμένων, τελείως ανεξάρτητη από το φως.

Τα περισσότερα παιδιά των 10 – 11 ετών δεν έχουν ιδέα για την ανάκλαση του φωτός από καθρέφτη (Driver R. κ. άλ., 1993). Αυτό αντιστοιχεί στο γεγονός ότι δεν κατέχουν την έννοια «φως – οντότητα στο χώρο». Αντίθετα η πλειονότητα των παιδιών 13 – 14 ετών εκφράζει την ιδέα ότι ο καθρέφτης ανακλά το φως, επομένως αντιλαμβάνονται το φως ως μια οντότητα που εντοπίζεται στο χώρο.

Τα παιδιά κατατάσσουν το ηλεκτρικό φως και το φως του ήλιου σε δύο τελείως διακεκριμένες κατηγορίες. Μερικές φορές μόνο το ηλεκτρικό φως συνδέεται αυθόρμητα από το παιδί με τη λέξη φως. Στα 13 – 14 χρόνια τα παιδιά βλέπουν μια σχέση αιτίου και αποτελέσματος ανάμεσα στον ήλιο και την ημέρα, αλλά αυτή η σχέση παραμένει μάλλον θολή.

Υπάρχει μια ισχυρή σύνδεση μεταξύ φωτός και όρασης για τα περισσότερα παιδιά. Δύο κυρίαρχες ιδέες υπάρχουν στα παιδιά: το φως φωτίζει τα αντικείμενα και το φως επιτρέπει την όραση. Με το να μην αναγνωρίζουν το φως παρά μόνο όταν προκαλεί έντονα αποτελέσματα, τα παιδιά δε σκέφτονται ότι τα μάτια τους μπορεί να είναι δέκτες φωτός. Θεωρούν ότι το φως είναι αναγκαίο για να δούμε ένα αντικείμενο, αλλά δε φτάνει απαραίτητα στο μάτι. Σε άλλες περιπτώσεις εμφανίζεται ένα μοντέλο όρασης στο οποίο το μάτι δεν είναι δέκτης αλλά αντίθετα είναι

ενεργός παράγων<sup>23</sup>. Η καθημερινή γλώσσα, που ίσως αντανακλά και ενισχύει τους συνηθισμένους τρόπους σκέψης, αποδίδει την ίδια ιδέα. Για τα παιδιά η κίνηση που αρχίζει από τα μάτια προς το αντικείμενο παραμένει αφηρημένη. Τα περισσότερα παιδιά δε σκέφτονται ότι υπάρχει κάτι ενδιάμεσο, με οποιαδήποτε έννοια, μεταξύ του ματιού και του αντικειμένου. Επίσης σε μερικά παιδιά επικρατεί η άποψη ότι το φως έρχεται στο μάτι και μετά πάει στο αντικείμενο (Crookes & Goldby, 1984).

Ένα πιθανό εμπόδιο για να αναπτύξουν τα παιδιά μία επιστημονική κατανόηση, ιδιαίτερα για ετερόφωτα, αδιαφανή αντικείμενα στην επιφάνεια των οποίων παρατηρούνται ασθενείς φωτεινές κηλίδες, είναι η αναγνώριση ότι το αντικείμενο αντανακλά το φως. Η εξήγηση την οποία δίνουν οι Piaget & Garcia (1971) στο πρόβλημα ότι το φως εντοπίζεται στις φωτεινές πηγές ή στις μεγάλης έντασης κηλίδες φωτός σχετίζεται με τη διαπίστωση της έλλειψης νοητικής συγκρότησης μεταβατικού συλλογισμού, με βάση τον οποίο αναγνωρίζονται οι διαδικασίες μετάβασης των φυσικών οντοτήτων από τις πηγές στις οποίες παράγονται προς τις περιοχές στις οποίες καταλήγουν (Ραβάνης Κ., 1999). Όσο μικρότερα είναι τα παιδιά τόσο ισχυρότερο καταγράφεται στη σκέψη τους ένα εμπόδιο. Πρόκειται για την, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, προσκόλληση στην άμεση σύνδεση της έννοιας «φως» με τα φυσικά ή τεχνητά αντικείμενα στα οποία παράγεται το φως, δηλαδή με τις φωτεινές πηγές. Το πρόβλημα αυτό ενισχύεται πολύ και από τη χρήση της λέξης «φως» στην καθημερινή γλώσσα, λέξη η οποία συνήθως παραπέμπει στις φωτεινές πηγές. Ακόμα η Guesne το 1985 αλλά και άλλοι, υπογράμμισαν τον επηρεασμό των μεταφορών που χρησιμοποιούνται στη γλώσσα και βοηθούν να ενισχύεται η ιδέα της όρασης σαν μια προοδευτική διαδικασία στην οποία κάτι προέρχεται από το μάτι.

Σε άλλη έρευνα για το φως (Osborne J. κ. άλ., 1990), που έγινε σε 5 σχολεία της Αγγλίας, όλα της περιοχής του Λονδίνου, σε μαθητές 7 – 11 ετών εντοπίστηκαν ενδιαφέροντα στοιχεία για τις προϋπάρχουσες ιδέες των παιδιών. Μια μεγάλη ποικιλία φωτεινών πηγών σχεδιάστηκε από τα παιδιά, όταν τους ζητήθηκε. Το πλήθος των πηγών που παρουσιάστηκε ήταν ανεξάρτητο από την ηλικία των παιδιών. Μάλιστα στα σχέδια ήταν επικρατέστερες οι πρωταρχικές πηγές φωτός και όχι τόσο οι δευτερεύουσες. Είναι όμως πιθανό η χρήση του ρήματος «εκπέμπει» στις ερωτήσεις που δόθηκαν στα παιδιά να εστίασε τη σκέψη τους στις πρωταρχικές πηγές. Τα δεδομένα της έρευνας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ιδέα των φωτεινών πηγών και η αντίληψη ενός μεγάλου εύρους

---

<sup>23</sup> Ανάλογη άποψη είχαμε συναντήσει στους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους, κατά την αναφορά μας στις απόψεις τους, στη σελίδα 1.

αυτών είναι αποκτημένη από τα παιδιά στην ηλικία των 7 έως 8 ετών, ίσως και νωρίτερα. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη γιατί η κατανόηση των παιδιών βασίζεται στις αισθήσεις και η καθημερινή ζωή τους παρέχει την παρατήρηση ενός μεγάλου εύρους πηγών φωτός.

Μία άλλη αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι η τάση των παιδιών να συμπεριλαμβάνουν απλές γραμμές (ακτίνες) σε πολλές από τις πηγές, ιδιαίτερα στον ήλιο και στις λάμπες (Osborne J. κ. άλ., 1990). Ο λόγος για αυτή την παρουσίαση δεν είναι ξεκάθαρος. Μία πιθανή εξήγηση μπορεί να στηρίζεται στο γεγονός ότι το μάτι «βλέπει» γραμμές να προέρχονται από πολλές σημειακές πηγές, ιδιαίτερα σε υγρές νύχτες, ή από λάμπες με καθαρό εξωτερικό γυαλί λόγω διάθλασης του φωτός.

Η ίδια έρευνα έδειξε ότι η πιο συνηθισμένη φωτεινή πηγή που αναφέρεται από τα παιδιά ήταν ο ήλιος. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με τη σύνδεση που έχουν κάνει τα παιδιά ανάμεσα στον ήλιο και στο θέμα της ανάπτυξης ή στην επικρατούσα άποψή τους ότι ο ήλιος είναι η κυριότερη πηγή φωτός. Εκεί που τα παιδιά παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες είναι να συλλάβουν το μηχανισμό σχετικά με το πώς ταξιδεύει το φως και το πώς φτάνει στη γη. Ακόμα κανένα παιδί δε βρέθηκε να κατανοεί την αφηρημένη έννοια του φωτός ως ακτίνα, σ' αυτές τις ηλικίες.

Διαφάνηκε ότι ένας αριθμός παιδιών ήταν ικανά να δείχνουν μια παρουσίαση του φωτός η οποία ήταν κάτι περισσότερο από μια απλή παρουσίαση και ότι ο αριθμός αυτός αυξανόταν με την ηλικία. Βέβαια η παρουσίαση του φωτός ήταν κάτι δύσκολο για τα παιδιά, ιδιαίτερα για αυτά των μικρών ηλικιών. Η πλειονότητα αυτών δεν μπόρεσε να παρουσιάσει το φως. Εκείνα τα παιδιά που έδωσαν μια παρουσίαση του φωτός συνήθως το αναπαριστούσαν σαν μια γραμμή. Ένα άλλο συνηθισμένο χαρακτηριστικό των παρουσιάσεων του φωτός, από τα παιδιά, ήταν η τάση τους να δείχνουν μία «σταγόνα» φωτός στον καθρέφτη ή στο φακό. Ακόμα τα παιδιά έτειναν να χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό ακτίνων και σταγόνων (“beam” and “blob”) και έτσι να παράγουν μία διπλή παρουσίαση.

Συνοψίζοντας μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα παιδιά έχουν γνώση μιας μεγάλης ποικιλίας φωτεινών πηγών. Μάλιστα μιλούν για πρωταρχικές πηγές φωτός σχεδόν τέσσερις φορές πιο συχνά από ότι για δευτερεύουσες. Μόνο ένας μικρός αριθμός παιδιών μπορούσε να δώσει μια εξήγηση που προσέγγιζε την επιστημονική κατανόηση σχετικά με τις δευτερεύουσες πηγές. Τα δεδομένα αυτά βελτιώνονται με την ηλικία. Το φως γύρω από τις πηγές παρουσιάζοταν από τα παιδιά με κοντές γραμμές. Όμως η χρήση εκτεταμένων γραμμών όπως αυτές που συνδέουν πηγή και αντικείμενο ή την πηγή και τα μάτια ήταν περιορισμένη. Όσο αυξανόταν η ηλικία η παρουσίαση του φωτός από τα παιδιά βελτιωνόταν, ως προς τη σταδιακή προσέγγιση προς την επιστημονική άποψη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

*«Η ερευνητική προσέγγιση της διδακτικής του φωτός»*

### 3.1 Η αφορμή – πρόκληση

Μετά από τη βιβλιογραφική αναδίφηση και μελέτη, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της οποίας προηγήθηκε, ακολουθεί η παράθεση των στοιχείων της αντίστοιχης έρευνας που πραγματοποιήθηκε.

Η πραγματοποίηση της έρευνας αλλά και ολόκληρης της μελέτης αυτής που σχετίζεται με το φως και τις ιδιότητές του, έχει ως αφορμή τη διδακτική εμπειρία του δασκάλου – ερευνητή από το μάθημα της Φυσικής σε Ε΄ και Στ΄ τάξη Δημοτικού σχολείου. Με τη διάδοση του φωτός ασχολιόταν το μέχρι πρότινος<sup>24</sup> εν ενεργεία σχολικό βιβλίο. Πιο συγκεκριμένα αυτή η θεματική ενότητα βρισκόταν στο πρώτο μέρος του βιβλίου Φυσικών της Ε΄ τάξης της Δημοτικής Εκπαίδευσης. Στο αντίστοιχο κεφάλαιο με τον τίτλο «*Διάδοση και ταχύτητα του φωτός*», το εν λόγω βιβλίο αναφέρει την ακόλουθη πρόταση: «*Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα*». Αυτή η παραδοχή εμφανίζεται στα παιδιά ως συμπερασματικό επακόλουθο συγκεκριμένων παρατηρήσεων και φαίνεται να κατέχει θέση αξιώματος. Το σημείο το οποίο αφόρμησε τον προκείμενο προβληματισμό και οδήγησε στην πραγματοποίηση ολόκληρης αυτής της εργασίας, είναι η έλλειψη ελαστικότητας στην παρουσίαση της παραπάνω παραδοχής και κυρίως η ανυπαρξία οποιασδήποτε αναφοράς, από το συγκεκριμένο συγγραφικό έργο, στις αδυναμίες μελέτης ορισμένων φαινομένων της Οπτικής από τη Γεωμετρική Οπτική, στα πλαίσια της οποίας κινείται αυτό<sup>25</sup>.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για το ξεκίνημα αυτής της προσπάθειας έπαιξαν τα ερεθίσματα τα οποία αποκόμισα κατά τη συνεργασία μου με ένα τμήμα Στ΄ τάξης, 31 παιδιών, σε προηγούμενο σχολικό έτος, όταν

---

<sup>24</sup> Αυτό το βιβλίο διδασκόταν για πολλά χρόνια μέχρι και το σχολικό έτος 2000 – 2001. Όταν πραγματοποιήθηκε η παρούσα έρευνα οι μαθητές που συμμετείχαν σ΄ αυτήν, κατά τη φοίτησή τους στην Ε΄ Δημοτικού, είχαν διδαχθεί Φυσική απ΄ αυτό το βιβλίο.

<sup>25</sup> Οφείλω να αναφέρω ότι και το βιβλίο Φυσικής της Β΄ Γυμνασίου, μέχρι πρόσφατα, στο αντίστοιχο κεφάλαιο, με τίτλο «*Διάδοση του φωτός*», ανέφερε την εξής παραδοχή: «*Το φως μέσα σε ένα ομογενές, διαφανές μέσο διαδίδεται ευθύγραμμα*». Παρατηρούμε ότι εδώ υπεισέρχονται δύο επιπλέον προσδιορισμοί για το οπτικό μέσο (ομογενές και διαφανές). Είναι προφανές ότι η ηλικία των παιδιών θεωρείται πιο κατάλληλη για να αποφύγουμε την υπερβολική απλούστευση και να παροτρύνουμε τα παιδιά να εμβαθύνουν λίγο περισσότερο στις παραδοχές της Γεωμετρικής Οπτικής. Στο εν ενεργεία βιβλίο Φυσικής της Β΄ Γυμνασίου έχουν γίνει κάποιες μικρές αλλαγές. Και αυτό συνεχίζει να αναφέρει ότι η τροχιά του φωτός ορίζεται ως ευθεία γραμμή (το φως κινείται ευθύγραμμα), αν το φως δεν αλλάζει μέσο διάδοσης και αυτό το μέσο διάδοσης είναι ομοιογενές υλικό. Βέβαια πρέπει να αναφέρουμε ότι παρουσιάζεται ως αποδεκτή η άποψη ότι το φως φέρει ενέργεια και αναφέρεται η έκφραση της ακτινοβολίας του φωτός. Αξιοσημείωτο είναι ότι για πρώτη φορά διευκρινίζεται ότι οι ακτίνες δεν είναι φως αλλά γραμμές που απεικονίζουν την πορεία διάδοσης του φωτός. Και πάλι όμως οι γνώσεις που παρέχονται είναι συγκεκριμένες και δε δίδονται οι απαραίτητες διευκρινίσεις για τη Γεωμετρική Οπτική. Τέλος και σε βιβλίο Φυσικής του Αλκίνοου Μάζη, που χρησιμοποιούνταν προ ετών στο Λύκειο, η αναφορά για το συγκεκριμένο σημείο είναι: «*Μέσα σε ομογενές και ισότροπο μέσο το φως διαδίδεται ευθύγραμμα*». Ούτε και εδώ δεν υπάρχει ξεκάθαρη αντιμετώπιση και ενδελεχής ανάλυση του θέματος που ανακύπτει. Απλά διευκρινίζεται παρακάτω ότι ο τρόπος μελέτης των οπτικών φαινομένων, χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη μας τη φύση του φωτός, αποτελεί τη Γεωμετρική Οπτική.

προσπαθήσαμε από κοινού να μελετήσουμε το φως με έναν πιο ευρύ ορίζοντα σκέψης. Τα παιδιά πέρα από την προθυμία που επέδειξαν για να μελετήσουν και να κατανοήσουν το φως, όταν παρακινήθηκαν να το διερευνήσουν, με εξέπληξαν με τη διάθεσή τους να το αντιμετωπίσουν με ένα πιο ανοικτό πνεύμα και όχι μόνο μέσα από τα στενά περιθώρια που τους παρέχει το σχολικό τους εγχειρίδιο. Μαθητής αυτού του τμήματος, σε αντίστοιχη συζήτηση, διατύπωσε την παρατήρηση ότι είναι λογική και αποδεκτή η άποψη ότι το φως μπορεί να αντιμετωπιστεί ως κύμα. Ο συλλογισμός που έκανε για να χαρακτηρίσει την άποψη αυτή ως λογικά παραδεκτή είναι ο εξής : *«Εάν ανάψουμε μία λάμπα (όπου σε όλα τα σημεία της, γύρω από την εστία φωτός, υπάρχει τζάμι) στη μέση ενός σκοτεινού δωματίου, αυτό θα φωτιστεί τριγύρω σε κάθε γωνιά του και όχι σ' ένα μόνο μέρος του. Εμείς έχουμε μάθει ότι η διαταραχή που δημιουργείται σ' ένα σημείο, δηλαδή το κύμα, διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις<sup>26</sup>. Συνεπώς και το φως είναι κύμα, αφού διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις του σκοτεινού δωματίου»*. Ο παραπάνω συλλογισμός είναι αποδεκτός αλλά όχι επαρκής. Σύμφωνα με τη σωματιδιακή θεωρία ένα άτομο, όταν διεγερθεί, κατά την επαναποκατάστασή του εκπέμπει φωτόνιο προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Τα παιδιά του Δημοτικού όμως δεν έχουν τη δυνατότητα να επεκτείνουν το συλλογισμό τους προς αυτήν την κατεύθυνση, γιατί τα σχολικά εγχειρίδια δεν αποτολμούν ούτε την παραμικρή αναφορά για το πιο μοντέρνο και σύγχρονο μοντέλο μελέτης του φωτός, την Κβαντική Οπτική.

Η σκέψη αυτή του συγκεκριμένου μαθητή, η οποία ομολογουμένως μου προκάλεσε ιδιαίτερη εντύπωση, αλλά και οι αντιδράσεις ολόκληρου του τμήματος, ενδυνάμωσαν μέσα μου ακόμη περισσότερο την άποψη ότι τα παιδιά δεν αποδέχονται απλά, αλλά προβληματίζονται και προσπαθούν να εμβαθύνουν σε φαινόμενα όπως είναι αυτά της καθημερινής τους ζωής. Οι συνειρμικοί συλλογισμοί στα μεγαλύτερα παιδιά του Δημοτικού Σχολείου έχουν ήδη αρχίσει ν' αναπτύσσονται. Νομίζω λοιπόν ότι τα παιδιά αυτά πρέπει να πολιορκούνται από τα κατάλληλα ερεθίσματα και να έρχονται τουλάχιστον σε μια πρώτη επαφή με πιο εξειδικευμένες γνώσεις στους διάφορους τομείς. Έτσι λοιπόν, απ' αυτήν την αφορμή – πρόκληση, ξεκίνησε η προσπάθεια η οποία απέδωσε αυτήν την εργασία.

---

<sup>26</sup> «Δημιουργία και διάδοση κυμάτων», σελίδα 143, πρώτο μέρος Φυσικών Στ' τάξης.

### 3.2 Περιγραφή της ερευνητικής διαδικασίας

Η συγκεκριμένη έρευνα, η οποία παρουσιάζεται εδώ, διενεργήθηκε το τελευταίο τρίμηνο του σχολικού έτους 1999 – 2000 (Απρίλιο και Μάιο), σε παιδιά Δημοτικού σχολείου, Στ' τάξης. Η μεγάλη αυτή έρευνα ήταν μια πειραματική έρευνα.

Αρχικά αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το πειραματικό σχέδιο μοναδικής ομάδας με χρησιμοποίηση προελέγχου και μετελέγχου (Βάμβουκας Μ., 1998). Το σχέδιο αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ψυχοπαιδαγωγική έρευνα, αν και πολλές παρασιτικές μεταβλητές μένουν ανεξέλεγκτες και είναι δυνατόν να επηρεάσουν την εγκυρότητα του πειραματισμού. Σε ένα πρώτο στάδιο, με τη χρήση ερευνητικού εργαλείου, προσδιορίστηκαν και αξιολογήθηκαν οι απόψεις που είχαν αναπτύξει οι μαθητές σε σχέση με το φως, τις ιδιότητές του και ιδιαίτερα τη διάδοσή του. Στη συνέχεια εισήχθη η ανεξάρτητη μεταβλητή που ήταν η πραγματοποίηση μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας<sup>27</sup>, με την παρουσίαση ενός πειράματος, αρχικά επίδειξης προς τα παιδιά και ακολούθως πραγματοποίησής του και από τα ίδια τα παιδιά. Τέλος με τη χρήση του ίδιου ερευνητικού εργαλείου αποτιμώνται ξανά οι αντίστοιχες απόψεις των μαθητών για το φως.

Σε κατοπινό χρόνο αποφασίστηκε να συνδυαστεί το παραπάνω σχέδιο πειραματικής έρευνας με το ημιπειραματικό σχέδιο με προέλεγχο σε ισοδύναμες φυσικές ομάδες (Βάμβουκας Μ., 1998). Έτσι θα διαφαινόταν καλύτερα η αποτελεσματικότητα της χρήσης πειράματος κατά τη διδακτική πράξη, στην ανάδειξη της γνωστικής σύγκρουσης που επίκειται να αναπτύξουν οι μαθητές σε σχέση με προϋπάρχουσες ιδέες τους, που είναι ασύμβατες με τις επιστημονικές αντιλήψεις και στην επερχόμενη εννοιολογική αλλαγή. Για το σκοπό αυτό ελήφθησαν ζεύγη τμημάτων Στ' τάξης από διάφορα σχολεία, τα οποία θεωρούνται ως φυσικώς ισοδύναμα. Φυσικά προηγήθηκε ένας προέλεγχος για καθένα ζευγάρι τμημάτων κάθε σχολείου, σε συνεργασία με το διευθυντή του σχολείου, τους δασκάλους των τμημάτων, αλλά και άλλους παλαιότερους δασκάλους του σχολείου και διαπιστώθηκε ότι ο χωρισμός των μαθητών στα δύο τμήματα ήταν εντελώς τυχαίος (με βάση την αλφαβητική σειρά των επιθέτων), χωρίς την ύπαρξη καμίας συστηματικής παρέμβασης. Επιβεβαιώθηκε ότι σε όλα τα τμήματα που χρησιμοποιήθηκαν δεν είχε γίνει πρωτύτερα καμία ιδιαίτερη διδασκαλία ούτε καμία άλλη παρουσίαση – ενημέρωση σε σχέση με το φως, εκτός από τις καθιερωμένες διδασκαλίες που προβλέπονται από το αναλυτικό και το

---

<sup>27</sup> Η αναλυτική παρουσίασή της θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.



ωρολόγιο πρόγραμμα και που προσεγγίζουν – όπως προέκυψε από συζήτηση με τους διδάσκοντες – στο παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας. Στα παιδιά του ενός τμήματος από κάθε σχολείο (η επιλογή έγινε τυχαία με τη διαδικασία της κλήρωσης, παρουσία των παιδιών), που αποτελούν τη μία ομάδα (ομάδα ελέγχου) έγινε παρέμβαση μόνο με θεωρητική διδασκαλία, ενώ στην άλλη ομάδα από τα παιδιά των υπόλοιπων τμημάτων (πειραματική ομάδα) έγινε παρέμβαση με θεωρητική διδασκαλία και πραγματοποίηση πειράματος. Έτσι θα γινόταν περισσότερο εμφανές εάν ήταν πιο αποτελεσματική ή όχι η διδασκαλία με χρήση πειράματος, στην εννοιολογική αλλαγή που πιθανών θα επέλθει στους μαθητές.

### **3.3 Διατύπωση των υποθέσεων**

Ποικίλες είναι οι υποθέσεις που επιχειρήθηκε να διερευνηθούν μ' αυτήν την έρευνα. Από τη μια πλευρά θελήσαμε να ελέγξουμε, αν διαφοροποιείται η αντιμετώπιση φυσικών φαινομένων από τους μαθητές, με την πραγματοποίηση σύγχρονης, εναλλακτικής διδασκαλίας όπου προσεγγίζει τα φαινόμενα με τη χρήση διαφόρων μοντέλων, επιστημονικά κατοχυρωμένων και όχι τελεολογικά και εάν αυτός ο τύπος διδασκαλίας επιφέρει μια πιο αποδεκτή εννοιολογική προσέγγιση από την πλευρά των μαθητών και μια νοητική σύλληψη της φύσης περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα. Ακόμα προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε αν η παροχή γνώσεων, λίγο πιο εξειδικευμένων, για φαινόμενα της φύσης, είναι συμβατή με το ψυχονοητικό επίπεδο παιδιών ηλικίας 11 – 12 ετών, δε δημιουργεί ιδιαίτερες νοητικές εμπλοκές σ' αυτά, προάγει περισσότερο επιστημονικές αντιλήψεις, επιφέρει καλύτερη εννοιολογική διερεύνηση από την πλευρά τους, αρκεί βέβαια να δίδονται με ένα σχετικά απλό και κυρίως παραστατικό – πειραματικό τρόπο. Θελήσαμε να δούμε εάν η διάνοιξη ενός ευρύτερου πλαισίου σκέψης δημιουργεί άτομα που τα νοητικά τους σχήματα συγκλίνουν περισσότερο με την επιστημονική γνώση και που έχουν τη δυνατότητα να εντρυφήσουν πιο αποδοτικά σε πρωταρχικές, θεμελιώδεις έννοιες της φύσης όπως αυτή του φωτός. Από την άλλη πλευρά επιχειρήσαμε να διερευνήσουμε αν η χρήση πειραματικών διατάξεων επίδειξης και συμμετοχής των μαθητών σ' αυτές, κατά τη διδασκαλία, επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα στο μαθησιακό επίπεδο των παιδιών με βασική προϋπόθεση την κατανόηση, σε σύγκριση με την αποκλειστικά θεωρητική διδασκαλία. Εδώ είναι χρήσιμο ν' αναφερθεί ότι ο συγγραφέας αυτής της μελέτης, ως ενεργά εμπλεκόμενος με τη διδακτική πράξη, πάντα αναρωτιόταν και συνεχίζει καθημερινά να το κάνει, αν έχει τόσο ως προς το περιεχόμενο όσο και μεθοδολογικά τα σωστά εργαλεία στα χέρια του. Είναι νομίζω φυσικό

επακόλουθο λοιπόν, ήδη από την αρχή της παρουσίασης, αυτής της ερευνητικής δουλειάς, να διαφαίνεται η προσπάθεια να βοηθηθεί ο διδάσκων ώστε να μπορεί να αποφανθεί ότι χειρίζεται ορθά την εκπαιδευτική πράξη τόσο συνολικά όσο και στις επιμέρους συνιστώσες της.

Πιο συγκεκριμένα η έρευνα επικεντρώθηκε στο φως. Μελετήθηκε η εννοιολογική αποτίμηση από την πλευρά των μαθητών ως προς τη σημαντικότητα για τη ζωή διαφόρων πολύ γνωστών πηγών φωτός, ως προς το φυσικό μέγεθος της ενέργειας το οποίο ενσαρκώνει αυτή τη σημαντικότητα για τη ζωή και την ανάπτυξη, ως προς την ικανότητα του φωτός να διαδίδεται στο κενό αλλά και ως προς τα επιστημονικά μοντέλα που περιγράφουν τη διάδοσή του και τα φαινόμενα στη φύση που στηρίζουν τέτοια εναλλακτικά μοντέλα, ως προς τη φύση του φωτός και ως προς τον κλάδο της Φυσικής που λέγεται Οπτική. Όλες αυτές οι εννοιολογικές αποτιμήσεις και προσεγγίσεις από τους μαθητές, που μελετήθηκαν, αποτελούν τις εξαρτημένες μεταβλητές της έρευνάς μας, ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η πραγματοποίηση της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας. Συνάμα μελετήθηκε ο ρόλος που μπορεί να παίξει η χρήση πειράματος επίδειξης και συμμετοχής, κατά τη διδασκαλία, στις παραπάνω εννοιολογικές προσεγγίσεις των μαθητών. Σ' αυτήν την τελευταία περίπτωση οι εννοιολογικές προσεγγίσεις αποτελούν τις εξαρτημένες μεταβλητές και πάλι, ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η χρήση του πειράματος, που λαμβάνει χώρα κατά την πραγματοποίηση της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας. Ουσιαστικά λοιπόν η ανεξάρτητη μεταβλητή, τις επιδράσεις της οποίας μελετάμε στις εξαρτημένες μεταβλητές, είναι μια διαδικασία παρέμβασης, από το δάσκαλο – ερευνητή προς τους μαθητές, η οποία στη μια ομάδα (ομάδα ελέγχου) ενσαρκώνεται με τη μορφή μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, αποκλειστικά θεωρητικής, ενώ στην άλλη ομάδα (πειραματική ομάδα) εμφανίζεται ως ένας συνδυασμός της παραπάνω διδασκαλίας με την ταυτόχρονη πραγματοποίηση ενός πειράματος, αρχικά επίδειξης και ακολούθως συμμετοχής των μαθητών σ' αυτό.

Συμπερασματικά οι ερευνητικές υποθέσεις που θα μελετηθούν σ' αυτήν την εργασία είναι οι παρακάτω:

1. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών ως προς τη σημαντικότητα για τη ζωή γνωστών πηγών φωτός.
2. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική

- προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών ως προς τη σημαντικότητα για τη ζωή γνωστών πηγών φωτός.
3. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών ως προς τον προσδιορισμό ή μη του φυσικού μεγέθους της ενέργειας που είναι υπεύθυνο για τη σημασία του ηλιακού φωτός για τη ζωή και την ανάπτυξη.
  4. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών ως προς τον προσδιορισμό ή μη του φυσικού μεγέθους της ενέργειας που είναι υπεύθυνο για τη σημασία του ηλιακού φωτός για τη ζωή και την ανάπτυξη.
  5. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητα διάδοσης του φωτός στο κενό.
  6. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητα διάδοσης του φωτός στο κενό.
  7. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητά τους να εξηγήσουν τη διάδοση του φωτός με περισσότερους από ένα επιστημονικά αποδεκτούς τρόπους.
  8. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητά τους να εξηγήσουν τη διάδοση του φωτός με περισσότερους από ένα επιστημονικά αποδεκτούς τρόπους.
  9. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητά τους να εξηγήσουν τη διάδοση του φωτός με περισσότερους από ένα επιστημονικά αποδεκτούς τρόπους.

αυτούς, ως προς τη μη καθολική πίστη τους στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός και ως προς την ικανότητά τους να περιγράψουν και να εξηγήσουν ικανοποιητικά, με απλό αλλά διαφορετικό τρόπο και άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με το φως.

10. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς τη μη καθολική πίστη τους στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός και ως προς την ικανότητά τους να περιγράψουν και να εξηγήσουν ικανοποιητικά, με απλό αλλά διαφορετικό τρόπο και άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με το φως.
11. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητά τους να προσδιορίσουν τη φύση του φωτός με επιστημονικά αποδεκτό τρόπο.
12. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήση πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς, ως προς την ικανότητά τους να προσδιορίσουν τη φύση του φωτός με επιστημονικά αποδεκτό τρόπο.
13. Η διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών ως προς τις γνώσεις τους σε σχέση με την Οπτική.
14. Η διαδικασία της παρέμβασης, με το συνδυασμό της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος, επιφέρει περισσότερο συμβατή με τα επιστημονικά πρότυπα εννοιολογική προσέγγιση (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών ως προς τις γνώσεις τους σε σχέση με την Οπτική.
15. Η μία μορφή της παρεμβατικής διαδικασίας, που συνδυάζει τη χρήση πειράματος επίδειξης και συμμετοχής των μαθητών στην πραγματοποίησή του με την παρουσίαση μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας που χρησιμοποιεί μοντέλα προσέγγισης του φωτός, επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα στις εννοιολογικές προσεγγίσεις (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και στη δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς σε σχέση με το φως, τις ιδιότητές του και τη διάδοσή του, που είδαμε ως εξαρτημένες μεταβλητές και στις προηγούμενες υποθέσεις, από την άλλη μορφή

της παρεμβατικής διαδικασίας που είναι η παρουσίαση μιας θεωρητικής, σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας.

### 3.4 Το δείγμα της έρευνας

Ο πληθυσμός της έρευνας αποτελείται από μαθητές Στ' τάξης Δημοτικού σχολείου. Το δείγμα περιλαμβάνει 86 υποκείμενα που προέρχονται από τέσσερα τμήματα (δύο ζεύγη τμημάτων), δύο πολυθεσίων σχολείων. Τα σχολεία αυτά είναι το 8<sup>ο</sup> και το 13<sup>ο</sup> Δημοτικό σχολείο Χανίων, που είναι από τα μεγαλύτερα σχολεία του νομού. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της περιγραφής της ερευνητικής διαδικασίας αρχικά έγινε ένας προέλεγχος των μαθητών, των τμημάτων τού δείγματος, ώστε να διασφαλιστεί η φυσική ισοδυναμία των ομάδων, αλλά και η απουσία κάποιας παρασιτικής μεταβλητής (σεμιναριακού τύπου παρουσίαση, εμφάνιση οπτικού ή ιδιαίτερου πειραματικού υλικού και κάθε μορφής άλλη ενημέρωση στους μαθητές, σε σχέση με το φως, εκτός από την καθιερωμένη στα πλαίσια της συνήθους διδακτικής πράξης). Έτσι γίνεται προσπάθεια να διασφαλιστεί, όσο είναι δυνατόν, το τυχαίο της συγκρότησης του δείγματος αλλά και η αντιπροσωπευτικότητα του πληθυσμού, χωρίς να μπορούν απόλυτα αυτά να ελεγχθούν.

Η αρχική επιθυμία μου ήταν το κάθε τμήμα να περιλαμβάνει 25 άτομα, ώστε το συνολικό μέγεθος του δείγματος να φτάνει τα 100 άτομα. Όπως ανέφερα και πρωτύτερα η έρευνα απαιτούσε ζεύγη τμημάτων από διάφορα σχολεία, έτσι ώστε να σχηματιστούν δύο ισοδύναμες φυσικές ομάδες. Όμως ακόμα και σε αυτά τα μεγάλα σχολεία του νομού το κάθε τμήμα Στ' τάξης δεν έφτανε στον αριθμό των 25 ατόμων.

Για τη διεξαγωγή της έρευνας επιλέχθηκαν μαθητές που τελειώνουν την Στ' τάξη (η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο τέλος σχεδόν του σχολικού έτους). Αυτό έγινε συνειδητά, γιατί οι μαθητές αυτοί είχαν διδαχθεί για δύο σχολικά έτη το μάθημα των Φυσικών, είχαν σχηματίσει μία πρώτη, συνολική εικόνα για το περιεχόμενό του, είχαν επανειλημμένα ασχοληθεί με τη διερεύνηση και την κατανόηση εννοιών και φαινομένων του μαθήματος και είχαν αξιολογηθεί πολλές φορές σε αυτό. Έτσι είναι πολύ πιθανό να είχαν αναπτύξει μια σταθερή στάση και σχέση με το μάθημα αυτό. Ακόμα θα μπορούσε να διαφανεί εάν πιθανές επιρροές της διδασκαλίας σε σχέση με το φως είχαν αποτυπωθεί στις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών γι' αυτό.

Διάφοροι λόγοι, που κυρίως έχουν να κάνουν με την πραγματοποίηση των διδασκαλιών, επέβαλαν το συγκεκριμένο γεωγραφικό εντοπισμό διεξαγωγής της έρευνας.

### 3.5 Το όργανο συλλογής των δεδομένων

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε, στην έρευνα που παρουσιάζεται εδώ, είναι το ερωτηματολόγιο<sup>28</sup>. Με το ίδιο ερωτηματολόγιο συλλέχθηκαν τα δεδομένα τόσο κατά την αρχική εννοιολογική αποτίμηση των ιδεών των μαθητών, πριν από την εισαγωγή της ανεξάρτητης μεταβλητής, όσο και κατά το τέλος της ερευνητικής διαδικασίας, αφού είχε πραγματοποιηθεί η διδασκαλία με ή χωρίς τη χρήση πειράματος, ανάλογα με την ομάδα (πειραματική ή μαρτυρίας) προς την οποία απευθυνόταν.

Οι τέσσερις πρώτες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου αναφέρονται σε προσωπικά στοιχεία των μαθητών, όπως είναι το φύλο και ο βαθμός προόδου που πήραν στο μάθημα των Φυσικών κατά το 2<sup>ο</sup> τρίμηνο της σχολικής χρονιάς, αλλά και σε προσωπικές απόψεις που έχουν για το μάθημα αυτό. Η 1<sup>η</sup> ερώτηση αναφέρεται στην κατηγορική μεταβλητή φύλο, ενώ η ερώτηση 4 αναφέρεται στην ποσοτική μεταβλητή του βαθμού προόδου. Οι ερωτήσεις 2 και 3, που μελετούν τη συμπάθεια που έχουν αναπτύξει οι μαθητές προς το μάθημα των Φυσικών και το βαθμό δυσκολίας που συναντούν σ' αυτό, παρουσιάζονται με ποιοτική διαβάθμιση απαντήσεων (ποιοτικές μεταβλητές). Έτσι μπορούμε να σχηματίσουμε μία γενική εικόνα για τους μαθητές του δείγματος που έλαβαν μέρος σ' αυτήν την έρευνα.

Οι επόμενες εννιά ερωτήσεις είναι οι ειδικές ερωτήσεις του ερευνητικού αντικειμένου. Αυτές αποτιμούν τις απόψεις (ιδέες, κρίσεις, ίσως και γνώσεις) των μαθητών για τις μεταβλητές που μελετώνται. Η ερώτηση 5 προσπαθεί να ανακαλύψει πόσο σημαντική θεωρείται από τους μαθητές καθεμία από ορισμένες, συνηθισμένες και γνωστές πηγές φωτός για τη ζωή του ανθρώπου. Η ερώτηση 6 μελετά αν οι μαθητές γνωρίζουν ότι το φως δε χρειάζεται κάποιο υλικό μέσο να παρεμβάλλεται μεταξύ δύο σημείων για να διαδοθεί (εάν το φως διαδίδεται στο κενό). Η ερώτηση 7 προσπαθεί να αποτιμήσει δημοφιλείς τρόπους στη σκέψη των μαθητών, οι οποίοι θεωρούνται ικανοί απ' αυτούς για να περιγράψουν τη διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη. Η ερώτηση 8, η οποία δίδεται σε δύο βήματα, προσπαθεί να εκμαιεύσει αν οι μαθητές έχουν συνειδητοποιήσει ότι η ενέργεια είναι το φυσικό μέγεθος που μεταφέρεται με το φως και τη θερμότητα, από τον ήλιο στη γη και που είναι τόσο απαραίτητη για τη ζωή. Ανάλογο στόχο έχει και η επόμενη ερώτηση, η οποία εξειδικεύεται στη σημασία που έχει η ενέργεια που μεταφέρει το φως για τη ζωή και την ανάπτυξη των φυτών. Ταυτόχρονα,

---

<sup>28</sup> Ολόκληρο το ερωτηματολόγιο παρουσιάζεται στο παράρτημα Ι.

μ' αυτήν την ερώτηση, έτσι όπως έχει διατυπωθεί, γίνεται φανερό εάν τα παιδιά έχουν ξεκαθαρίσει στη σκέψη τους ότι τα φυτά παίρνουν ενέργεια από το φως του ήλιου, την οποία χρησιμοποιούν για να φτιάξουν μόνα τους την τροφή τους, που είναι γλυκόζη. Αυτή η διερεύνηση βέβαια δεν ανήκει στους κύριους στόχους της παρούσας έρευνας, αλλά είναι ένα θέμα που συχνά εμφανίζει λανθασμένες ιδέες από την πλευρά των μαθητών και που σχετίζεται έμμεσα με τη σημασία του φωτός. Η ερώτηση 10 (παρουσιάζεται σε δύο βήματα<sup>29</sup>) προσπαθεί να αποκαλύψει την ιδέα την οποία έχουν σχηματίσει οι μαθητές για το τι είναι φως. Και οι ερωτήσεις 11 και 12 δίδονται σε δύο βήματα. Προσπαθούν να προσδιορίσουν αν οι μαθητές έχουν εμπειρίες – αντιλήψεις, προϋπάρχουσες ιδέες – απόψεις, σχετικά με άλλους τρόπους – μοντέλα διάδοσης του φωτός (εκτός από την ευθύγραμμη διάδοση) ή σχετικά με φαινόμενα που στηρίζουν την ύπαρξη άλλων τέτοιων μοντέλων. Η τελευταία ερώτηση διερευνά αν οι μαθητές γνωρίζουν τι μελετά αυτός ο τομέας της Φυσικής που λέγεται Οπτική και σε ποιους κλάδους διαιρείται.

Οι περισσότερες από τις ειδικές ερωτήσεις του δευτέρου μέρους του ερωτηματολογίου, παρουσιάζονται με τη βοήθεια εικόνων που παίζουν το ρόλο ερεθισμάτων διέγερσης της σκέψης των μαθητών. Οι εικόνες αυτές προσπαθούν να αποτυπώσουν με παραστατικό τρόπο αυτά που διατυπώνονται στις ερωτήσεις. Έτσι ανακαλούνται ευκολότερα στο μυαλό των μαθητών σχετικές εμπειρίες που έχουν από τη ζωή τους και η σκέψη τους καθοδηγείται ώστε να αποτυπωθεί στην απάντησή τους η σχετική προϋπάρχουσα ιδέα που έχουν αναπτύξει για το ζητούμενο της ερώτησης. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι τα οπτικά ερεθίσματα είναι αρκετά πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα λεκτικά – ακουστικά.

Όλες οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου, εκτός από την 8β, τη 10β, την 11β, και τη 12β είναι κλειστές ερωτήσεις. Για το δεύτερο μέρος της ερώτησης 10, ήδη στην υποσημείωση 18, έχει διευκρινιστεί για ποιο σκοπό υπάρχει ως ανοικτού τύπου ερώτηση. Οι υπόλοιπες τρεις ανοικτές ερωτήσεις, που αναφέρθηκαν παραπάνω, σκοπό έχουν να δώσουν τη δυνατότητα στους μαθητές να εκφράσουν και να διευκρινίσουν περισσότερο τις σκέψεις τους, γι' αυτό που τους ζητείται ήδη από το πρώτο μέρος της κάθε ερώτησης. Είναι γνωστό ότι οι ανοικτές ερωτήσεις αφήνουν στον ερωτώμενο πλήρη ελευθερία να εκφραστεί, οργανώνοντας την απάντησή του όπως εκείνος θέλει τόσο από άποψη μορφής όσο και από άποψη περιεχομένου (Βάμβουκας Μ., 1998). Όμως εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι και σε πολλές από τις κλειστές ερωτήσεις του ερωτηματολογίου υπάρχει και μία κατηγορία απάντησης

---

<sup>29</sup> Το δεύτερο μέρος της ερώτησης σκοπό έχει να διερευνήσει κατά πόσον η απάντηση την οποία επέλεξαν οι μαθητές στο πρώτο μέρος της ερώτησης συνοδεύεται από την αυτοπεποίθησή τους προς αυτήν ή από αβεβαιότητα.

«Κάτι άλλο, τι;», ώστε να δίδεται η δυνατότητα στους μαθητές να εκφράσουν τυχόν δικές τους ιδέες που δεν καταγράφηκαν στις ήδη υπάρχουσες κατηγορίες των απαντήσεων. Στις περισσότερες ερωτήσεις του ειδικού μέρους (5, 6, 7, 8α, 9, 10α, 11α) ακολουθείται μια ποιοτική διαβάθμιση για κάθε κατηγορία απάντησης με την προσθήκη του «Δεν ξέρω», ώστε να σχηματίζεται μια πενταβάθμια κλίμακα. Έτσι σε κάθε μια από αυτές τις ερωτήσεις έχουμε κατηγορικές μεταβλητές. Στην ερώτηση 12α έχουμε κατηγορική μεταβλητή διχοτομικού χαρακτήρα. Τέλος η 13 ερώτηση είναι κλειστή ερώτηση κατηγορικής μεταβλητής.

Είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι πριν από τη δημιουργία του τελικού ερωτηματολογίου είχε προηγηθεί πιλοτική δοκιμασία, σε μαθητές Στ' Δημοτικού. Αυτή είχε πραγματοποιηθεί πριν από ένα περίπου χρόνο με ερωτηματολόγιο ανοικτών ερωτήσεων, σε ένα δείγμα 100 περίπου παιδιών, από διάφορα σχολεία των Χανίων. Οι απαντήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις κλειστού τύπου ερωτήσεις, στο τελικό ερωτηματολόγιο, είναι οι πιο δημοφιλείς απαντήσεις που δόθηκαν από τους μαθητές σ' αυτό το πρωταρχικό στάδιο. Τα αποτελέσματά της πιλοτικής δοκιμασίας προσέφεραν πολύτιμη βοήθεια στη δόμησή του, ενώ στην τελική μορφή, που έλαβε το όργανο συλλογής των δεδομένων, συνέβαλαν καθοριστικά με τη σπουδαία βοήθειά τους δύο καθηγητές του Παιδαγωγικού τμήματος Πανεπιστημίου Κρήτης, ο κ. Ν. Ανδρεαδάκης και ο κ. Δ. Πλουμπίδης.

### **3.6 Η διαδικασία της παρέμβασης (η ανεξάρτητη μεταβλητή)**

Το δεύτερο στάδιο της έρευνάς μας είναι η φάση της παρέμβασης προς τους μαθητές. Ήδη από το κεφάλαιο της διατύπωσης των υποθέσεων είδαμε ότι αυτή η φάση πραγματοποιείται με δύο τρόπους, ανάλογα με την ομάδα των μαθητών προς την οποία απευθύνεται (ελέγχου ή πειραματική). Ο ένας τρόπος είναι η πραγματοποίηση μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας που χρησιμοποιεί μοντέλα προσέγγισης για να περιγράψει το φως, ενώ ο άλλος τρόπος είναι η συνδυασμένη παρουσίαση της παραπάνω διδασκαλίας με τη χρήση πειράματος επίδειξης και συμμετοχής των μαθητών σ' αυτό.

Ο κύριος σκοπός της διαδικασίας της παρέμβασης είναι να προκαλέσει και να ενθαρρύνει τους μαθητές ώστε να ελέγξουν τις προϋπάρχουσες ιδέες τους. Με τον έλεγχο αυτό ή θα επιβεβαιώσουν την υπάρχουσα γνώση τους (εάν συμβαδίζει με τα επιστημονικώς αποδεκτά) ή, σε αντίθετη περίπτωση, θα βιώσουν μία γνωστική σύγκρουση. Εάν οι μαθητές, με τον έλεγχο αυτό, οδηγηθούν σε αδιέξοδο είναι πιθανόν να ωθηθούν σε μια εννοιολογική αλλαγή.



Η διαδικασία της παρέμβασης αλλά και ολόκληρη η έρευνά μας ενστερνίζεται το διδακτικό μοντέλο της εποικοδομητικής προσέγγισης με τις φάσεις του. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθείται η πορεία των εξής φάσεων: η *φάση του προσανατολισμού*, της *ανάδειξης των ιδεών των μαθητών*, της *αναδόμησης των ιδεών*, της *εφαρμογής των νέων ιδεών* και της *ανασκόπησης* (Driver R. κ. άλ., 2000).

Κατά τη *φάση του προσανατολισμού*, με την έναρξη του μαθήματος, ο δάσκαλος εξηγεί τι πρόκειται να επακολουθήσει, ώστε οι μαθητές να αφοσιωθούν καλύτερα στις δραστηριότητες που θα διεξαγάγουν οι ίδιοι και να προκληθεί τόσο το ενδιαφέρον όσο και η περιέργειά τους. Στη *φάση της ανάδειξης των ιδεών* οι μαθητές εκφράζουν και εξωτερικεύουν τις ιδέες τους, ενώ ο δάσκαλος ανακαλύπτει τι σκέπτονται και τι μπορεί ο ίδιος να πράξει ώστε να προγραμματίσει τις διδακτικές στρατηγικές που προσφέρονται σε κάθε περίπτωση. Αυτή η φάση, στη δικιά μας έρευνα, ουσιαστικά πραγματοποιήθηκε με τα ερωτηματολόγια που δόθηκαν στους μαθητές στο πρώτο στάδιο. Κατά την επόμενη φάση (*αναδόμηση των ιδεών*) οι μαθητές ενθαρρύνονται να ελέγξουν τις ιδέες τους με σκοπό να τις επεκτείνουν, να αναπτύξουν ιδέες στην περίπτωση που δεν έχουν άποψη ή να αντικαταστήσουν τις προϋπάρχουσες με άλλες. Επιδίωξη του διδάσκοντα είναι η αυτόβουλη και οικειοθελής μετατόπιση των παιδιών από τις δικές τους σε άλλες ιδέες, που είναι πληρέστερα στο επιστημονικό πρότυπο. Σε αυτή τη φάση ασφαλώς εμπίπτει και η χρήση του πειράματος. Στόχος είναι να οδηγηθούν οι μαθητές σε γνωστική, ενδοπροσωπική σύγκρουση, εάν οι ιδέες τους απέχουν από τις επιστημονικές, να νιώσουν δυσαρεστημένοι, γεγονός που πιθανόν θα τους ωθήσει σε εννοιολογική αλλαγή. Στη *φάση της εφαρμογής* τα παιδιά συσχετίζουν αυτό που έμαθαν με τις εμπειρίες της καθημερινής ζωής. Η δυνατότητα που αποκτούν με τις καινούριες ιδέες να ερμηνεύουν φαινόμενα που δεν μπορούσαν πριν να τα ερμηνεύσουν, κατοχυρώνει την υιοθέτηση των απόψεων αυτών, επειδή ακριβώς αναγνωρίζουν την αξία τους και τη λειτουργικότητά τους. Κατά τη τελευταία *φάση της ανασκόπησης* οι μαθητές πρέπει να αναγνωρίσουν τη σπουδαιότητα αυτών που ανακάλυψαν. Συνειδητοποιούν τις δύο καταστάσεις (προηγούμενη και τωρινή) και τη γνωστική πορεία της αλλαγής. Αυτό αποτελεί μέσο αυτοελέγχου και είναι αυτό που ονομάζεται μεταγνώση (Driver R. κ. άλ., 2000).

### 3.6.1 Η σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία

Η διδασκαλία, η οποία πραγματοποιήθηκε σε αυτό το στάδιο, της παρέμβασης προς τους μαθητές, ακολουθεί τα βήματα και τις ιδιαίτερες παραμέτρους μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας. Ήδη σε

προηγούμενο κεφάλαιο (κεφ. 2.6.2) έχουν παρουσιαστεί αρκετές πληροφορίες, από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, ως προς την πρακτική μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας. Μάλιστα έχει από τότε αναφερθεί ότι αυτή η διδασκαλία, που σχετίζεται με το φως, ακολουθεί το διδακτικό μοντέλο της εποικοδομητικής προσέγγισης.

Αρχικά έγινε ο σχεδιασμός της διδασκαλίας. Όταν σχεδιάζοταν η διδασκαλία είχε ήδη αναπτυχθεί, κατόπιν ενδελεχούς μελέτης ενός σημαντικού μέρους της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, το επιστημονικό κομμάτι της προσέγγισης του φωτός και είχε λάβει μια πρωταρχική μορφή. Έτσι ο δάσκαλος – ερευνητής θα μπορούσε να διακατέχεται από την πεποίθηση ότι γνώριζε αρκετά καλά το γνωστικό αντικείμενο το οποίο επρόκειτο να διδάξει. Πριν ξεκινήσει ο σχεδιασμός της διδασκαλίας μελετήθηκαν οι ιδέες που παρουσίασαν οι μαθητές, μέσα από τα ερωτηματολόγια που τους δόθηκαν, στο πρώτο στάδιο της έρευνας. Όλα τα στοιχεία που σχετίζονται με τη διδασκαλία και παρουσιάζονται εδώ, προέρχονται από τα χειρόγραφα στα οποία είχε καταγραφεί η διδακτική πορεία κατά το σχεδιασμό της.

Πιο συγκεκριμένα, έγινε εντοπισμός των επιμέρους στόχων της διδασκαλίας αυτής, οι οποίοι είναι:

- Οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν ότι η ευθύγραμμη διάδοση του φωτός δεν έχει καθολική ισχύ.
- Οι μαθητές να γνωρίσουν την ύπαρξη φαινομένων του φωτός, που δεν εξηγούνται με την παραδοχή της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός, για τα οποία πιθανόν δεν έχουν ακούσει τίποτα ή σχεδόν τίποτα ποτέ, όπως είναι το φαινόμενο της περίθλασης και να τους δοθεί μια εξήγηση, με απλό τρόπο, γι' αυτό.
- Οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν το πλαίσιο στο οποίο κινείται η Γεωμετρική Οπτική και τις απλουστεύσεις που κάνει κατά τη μελέτη του φωτός.
- Οι μαθητές να καταλάβουν ότι υπάρχουν και άλλοι τρόποι μελέτης (μοντέλα προσέγγισης) των φαινομένων που σχετίζονται με το φως.
- Να εξηγηθούν σ' αυτούς σχετικά φαινόμενα της καθημερινής τους ζωής και να σχολιαστούν εφαρμογές του τομέα αυτού της Φυσικής, που λέγεται Οπτική.

Δεύτερο βήμα σε μια σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία είναι η πραγματοποίηση της διδασκαλίας. Ο δάσκαλος, με διάφορα οπτικά ερεθίσματα κατά την παρουσίαση των οποίων τα παιδιά πρέπει να παρατηρήσουν και κατόπιν να εκφράσουν τις σκέψεις τους, προετοιμάζει τους μαθητές νοητικά και συναισθηματικά για το νέο θέμα που πρόκειται να ερευνήσουν όλοι μαζί. Πιο συγκεκριμένα, επιδεικνύεται εικόνα στην οποία παρατηρούν ότι το φως του ήλιου διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις του ηλιακού συστήματος, έτσι ώστε όλοι οι πλανήτες (ένα μέρος από τον καθένα) μπορεί να φωτίζονται ταυτόχρονα, σε όποια θέση

της τροχιάς τους και αν βρίσκονται. Ακολουθώντας ανασύρονται από τη μνήμη των παιδιών σχετικές εμπειρίες τους, όπου έχουν δει το φως του ήλιου να περνά μέσα από τα σύννεφα, σχηματίζοντας ευθείες φωτεινές δέσμες. Με κατάλληλη συζήτηση τα παιδιά συνειδητοποιούν ότι μπορούν να παρατηρήσουν τη διάδοση του φωτός ως ευθύγραμμη πορεία, η απεικόνιση της οποίας είναι ο σχεδιασμός ευθείας γραμμής που ονομάζεται ακτίνα φωτός (φωτεινή ακτίνα). Διευκρινίζεται ότι η ακτίνα δεν είναι φως αλλά ένα σχέδιο απεικόνισης. Στη συνέχεια γίνονται ως αντικείμενο συζήτησης με τα παιδιά, σχετικά φαινόμενα με τη διάδοση του φωτός, της καθημερινής τους ζωής, όπως η σκιά και η παρασκιά και με τη βοήθεια σχετικής εικόνας και σχεδίων στον πίνακα οδηγούνται στην εξήγησή τους. Κατόπιν δημιουργείται ο προβληματισμός στα παιδιά αν μπορούν πάντα να προσδιορίσουν τη διάδοση του φωτός ως ευθύγραμμη πορεία μέσα στο ίδιο οπτικό μέσο. Στο σημείο αυτό της διδακτικής πορείας, για να αυξηθεί ο προβληματισμός τους, γίνεται αναφορά στην ανάλυση του λευκού φωτός όταν περάσει από πρίσμα, φαινόμενο το οποίο για να αντιμετωπιστεί χρειάζεται ανάλογο τρόπο σκέψης. Επικεντρώνεται η σκέψη τους στο ότι το φως άλλοτε το βλέπουμε ως λευκό και άλλοτε αναλυμένο σε μια συγκεκριμένη σειρά διαφορετικών χρωμάτων (στο φάσμα της ορατής ακτινοβολίας). Πρόκειται όμως για το ίδιο φως άσχετα με το πώς το αντιλαμβανόμαστε με τα μάτια μας. Μετά γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της περίθλασης και εκτενής περιγραφή, με απλό τρόπο, του τι συμβαίνει όταν μια παράλληλη δέσμη φωτός προσπέσει κάθετα σε αδιαφανές εμπόδιο, ώστε ένα μόνο μέρος της να μπορεί να συνεχίσει και να φωτίσει μια οθόνη πίσω από το αδιαφανές εμπόδιο (χρησιμοποιείται και σχετικό σχήμα στον πίνακα). Πάντα πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων του φαινομένου ζητείται από τα παιδιά να προβλέψουν τι πρόκειται να συμβεί (τι φαντάζονται ότι θα μπορούσαν να δουν) κατά την πραγματοποίησή του. Έτσι μόνο, όταν τα αποτελέσματα του φαινομένου έρχονται σε αντίθεση με την πρόβλεψη των παιδιών, μπορούμε να επιτύχουμε την ενδοπροσωπική γνωστική σύγκρουση, η οποία σύμφωνα με τις φάσεις του μοντέλου της εποικοδομητικής προσέγγισης που πρότειναν οι Driver & Oldham το 1986 μπορεί να ωθήσει τα παιδιά στην εννοιολογική αλλαγή. Στη συνέχεια ορίζεται το φαινόμενο της περίθλασης ως η απόκλιση της πορείας των φωτεινών ακτίνων από το νόμο<sup>30</sup> της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός, όταν συναντήσουν ένα εμπόδιο. Τα παιδιά με τη συζήτηση οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι το παραπάνω φαινόμενο δεν μπορεί να εξηγηθεί, αν αποδεχόμαστε αποκλειστικά ότι το φως διαδίδεται μόνο διά φωτεινών ακτίνων και

---

<sup>30</sup> Τα παιδιά αποδέχονται ως νόμο παραβίαστο την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, σαν αποτέλεσμα της παρουσίας που τους γίνεται από τα σχολικά τους εγχειρίδια.

γίνεται προσπάθεια να συλλογισθούν ότι μπορούμε να το εξηγήσουμε μόνο αν σκεφτούμε ότι το φως διαδίδεται με κύματα, όπως ήδη γνωρίζουν ότι διαδίδεται και ο ήχος, μόνο που τα κύματα του φωτός είναι διαφορετικής φύσης από αυτά του ήχου. Ακόμα αναφέρεται στα παιδιά ότι υπάρχουν και άλλα φαινόμενα, που σχετίζονται με το φως και τα οποία μπορώ να τα εξηγήσω πλήρως μόνο αν σκεφτώ ότι το φως διαδίδεται σε πακέτα ενέργειας, τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Ανακαλούνται από τη σκέψη των παιδιών ή αναφέρονται από το δάσκαλο εφαρμογές του φωτός και των φαινομένων που σχετίζονται μ' αυτό (ηλεκτρικό φως ενός δρόμου στο λιμάνι της πόλης μας – φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, καθρέφτης – ανάκλαση του φωτός, οπτικές ίνες κ. ά.) και παρουσιάζεται η λειτουργία και οι ευρείες εφαρμογές των οπτικών ινών. Εξηγείται στα παιδιά ότι η Οπτική είναι ένας τομέας της Φυσικής που μελετά τα φαινόμενα τα σχετικά με το φως. Δίδεται έμφαση στο ότι το φως ακόμα και σήμερα μελετάται από τους φυσικούς επιστήμονες, χωρίς να έχει διερευνηθεί πλήρως η φύση του αλλά και κάθε πτυχή του. Η θεωρία που έχει σήμερα ευρύτατη αποδοχή διατυπώνει την άποψη ότι το φως είναι ένα είδος ακτινοβολίας (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Τέλος, εξηγείται στα παιδιά ένας τρόπος διαίρεσης της Οπτικής σε τρεις κλάδους (τη Γεωμετρική, την Κυματική και την Κβαντική Οπτική) και εντοπίζουν με βάση ποιο μοντέλο μελετά ο κάθε επιμέρους κλάδος της Οπτικής τα οπτικά φαινόμενα. Δίδονται από το δάσκαλο – ερευνητή κάποιες πιθανές εξηγήσεις σχετικά με το γιατί τα παιδιά της ηλικίας τους μελετούν το φως (μέσα από τα βιβλία τους και με τη βοήθειά του δασκάλου τους) με βάση τη Γεωμετρική Οπτική. Με κατάλληλα ερεθίσματα και συνακόλουθη συζήτηση καθοδηγούνται τα παιδιά να συνειδητοποιήσουν ότι το φως του ήλιου προσφέρει στον άνθρωπο και σε όλους τους ζωικούς οργανισμούς αλλά και στα φυτά ενέργεια, που είναι απαραίτητη για την ύπαρξη ζωής (ένα τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταφέρει φωτεινή ενέργεια και θερμική ενέργεια). Μάλιστα για τα φυτά γίνεται αναφορά ότι το φως του ήλιου τους είναι απαραίτητο για να φτιάξουν μόνα τους την τροφή τους (γλυκόζη), από ανόργανα συστατικά, CO<sub>2</sub> που παίρνουν από τον αέρα και νερό που παίρνουν από το έδαφος. Αυτά ήταν τα βασικά βήματα της διδασκαλίας που πραγματοποιήθηκε στην ομάδα ελέγχου. Ο ρόλος του δασκάλου επικεντρώνεται στο συντονισμό των δραστηριοτήτων, στην παρέμβαση και κατεύθυνση της συζήτησης και της σκέψης των μαθητών στους στόχους.

Το τρίτο βήμα μιας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, που είναι η αξιολόγηση της διδακτικής παρέμβασης ώστε να ελεγχθεί ο βαθμός μέχρι του οποίου οι μαθητές κατέκτησαν τους διδακτικούς στόχους, στην εργασία μας πραγματοποιείται με την επαναληπτική χορήγηση του αρχικού ερωτηματολογίου. Ο ίδιος τρόπος αξιολόγησης πραγματοποιεί-

είται είτε στην ομάδα ελέγχου (όπου η διδακτική παρέμβαση είναι εντελώς θεωρητική) είτε στην πειραματική ομάδα (όπου έχω διδακτική παρέμβαση με επιπρόσθετη χρήση πειράματος).

### 3.6.2 Το πείραμα

#### 3.6.2.1 Η αναγκαιότητα της χρήσης πειραμάτων κατά τη διδακτική πράξη

Οι φυσικές επιστήμες έχουν ως στόχο τη διερεύνηση και κατανόηση των λειτουργιών του κόσμου που μας περιβάλλει. Το παιδί είναι από τη φύση του περίεργο, θέλει να γνωρίσει και να ανακαλύψει το γύρω κόσμο του. Στην ανάγκη του αυτή οι μέθοδοι των φυσικών επιστημών μπορούν να χρησιμεύσουν ως οδηγός, ώστε όταν το παιδί διερευνά το γύρω περιβάλλον να θέτει τα κατάλληλα ερωτήματα και, ψάχνοντας την απάντησή τους, να διαπιστώνει την εσωτερική λογική των διαφόρων φαινομένων και τους νόμους αλληλεξάρτησης που συνδέουν τους ζώντες οργανισμούς μεταξύ τους και με το υπόλοιπο περιβάλλον. Το σχολείο οφείλει να οργανώνει δραστηριότητες που ενθαρρύνουν το παιδί να παρατηρεί, να διερωτάται, να διατυπώνει με σαφήνεια προβλήματα και να σχεδιάζει προσεκτικά το ερευνητικό πλαίσιο για την επίλυσή τους. Πέρα από τις άμεσες επαφές τους με τη φύση, που βέβαια προσφέρουν πλούσιες ευκαιρίες για τέτοιου είδους προβληματισμό, σημαντική βοήθεια αποτελεί η αναπαραγωγή και μελέτη φυσικών φαινομένων μέσα στη σχολική τους τάξη. Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών έχει συνδεθεί εδώ και πολλά χρόνια με την πειραματική – πρακτική εργασία, η οποία θεωρείται αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας της διδασκαλίας και της μάθησης στις φυσικές και στις άλλες πειραματικές επιστήμες.

Κατά τους Hofstein & Luneta (1980) (Παπαδημητρίου Β. κ. άλ., 1992) οι στόχοι της εργαστηριακής δουλειάς ταξινομούνται σε *νοητικούς* (νοητική ανάπτυξη, κατανόηση επιστημονικών εννοιών, ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων και δημιουργικής σκέψης), σε *πρακτικούς* (ανάπτυξη δεξιοτήτων διερεύνησης, ανάλυσης επικοινωνίας) και σε *συναισθηματικούς* (ανάπτυξη θετικών στάσεων απέναντι στις φυσικές επιστήμες και θετικής αντίληψης για την ικανότητα να κατανοήσει κανείς το περιβάλλον του και να το επηρεάσει). Σύμφωνα με άλλη μελέτη (Χαλκιά – Θεοδωρίδη, 1993) τρεις κυρίως στόχοι θα πρέπει να επισημανθούν στην προσπάθεια αναπαραγωγής φυσικών φαινομένων μέσα στην τάξη:

α) ανάπτυξη προβληματισμού στα παιδιά για την κατανόηση των φαινομένων που συναντούν γύρω τους,

β) ενθάρρυνση ερευνητικών προσπαθειών, που μπορούν να προβλέπουν το σχεδιασμό απλών πειραμάτων, συστηματικές καταγραφές και υποτυπώδεις μετρήσεις για τη διερεύνηση ενός φαινομένου,

γ) δημιουργία απλών κατασκευών με συγκεκριμένη λειτουργία, από τα παιδιά, με στόχο την εξοικείωση και κατανόηση της τεχνολογίας.

Θεμελιώδης όμως προϋπόθεση για να μπορέσουν τα παιδιά να «προβάλουν» και να «μεταφέρουν» τις εμπειρίες που αποκτούν από ένα φαινόμενο που αναπαράγεται μέσα στην τάξη, στον εξωτερικό πραγματικό κόσμο, είναι ο ισχυρός σύνδεσμος των δραστηριοτήτων που αναπαράγουν αυτό το φυσικό φαινόμενο, με τις συνθήκες που διέπουν το αντίστοιχο πραγματικό, όπως τις αντιλαμβάνονται τα παιδιά όταν βρίσκονται έξω από την τάξη. Μία από τις πιο σοβαρές συνιστώσες αυτών των δραστηριοτήτων είναι η οργάνωση ενός «εργαστηρίου» για τα παιδιά του Δημοτικού. Από πολλούς η οργάνωση και χρήση «εργαστηρίου» θεωρήθηκε πανάκεια για την οργάνωση επιστημονικών δραστηριοτήτων στο σχολείο. Μπορούμε να πούμε ότι, τόσο η δημόσια όσο και η ιδιωτική εκπαίδευση, έχουν το ίδιο πρότυπο: Τα άρτια οργανωμένα και τέλεια εξοπλισμένα εργαστήρια με το κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό. Η δημόσια εκπαίδευση τα οραματίζεται, η ιδιωτική εκπαίδευση τα πληρώνει και εν μέρει τα υλοποιεί.

Διάφοροι ερευνητές όμως διατύπωσαν την άποψη ότι δυστυχώς για τα παιδιά του Δημοτικού, η αντίληψη αυτή που, μόλις είδαμε, πολύ απέχει από τους πραγματικούς στόχους των φυσικών επιστημών, όπως ορίστηκαν παραπάνω και οι οποίοι οπωσδήποτε ξεκινούν από τις νοητικές δυνατότητες, τα ενδιαφέροντα και τις παραστάσεις για τον εξωτερικό κόσμο που έχουν τα παιδιά αυτής της ηλικίας (Παπαδημητρίου Β. κ. άλ., 1992). Οι Bates (1978) & Blosser (1981), μετά από εξονυχιστική μελέτη σχετικά με το ρόλο του εργαστηρίου, αναφέρουν ότι: *«Τα δεδομένα που υπάρχουν δείχνουν ότι οι εργαστηριακές εμπειρίες εφοδιάζουν τους μαθητές με δεξιότητες χειρισμού συσκευών, ότι σε κάποιο βαθμό υπερτερούν των διαλέξεων και της επίδειξης πειραμάτων και ότι συμβάλλουν στην ανάπτυξη θετικών στάσεων απέναντι στις φυσικές επιστήμες. Παρόλα αυτά όμως ο ρόλος τους στην κατανόηση επιστημονικών εννοιών δε φαίνεται να είναι σημαντικότερος από αυτόν των διαλέξεων και της επίδειξης.»* Σε μια παρόμοια θέση καταλήγει και ο Novak (1988): *«Οι μελέτες μάς έδειξαν ότι οι περισσότεροι μαθητές, μέσα από τα εργαστήρια, λίγη κατανόηση κερδίζουν, τόσο όσον αφορά τις εμπλεκόμενες έννοιες, όσο και την πορεία οικοδόμησης της γνώσης».* Ο ίδιος ο J. Piaget έγραφε: *«... η επανάληψη παλαιών πειραμάτων απέχει πολύ από το να είναι ο καλύτερος τρόπος για να διεγείρει το πνεύμα της διερεύνησης και ακόμη να ασκήσει τους μαθητές στην αναγκαιότητα του ελέγχου ή της επαλήθευσης...».* Το πρόβλημα ίσως να βρίσκεται στη συμβατική, κλασική χρήση της εργαστηριακής

δουλειάς, στα πλαίσια της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Το μάθημα διδάσκεται θεωρητικά και, σε άλλη ώρα, προηγούνται ή συνήθως ακολουθούν εργαστηριακές εφαρμογές. Δε λαμβάνονται υπόψη οι ιδέες των παιδιών και οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν στην οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης, μέσα και έξω από το εργαστήριο. Η χρήση ειδικών οργάνων και συσκευών δημιουργεί στα παιδιά την αίσθηση ότι η επιστήμη είναι κάτι μακρινό και ιδιαίτερο, κάτι που περιβάλλεται από μυστήριο και που δεν έχει καμία σχέση με την καθημερινή πραγματικότητα, τη δική τους πραγματικότητα (Χαλκιά – Θεοδωρίδη, 1993). Τα παιδιά λαμβάνουν την εντύπωση ότι για να προσεγγίσουν και να διερευνήσουν κάποιο φαινόμενο, χρειάζεται πάντα να χρησιμοποιούν ειδικά όργανα ή συσκευές, που έχουν σχεδιαστεί από επιστήμονες και ότι η λειτουργία τους απαιτεί ειδικές γνώσεις ή ικανότητες. Ακόμη πείθονται ότι χρήσιμες μετρήσεις παίρνουμε μόνο με τέτοια όργανα. Πολύ συχνά, όταν τα παιδιά εγκαταλείπουν τις αίθουσες αυτών των εργαστηρίων, εγκαταλείπουν εκεί και τις γνώσεις που απέκτησαν από την αναπαραγωγή των διαφόρων φαινομένων, αδυνατώντας να συνδέσουν το εργαστηριακό σύστημα αποστειρωμένης ακρίβειας με τον αληθινό κόσμο της φύσης και της ζωής που βιώνουν καθημερινά.

Είναι γεγονός, όμως, ότι το πείραμα έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιστημονικής σκέψης και επηρέασε καθοριστικά την εξέλιξη της Φυσικής και τον τρόπο που βλέπουμε τον κόσμο γύρω μας. Η πρώτη επιστημονική επανάσταση (17<sup>ος</sup> μ.Χ. αιώνας) χαρακτηρίστηκε – ανάμεσα στα άλλα – και από την ανίχνευση ενός κώδικα επικοινωνίας με τη φύση, ο οποίος έχει τους δικούς του «κανόνες γραμματικής» και συγκροτεί την έννοια του πειράματος για τις φυσικές επιστήμες. Από την πλευρά της διδακτικής της Φυσικής τα πειράματα της Φυσικής – μεταξύ άλλων – βοηθούν τους μαθητές (Χαλκιά Κ., 1999): να προσεγγίσουν «σε βάθος» τις έννοιες της Φυσικής, να βελτιώσουν τις δεξιότητές τους της παρατήρησης και της μελέτης των φυσικών φαινομένων, να διερευνούν και να επιλύουν καθημερινά προβλήματα και να αναπτύξουν κοινωνικές δεξιότητες συνεργασίας και επικοινωνίας. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι η εκπαιδευτική αξία των πειραμάτων Φυσικής δεν έγκειται τόσο στις εμπειρίες που αποκτούν οι μαθητές κατά την απλή εκτέλεση των πειραμάτων ή κατά την επίδειξή τους από το διδάσκοντα, όσο στους νοητικούς χειρισμούς των εννοιών της Φυσικής που πρέπει να κάνουν οι ίδιοι οι μαθητές όταν σχεδιάζουν ένα πείραμα Φυσικής, όταν ελέγχουν μια υπόθεση ή όταν εκτελούν αξιόπιστες μετρήσεις. Πολλοί ερευνητές προτείνουν τρόπους υλοποίησης πειραμάτων με καθημερινά, απλά υλικά (Χαλκιά 1993, Καρανίκας 1993, Κουμαράς 1994, Σάββας 1996, Μπακάλη & Κουμαράς 1998). Άλλοι ερευνητές προτείνουν τρόπους αποτελεσματικής ένταξης του πειράματος στην καθημερινή σχολική

πρακτική (Καριώτογλου κ. άλ. 1989, Κολιόπουλος κ. άλ. 1993, Παπασταματίου 1993), ενώ άλλοι προβληματίζονται για τους τρόπους διδακτικής αξιοποίησης του πειράματος στο μάθημα της Φυσικής (Καριώτογλου, Κορομπίλης & Κουμαράς, 1997).

Ακόμη οι νοητικοί περιορισμοί της ηλικίας των μαθητών της Α/θμιας και Β/θμιας εκπαίδευσης επιβάλλουν το μάθημα της Φυσικής να γίνεται κατ' αρχήν πειραματικά – σε όποιες θεματικές ενότητες είναι δυνατόν –, ώστε οι μαθητές να έχουν άμεση εποπτεία της λειτουργίας ενός φυσικού φαινομένου. Ακολούθως, και ανάλογα με την ηλικία τους και τις νοητικές δυνατότητές τους, θα πρέπει να οδηγηθούν στις απαραίτητες αφαιρέσεις και θεωρητικές γενικεύσεις που συμπληρώνουν και ολοκληρώνουν τη μελέτη των εννοιών της Φυσικής.

Το πείραμα πρέπει να στοχεύει στην επιβεβαίωση ή απόρριψη μιας υπόθεσης, στην ποσοτική διερεύνηση ενός φαινομένου και όχι στην εκ των προτέρων γνώση που επιβεβαιώνεται με την τυφλή εκτέλεση μιας «συνταγής». Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, τα παιδιά στο Δημοτικό, καλό θα είναι κατά τις δραστηριότητες που αφορούν τις φυσικές επιστήμες να χρησιμοποιούν, όσο γίνεται, μόνον καθημερινά και οικεία αντικείμενα και όχι ειδικά όργανα και συσκευές (Χαλκιά – Θεοδωρίδη, 1993). Οι ερωτήσεις και απορίες που δημιουργούνται στα παιδιά οφείλουν να ξεκινούν από πραγματικές, καθημερινές καταστάσεις και όχι μέσα από «στημένες» εργαστηριακές ασκήσεις. Το πείραμα στο μυαλό των παιδιών πρέπει να κατανοηθεί ως «διάλογος με τη φύση». Μέσα από το σωστά σχεδιασμένο πείραμα υποχρεώνουμε τη φύση να μας απαντήσει στα ερωτήματά μας και να αποκαλύψει τους μυστικούς τρόπους που συνδέονται τα φυσικά φαινόμενα. Αντίστοιχα, οι απαντήσεις σ' αυτά τα ερωτήματα, θα πρέπει να ανιχνεύονται με τη βοήθεια καθημερινών αντικειμένων, ακολουθώντας όμως μια αυστηρή μέθοδο και διαδικασία, που αρχικά θα οργανωθεί και θα κατευθύνεται από το δάσκαλο.

Στην όλη αυτή πορεία, είναι προφανές, ότι ο δάσκαλος πρέπει να έχει προηγουμένως εκτεθεί και ευαισθητοποιηθεί σ' αυτόν τον τρόπο επιστημονικής διερεύνησης απλών θεμάτων και φαινομένων. Ο δάσκαλος είναι εκείνος ο οποίος και μέσα από την πράξη, γνωρίζει τις δυνατότητες των παιδιών και ευκολότερα από οποιονδήποτε θα ανιχνεύσει τους κατάλληλους τρόπους για την υλοποίηση των παραπάνω επιστημονικών δραστηριοτήτων. Παράλληλα, προκειμένου ο δάσκαλος να αισθάνεται εμπιστοσύνη, θα πρέπει να αναλάβει μαζί με τα παιδιά τη διερεύνηση προβλημάτων των οποίων πολλές φορές αγνοεί την επιστημονική διάσταση και όποτε χρειαστεί να έχει την υποστήριξη ειδικών (π.χ. κάποιων καθηγητών ή κάποιων δασκάλων με ειδικά ενδιαφέροντα στις επιστήμες, που θα βρίσκονται στη διάθεση ενός αριθμού σχολείων). Έτσι τα παιδιά, όταν πρόκειται να ασχοληθούν ή να



«ψάξουν» ένα φαινόμενο, πρέπει συχνά να ενθαρρύνονται να σχεδιάσουν από μόνα τους ένα όργανο ή συσκευή κατάλληλη για τη διερεύνηση αυτού του φαινομένου. Τα παιδιά, δηλαδή, πρέπει να ανακαλύπτουν τρόπους αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον τους, γιατί με αυτόν τον τρόπο αισθάνονται εμπιστοσύνη, ότι μέσω των δικών τους δραστηριοτήτων μπορούν να προσεγγίσουν, να ψάξουν και να κατανοήσουν τον γύρω τους κόσμο. Τα παιδιά, χωρισμένα σε μικρές ομάδες, μπορούν να ξεκινήσουν διάφορες δραστηριότητες, ώστε να εκτεθούν στον επιστημονικό τρόπο σκέψης. Έτσι θα διαπιστώσουν ότι στις διερευνήσεις τους, προκειμένου να έχουν αξιόπιστα αποτελέσματα, θα πρέπει να μεταβάλουν μόνον μια μεταβλητή ενός φαινομένου και να διατηρούν τις άλλες μεταβλητές του σταθερές.

Είναι γεγονός ότι πολλές άλλες δραστηριότητες μπορούν να εφευρεθούν από τα παιδιά με βάση διάφορα άχρηστα υλικά της καθημερινής ζωής, που συχνά ο δάσκαλος μπορεί να σκεφθεί. Η επινοητικότητα και η εφευρετικότητα των παιδιών είναι απρόσμενη και εκείνο που χρειάζεται από το δάσκαλο είναι η ελάχιστη, αλλά καίρια παρέμβασή του με κατάλληλες ερωτήσεις, που σκοπό θα έχουν όχι να κριτικάρουν τα παιδιά, αλλά να τα ερεθίσουν για παραπέρα αναζητήσεις. Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι είναι δυνατόν να οργανωθούν «εργαστήρια» με μια άλλη φιλοσοφία και αντίληψη από αυτές που επικρατούσαν ως σήμερα. Τα «εργαστήρια» αυτά οφείλουν να είναι πιο κοντά στις νοητικές δυνατότητες των παιδιών, οργανωμένα σε ένα συγκεκριμένο τρόπο σκέψης, που δε θα ενδιαφέρονται τόσο για την παροχή γνώσης όσο για την κατάκτηση νοητικών δεξιοτήτων εκ μέρους των παιδιών.

### *3.6.2.2 Ιστορική αναδρομή στην πειραματική διδασκαλία της Φυσικής, στον τόπο μας.*

Ο Πλάτωνας υποστηρίζει, στο διάλογό του Τίμαιο, αναφερόμενος στις κινήσεις της Γης και των άστρων, ότι είναι ματαιοπονία να θέλει κάποιος να διδάξει ένα φυσικό νόμο χωρίς να κάνει το σχετικό πείραμα, ενώ, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, η απώλεια οποιασδήποτε αίσθησης συνεπάγεται την απώλεια του αντιστοίχου τμήματος της γνώσης. Φυσικά δε θεωρούμε ότι οι δύο αυτοί μεγάλοι διανοητές, δάσκαλος και μαθητής, ήταν πειραματικοί φυσικοί. Απλά γι' αυτούς ήταν αποδεκτό ότι κριτικά αποδεχόταν ο κοινός νους.

Ο διδάσκαλος του Γένους Κ. Μ. Κούμας (1777 – 1836) γράφει: «Πειραματικά όργανα μεταχειρίζομαι καθ' εκάστην εις τας παραδόσεις μου». Το πείραμα γι' αυτόν τον οπαδό της επιστημονικής επανάστασης κατά τον ελληνικό Διαφωτισμό, αποτελεί τη σπονδυλική στήλη της Φυσικής του, τότε που στον υπόδουλο ελληνισμό δεν υπήρχαν

διδασκτῆρια, βιβλία, χρήματα για εποπτικά ὄργανα και τα μόνιμα αναγνώσματα σε ὅσα σχολεῖα τότε λειτουργοῦσαν ἦταν το *Οκτώηχι*, το *Ψαλτήρι*, και τα *Μηνιαία* (Παπασταματίου Σ., 1993). Πρῶτος ο Ευγένιος Βούλγαρης, κληρικός και διδάσκαλος του Γένους, ξεκίνησε στην Ελλάδα τη συστηματικὴ διδασκαλία της Φυσικῆς κατὰ τα δυτικὰ πρότυπα, στη Μαρουτσαία Σχολή Ιωαννίνων, το 1742. Αυτὸς ἦταν που χρησιμοποίησε τα εποπτικά μέσα και το πείραμα κατὰ τη διδασκαλία, για να τον μιμηθοῦν λίγο αργότερα, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αἰῶνα, τα νέα σχολεῖα, «κοινά» και «ανώτερα», που ἄρχισαν να ιδρύονται ἢ που ἀπὸ χρόνια λειτουργοῦσαν στα πλούσια, αστικά, ἐμπορικὰ κέντρα της Ελλάδας.

Στα 70 περίπου (Δημοτικά) σχολεῖα που λειτουργοῦσαν γύρω στα 1830 τα φυσικὰ μαθήματα δε διδάσκονταν ἔστω και ἐπιφανειακά, κάτι που συνεχίστηκε και κατὰ τα 50 ἐπόμενα χρόνια. Κύρια αἰτία ἦταν ἡ ἀνεπαρκὴς μόρφωση των δασκάλων. Παρόμοια ἦταν ἡ κατάσταση και στα πρῶτα σχολεῖα Μέσης Ἐκπαίδευσης, το τριτάξιο Ἑλληνικὸ σχολεῖο και το τετρατάξιο Γυμνάσιο. Στο πρόγραμμα αυτῶν περιλαμβάνονταν «ἡ σπουδὴ των αρχῶν της Φυσικῆς, της Χημείας και της Φυσικῆς Ἱστορίας» ἀλλὰ τουλάχιστον ἡ Φυσικὴ δε διδασκόταν σε ὅλα τα Γυμνάσια, ἐλλείπει διδακτικὸ βιβλίο, μέχρι το 1874. Ἀξιοσημείωτο εἶναι ὅτι τα φυσικὰ μαθήματα στο Γυμνάσιο διδάσκονταν μόνο μετὰ το 1850 ἀπὸ πτυχιούχους του Πανεπιστημίου (Παπασταματίου Σ., 1993). Το πρῶτο πρακτικῆς κατεύθυνσης σχολεῖο υπῆρξε το Βαρβάκειο Λύκειο, το 1886, ἐνῶ για πρῶτη φορά στις «*Ὁδηγίες περὶ τρόπου διδασκαλίας των μαθημάτων*» του 1896 συνιστᾶται για τη διδασκαλία της Φυσικῆς και της Χημείας «*να ἀκολουθήσωμεν τον εποπτικὸ και πειραματικὸ τρόπο*». Παρατηρεῖται δηλαδὴ προτροπὴ για μορφή ευρετικῆς – ἀνακαλυπτικῆς διδασκαλίας, μέθοδο που εἶχε ἤδη εἰσάγει στην Ἀγγλία ο Η. Armstrong, ἀπὸ το 1880. Ἡ ἐλλείψη ἐιδικευμένων καθηγητῶν ἦταν και πάλι το πρόβλημα για την εφαρμογή. Ἀπὸ τις αρχές του 20ου αἰῶνα και στο ἐξωτερικὸ (Ἀγγλία, Ἀμερικὴ κ. ἀλ.) το πείραμα κατακτᾶ μια πιο ἀξιόλογη θέση. Ἐπίσημα στην Ελλάδα για πρῶτη φορά γίνεται λόγος περὶ «της υπάρξεως ἐργαστηρίων Φυσικῆς και Χημείας» στην εἰσηγητικὴ ἐκθεση του ἐκπαιδευτικῶ νομοσχεδίου, του 1929, μεταρρύθμιση της τότε κυβέρνησης Βενιζέλου, που δεν πρόλαβε να εφαρμοστεῖ στα δημόσια σχολεῖα.

Στο τέλος της δεκαετίας του '40 στο σύνολό τους τα σχολεῖα της χώρας δεν ἔχουν ἐργαστήρια και ὄχι μόνο. Με το νόμο του '51 προωθείται ἡ ἀναβάθμιση της διδασκαλίας των φυσικῶν μαθημάτων με την ἰδρυση φυσικομαθηματικῶν Λυκείων και ἐιδικὸ χώρο για τα ἐργαστήρια Φυσικῆς και Χημείας. Σύντομα τα ἐργαστήρια μετατράπηκαν σε κοινές αἴθουσες διδασκαλίας. Στα 1960 ἔχουμε νέα προσπάθεια για την πειραματικὴ διδασκαλία της Φυσικῆς (πρόγραμμα χωρῶν – μελῶν του Ο.Ο.Σ.Α.), με σειρά σεμιναρίων για την πειραματικὴ

διδασκαλία και τα εποπτικά μέσα διδασκαλίας. Το 1977 κυκλοφορούν από τον ΟΕΔΒ και στέλνονται στα σχολεία μέσης εκπαίδευσης βιβλία σχετικά με τα πειράματα και τα εποπτικά μέσα διδασκαλίας. Συγχρόνως με εγκύκλιο του ΥΠΕΠΘ ορίζονται διδακτικές ώρες στα γυμνάσια για εκτέλεση από τους μαθητές εργαστηριακών ασκήσεων. Και αυτή η προσπάθεια παραμένει ημιτελής. Ούτε και η προσπάθεια που έγινε στα Ενιαία Πολυκλαδικά Λύκεια (1984), που έχουν εργαστήρια Φυσικής με άρτιο εξοπλισμό για την κατά μέτωπο εργαστηριακή άσκηση τάξης 20 μαθητών, εργαζόμενων σε τετραμελείς ομάδες, δεν τελεσφόρησε.

Με τον ισχύοντα νόμο για την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση προβλέπεται ότι: *«σε κάθε σχολείο υπάρχουν και χρησιμοποιούνται εποπτικά και οπτικοακουστικά μέσα, καθώς και εργαστήρια Φυσικής και Χημείας για την εμπέδωση της διδασκαλίας των οικείων μαθημάτων»*. Σύμφωνα με τις *«Οδηγίες για την διδακτέα ύλη κ.τ.λ.»* του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου: *«η εξοικείωση των μαθητών με τα όργανα Φυσικής είναι παράγοντας απαραίτητος για την επιτυχία της διδασκαλίας με πειράματα»*. Η πράξη όμως είναι απογοητευτικά διαφορετική (Παπασταματίου Σ., 1993).

Όπως διαφαίνεται στον ελληνικό χώρο έγιναν κάποιες προσπάθειες ώστε η Φυσική να ξεφύγει από τα στενά πλαίσια της αίθουσας διδασκαλίας προς το εργαστήριο, το πείραμα και ότι αυτά συνεπάγονται. Άτολμες και θνησιγενείς ήταν οι προσπάθειες της πολιτείας, όταν νομοθετούσε στα πλαίσια κάποιας εκπαιδευτικής μεταρρύθμισης και που ποτέ δεν ολοκληρώνονταν για διάφορους (πολιτικούς και όχι μόνο) λόγους. Έτσι ουσιαστικά συντηρήθηκε και ευδοκίμησε, στην πρωτοβάθμια και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, η από καθέδρας διδασκαλία, ως η μόνη αποδοτική και τελεσφόρος μέθοδος στην οποία οφείλει να βασίζεται η διδασκαλία της Φυσικής, στα σχολεία μας τουλάχιστον.

### 3.6.2.3 Παρουσίαση του πειράματος

Η διδακτική παρέμβαση προς τους μαθητές της πειραματικής ομάδας, συνδυάζει την παρουσίαση μίας σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και ένα πείραμα. Οι γενικές αρχές, οι στόχοι και τα βήματα της διδασκαλίας είναι τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο σχετικό κεφάλαιο. Στην παρέμβαση προς την πειραματική ομάδα έχουν προστεθεί επιπλέον οι παρακάτω διδακτικές ενέργειες.

Σαν πρώτο εισαγωγικό βήμα της διδακτικής παρέμβασης και πριν από την παρουσίαση των εικόνων προς τους μαθητές, δημιουργείται σκότος στην αίθουσα διδασκαλίας (όσο είναι δυνατόν βέβαια) και στη συνέχεια ανάβει ένα μεγάλο κερί στο κέντρο της αίθουσας. Τα παιδιά παρατηρούν ότι φωτίζονται αντικείμενα που βρίσκονται σε κάθε σημείο

της αίθουσας και με κατάλληλες ερωτήσεις οδηγούνται στη διαπίστωση ότι το φως διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Έτσι επιδιώκεται η όσον το δυνατόν μεγαλύτερη εγρήγορηση της σκέψης των μαθητών και η νοητική και συναισθηματική προετοιμασία – προσαρμογή των μαθητών στο νέο – ίσως ασυνήθιστο – πρακτικό τρόπο εργασίας που θα επακολουθήσει. Σε άλλο βήμα της διδακτικής παρέμβασης, όπου επιδιώκεται να δημιουργηθεί ο προβληματισμός στα παιδιά σχετικά με το εάν μπορούν πάντα να προσδιορίζουν τη διάδοση του φωτός ως ευθύγραμμη πορεία, το φαινόμενο της ανάλυσης του λευκού φωτός όταν περάσει από πρίσμα δεν παρουσιάζεται προφορικά στους μαθητές αλλά, αφού χωριστούν σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων και έχοντας κάθε ομάδα ένα πρίσμα, βγαίνουν στην αυλή του σχολείου και με τη βοήθεια του ήλιου το παρατηρούν. Κατόπιν, αφού ξαναμπούν στην τάξη, αναφέρουν τις παρατηρήσεις τους, σχολιάζουν και με τη συζήτηση οδηγούνται στον ανάλογο προβληματισμό και στην αντιστοίχιση που επιδιώκεται να γίνει. Εδώ ο ρόλος του δασκάλου είναι απλά παρεμβατικός ώστε να οδηγήσει τη σκέψη των μαθητών στον επιδιωκόμενο στόχο. Αμέσως μετά από αυτό το βήμα, στην παρέμβαση που πραγματοποιείται σ' αυτήν την ομάδα, ο δάσκαλος – ερευνητής παρουσιάζει το πείραμα.

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στη φάση της παρέμβασης και το οποίο θα περιγραφεί στη συνέχεια, είναι πείραμα επίδειξης (αρχικά επιδεικνύεται από το δάσκαλο – ερευνητή) και ακολούθως συμμετοχής των μαθητών στην πραγματοποίησή του (οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων, πηγαίνουν στο χώρο επίδειξης της αίθουσας, όπου βρίσκεται η πειραματική κατασκευή, και πραγματοποιούν μόνοι τους το πείραμα παρατηρώντας από πολύ κοντά τα αποτελέσματα). Έτσι έχουμε ενεργή συμμετοχή των μαθητών με ότι αυτό συνεπάγεται, παρακολούθηση των αποτελεσμάτων από πολύ κοντά ώστε να αντιμετωπίζονται αρχικά, πιθανά εμπόδια παρατήρησης εξαιτίας της απόστασης του μαθητή από το χώρο επίδειξης ή τυχόν σχετικού φωτισμού στην αίθουσα που παρεμποδίζει και εξοικείωση των μαθητών με το πειραματικό υλικό.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο πείραμα αυτό είναι υλικά της καθημερινής μας ζωής και είναι εύκολο να βρεθούν και να χρησιμοποιηθούν και από τα ίδια τα παιδιά ώστε να μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στο πείραμα και να κάνουν τις παρατηρήσεις τους.

Το μόνο σημείο στο οποίο ο υπεύθυνος πειραματιστής θα επιστήσει την προσοχή των παιδιών είναι στη χρήση του Laser εμπορίου<sup>31</sup>,

---

<sup>31</sup> Στο πείραμα επελέγει φωτεινή πηγή Laser γιατί παράγει έντονη, σχεδόν μονοχρωματική δέσμη φωτός, εύκολα παρατηρήσιμη και κυρίως γιατί αποτελείται από πολύ παράλληλες ακτίνες, ώστε η διάμετρος της δέσμης ελάχιστα να διευρύνεται με την αύξηση της απόστασης.

δίνοντάς τους ορισμένες πληροφορίες γι' αυτό και τονίζοντάς τους ιδιαίτερα την ανεπανόρθωτη καταστροφή που μπορεί να προκαλέσει η δέσμη του, εάν μπει στον οφθαλμό, έστω και μετά από αντανάκλαση, λόγω της μεγάλης εντάσεως που έχει, δηλαδή της συγκέντρωσης υψηλής ισχύος σε πολύ μικρή επιφάνεια.

Πριν από την πραγματοποίηση του πειράματος, αλλά μετά από την παρουσίαση των υλικών του και της κατασκευής που έχει γίνει, οι μαθητές προτρέπονται να προβλέψουν και να εκφράσουν αυτό που αναμένουν να παρατηρήσουν, κατά τη διενέργεια του πειράματος. Στη συνέχεια κατά την εκτέλεση του πειράματος και εάν τα αποτελέσματά του δε συμπίπτουν με την πρόβλεψη – γεγονός που είναι και πιθανότερο να συμβεί – οι μαθητές θα οδηγηθούν σε αδιέξοδο και θα βιώσουν μία γνωστική, ενδοπροσωπική σύγκρουση. Αυτό ελπίζουμε ότι θα τους ωθήσει σε εννοιολογική αλλαγή ώστε να κτίσουν ιδέες πλησιέστερες προς την επιστημονική άποψη.

Τα υλικά του πειράματος είναι τα παρακάτω:

- 1 ξύλινη βάση (40cm X 10cm).
- 5 μικρά ξυλάκια στήριξης (10cm X 2cm).
- 1 μικρό λευκό κομμάτι χαρτόνι που θα έχει το ρόλο πετάσματος.
- Μερικές πινέζες στήριξης.
- 1 μικρό Laser εμπορίου (μήκους κύματος 630 ~ 680 nm και μέγιστης ισχύος εξόδου  $\leq 1$  mW).
- 1 βάση για το Laser φτιαγμένη από τα πλαστικά μέρη ενός κουτιού από στυλό.
- 4 τζάμια πάχους 5mm, σχήματος τετραγώνου (10cm X 10cm), λειασμένα στις άκρες τους.
- 1 ανθρώπινη τρίχα από το τριχωτό κεφαλής.

Τοποθετώ στη διαμορφωμένη θέση πρώτα το διάφραγμα (1), από τα δύο τζάμια, όπου δεν έχουν άλλο στερεό σώμα ανάμεσά τους. Το φως της πηγής Laser που το διαπερνάει αφήνει το ίχνος του στο λευκό πέτασμα, όπως ακριβώς αναμένουμε.

Στη συνέχεια τοποθετώ σ' αυτή τη θέση το διάφραγμα (2), στο οποίο έχει τοποθετηθεί η ανθρώπινη τρίχα<sup>32</sup> ανάμεσα στα δύο τζάμια.

---

<sup>32</sup> Το πάχος της τρίχας είναι πολύ μεγαλύτερο από το μήκος κύματος  $\lambda$  του φωτός Laser.

Κατευθύνω τη φωτεινή δέσμη του Laser πάνω στην τρίχα του διαφράγματος και παρατηρώ το ίχνος στο πέτασμα.

Λογικό και αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός μίας σκιερής γραμμής (η σκιά της τρίχας) η οποία θα χωρίζει σε δύο μέρη το φωτεινό ίχνος του Laser. Η Γεωμετρική Οπτική και η απόλυτη παραδοχή της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός μας οδηγεί στην παραπάνω σκέψη. Όμως η πραγματικότητα είναι διαφορετική. Στο πέτασμα παρατηρούμε εναλλάξ φωτεινά και σκοτεινά ίχνη (κροσσούς) κατά μήκος μιας ευθείας κάθετης στην κατακόρυφο, στο μέσο των οποίων υπάρχει έντονα φωτεινό ίχνος. Τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν να εξηγηθούν από τη Γεωμετρική Οπτική και οφείλονται στη περίθλαση του φωτός, η οποία όπως προείπαμε εξηγείται από την Κυματική θεωρία.

Αφαιρούμε τελείως το διάφραγμα και εστιάζουμε την προσοχή των παιδιών στο ότι η φωτεινή κηλίδα, δηλαδή το ίχνος της φωτεινής πηγής Laser δεν είναι αυστηρά καθορισμένο, ούτε και ο περιβάλλοντας χώρος δεν είναι τελείως σκοτεινός. Τριγύρω υπάρχουν φωτεινές και σκοτεινές περιοχές για τις οποίες δεν μπορεί να δοθεί καμιά εξήγηση αν στηριχτούμε αποκλειστικά και μόνο στη Γεωμετρική μέθοδο προσέγγισης του φωτός. Στη συνέχεια επιδεικνύω στα παιδιά ότι στο μπροστινό μέρος της φωτεινής πηγής Laser υπάρχει οπή<sup>33</sup>, στα χείλη της οποίας λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της περιθλάσεως, που δίνει τα παραπάνω αποτελέσματα.

Αυτό ήταν το πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε πρώτα από το δάσκαλο – ερευνητή και κατόπιν από τα ίδια τα παιδιά. Τα υπόλοιπα βήματα της διδακτικής παρέμβασης δεν εμφανίζουν καμία διαφοροποίηση κατά την παρουσίασή τους τόσο στην πειραματική ομάδα όσο και στην ομάδα μαρτυρίας.

### **3.7 Τεχνικές κωδικοποίησης και ανάλυσης δεδομένων**

Εξ' αρχής διευκρινίζεται ότι για κάθε ερευνητική υπόθεση θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστή στατιστική ανάλυση.

Πρώτα γίνεται κωδικοποίηση των δεδομένων για καθεμία από τις μεταβλητές μας. Έτσι για τη μεταβλητή φύλο (v1) ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο κορίτσι ενώ ο αριθμός 2 στο αγόρι. Για τις μεταβλητές προτίμηση – ενδιαφέρον στο μάθημα των Φυσικών (v2) και δυσκολία κατανόησης του μαθήματος αυτού (v3), ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στην επιλογή «Καθόλου», ο αριθμός 2 στην επιλογή «Λίγο», ο αριθμός 3 στην επιλογή «Αρκετά» και ο αριθμός 4 στην επιλογή «Πολύ». Στην τελευταία μεταβλητή (v4) του 1<sup>ου</sup> μέρους του ερωτηματολογίου (προσωπικά στοιχεία), που είναι ο βαθμός προόδου του μαθητή στο

---

<sup>33</sup> Η διάμετρός της είναι πολύ μεγαλύτερη από το μήκος κύματος λ.

μάθημα των Φυσικών το 2<sup>ο</sup> τρίμηνο, οι αριθμοί 5,6,7,8,9 και 10 εκφράζουν τους αντίστοιχους βαθμούς προόδου<sup>34</sup>.

Στη συνέχεια ακολουθεί το δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου με τις ειδικές ερωτήσεις αντικειμένου. Οι περισσότερες από τις μεταβλητές, σ' αυτό το κομμάτι, ακολουθούνται από μία κλίμακα 5 κατηγοριών, ανάμεσα στις οποίες υπάρχει και η επιλογή – κατηγορία «Δεν ξέρω». Η στατιστική ανάλυση αυτές τις μεταβλητές θα τις αντιμετωπίσει με διττή διερεύνηση. Έτσι ο αριθμός 1 δίνεται στην επιλογή «Δεν ξέρω» και ο αριθμός 2 σε οποιαδήποτε από τις άλλες επιλογές (θεωρείται ως η επιλογή «Ξέρω»), για μια πρώτη στατιστική ανάλυση, ενώ για τη δεύτερη στατιστική ανάλυση οι αριθμοί 1,2,3 και 4 δίδονται στις υπόλοιπες επιλογές. Για τη δεύτερη αυτή στατιστική ανάλυση, οι μαθητές που έχουν επιλέξει το «Δεν ξέρω» γι' αυτή τη συγκεκριμένη μεταβλητή επιδέχονται τον κωδικό 0 κατά την κωδικοποίηση. Εδώ διευκρινίζεται ότι ο κωδικός 0 δεν έχει τη σημασία αυτών που δεν απάντησαν (missing), στη δεύτερη αυτή στατιστική ανάλυση. Αντίθετα τα missing για κάθε μεταβλητή θα έχουν υπολογιστεί από την πρώτη στατιστική ανάλυση («Δεν ξέρω» – «Ξέρω») που έχουν υποστεί τα δεδομένα της. Πιο συγκεκριμένα για τις μεταβλητές βαθμός σημαντικότητας για τη ζωή του ανθρώπου τεσσάρων φωτεινών σωμάτων (v5, v6, v7 και v8) ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Καθόλου σημαντικό», ο αριθμός 2 στο «Λίγο σημαντικό», ο αριθμός 3 στο «Αρκετά σημαντικό» και ο αριθμός 4 στο «Πολύ σημαντικό». Για τη μεταβλητή διάδοση του φωτός στο κενό (v9) ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Όχι», ο αριθμός 2 στο «Μάλλον όχι», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον ναι» και ο αριθμός 4 στο «Ναι». Για τις μεταβλητές τρόποι που περιγράφουν τη διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη (v10, v11, v12, v13 και v14) ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Διαφωνώ», ο αριθμός 2 στο «Μάλλον διαφωνώ», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον συμφωνώ» και ο αριθμός 4 στο «Συμφωνώ». Σ' αυτήν την ερώτηση η μεταβλητή v14 επιτρέπει στο παιδί να αναφέρει κάποιο άλλο δικό του τρόπο και να τσεκάρει κατόπιν την αντίστοιχη επιλογή. Ανάλογη δυνατότητα υπάρχει και σε άλλες ερωτήσεις. Για τη μεταβλητή δυνατότητα του ανθρώπου να επιζήσει χωρίς αυτά που του προσφέρει ο ήλιος (v15) ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Όχι», ο αριθμός 2 στο «Μάλλον όχι», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον ναι» και ο αριθμός 4 στο «Ναι». Στη συνέχεια στην ίδια ερώτηση (ερώτηση 8) υπάρχει ως

<sup>34</sup> Οι μαθητές των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού βαθμολογούνται σε κάθε μάθημα με βαθμούς από το 5 έως το 10. Εάν ένας μαθητής θεωρηθεί μη ικανός να προβιβασθεί δε λαμβάνει αριθμητικό βαθμό αλλά το χαρακτηρισμό (Δ).

δεύτερο μέρος μία ανοικτή ερώτηση, που ζητά από το μαθητή να εξηγήσει την επιλογή του στη μεταβλητή v15. Έτσι επιδιώκεται να γίνει αντιληπτό εάν ο μαθητής έχει κατανοήσει ότι στο φως και τη θερμότητα που μας παρέχει ο ήλιος κρύβεται το φυσικό μέγεθος της ενέργειας, που είναι τόσο απαραίτητη για την ύπαρξη της ζωής. Για τις μεταβλητές λόγοι για τους οποίους τα φυτά χρειάζονται το φως (v16, v17, v18, v19 και v20) ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Διαφωνώ», ο αριθμός 2 στο «Μάλλον διαφωνώ», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον συμφωνώ» και ο αριθμός 4 στο «Συμφωνώ». Και με αυτή την ερώτηση επιδιώκεται να διαφανεί εάν οι μαθητές έχουν συνειδητοποιήσει την προσφορά, στα φυτά, της ενέργειας μέσω του φωτός, ενέργεια που τους είναι απαραίτητη για να φτιάξουν την τροφή τους που είναι η γλυκόζη. Η μεταβλητή v19 αντιστοιχεί σε λόγο που μπορούν να προτείνουν οι μαθητές. Οι μεταβλητές v21, v22, v23, v24 v25, v26 και v27 αναφέρονται σε απόψεις που προσδιορίζουν (επεξηγούν) την έννοια του φωτός και έχουν την ίδια αντιστοίχιση αριθμών και κατηγοριών με προηγούμενα. Η μεταβλητή v27 δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να προτείνουν τη δική τους άποψη. Στο δεύτερο κομμάτι της ερώτησης 10 ζητείται να εντοπιστεί από τους μαθητές η άποψη που αυτοί θεωρούν ως καταλληλότερη (αυτή που ενστερνίζονται και κυριαρχεί στη σκέψη τους). Για τη μεταβλητή v28, που εκφράζει την πίστη τους στην άποψη των φωτεινών ακτίνων ως αποκλειστικό τρόπο διάδοσης του φωτός, ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Όχι», ο αριθμός 2 στο «Μάλλον όχι», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον ναι» και ο αριθμός 4 στο «Ναι». Στο δεύτερο τμήμα αυτής της ερώτησης (ανοικτή ερώτηση) ζητείται από τους μαθητές, εάν δεν πιστεύουν αποκλειστικά στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, να περιγράψουν ένα φαινόμενο με την εναλλακτική άποψη που πιθανώς να κατέχουν. Εάν δεν μπορούν να περιγράψουν, τσεκάρουν το «Δεν ξέρω». Στη μεταβλητή v29, που αναφέρεται στην πιθανότητα να γνωρίζουν οι μαθητές κάποια άλλη άποψη, σχετικά με τη διάδοση του φωτός, που να ερμηνεύει εξίσου πειστικά φαινόμενα τα οποία ερμηνεύονται και με την ευθύγραμμη διάδοσή του, ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Όχι» και ο αριθμός 2 στο «Ναι». Στην ανοικτή ερώτηση που υπάρχει στο δεύτερο μέρος ζητείται, εάν επέλεξαν το «Ναι», να διατυπώσουν την άλλη αυτή άποψη. Εάν δεν μπορούν επιλέγουν το «Δεν ξέρω». Τέλος η μεταβλητή v30 αναφέρεται στο αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η Οπτική. Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Ξέρω» και ταυτόχρονα ο αριθμός 1 στο «Φως» και ο αριθμός 2 σε άλλες λανθασμένες απαντήσεις. Στο δεύτερο μέρος αυτής της ερώτησης οι μαθητές γράφουν, εάν γνωρίζουν, τους κλάδους στους οποίους διαιρείται η Οπτική.



Ακολούθως θα παρουσιαστεί μια περιγραφική στατιστική ανάλυση των δεδομένων και έτσι από τη μια μεριά θα δούμε πως διαφοροποιείται το δείγμα μας, των 86 μαθητών, ως προς το φύλο, ως προς την προτίμηση – ενδιαφέρον και τη δυσκολία κατανόησης που θεωρεί ότι αναπτύσσει απέναντι στο μάθημα των Φυσικών, αλλά και ως προς το βαθμό προόδου στο μάθημα αυτό, το δεύτερο τρίμηνο. Από την άλλη πλευρά θα δούμε ποιες ιδέες είναι αυτές που ενστερνίζονται κυρίως οι μαθητές και πώς διαμορφώνεται η κατανομή των ιδεών αυτών, που σχετίζονται με το φως, στο δείγμα μας. Στη συνέχεια ανάλογη περιγραφική στατιστική ανάλυση θα πραγματοποιηθεί και για κάθε μία από τις δύο ομάδες (ελέγχου και πειραματική) ξεχωριστά, έτσι ώστε να έχουμε μια πρώτη συγκριτική εικόνα των δύο ομάδων του δείγματος.

Σειρά έχει η επιλογή των επαγωγικών στατιστικών αναλύσεων που θα πραγματοποιηθούν, ώστε να ελεγχθούν οι ερευνητικές μας υποθέσεις. Όπως προαναφέρθηκε, για κάθε υπόθεση και κατά συνέπεια για κάθε μία μεταβλητή θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστή στατιστική ανάλυση. Έτσι θα επεξεργαστούμε στατιστικά, χωριστά τα δεδομένα, πριν και μετά την παρέμβαση, της ομάδας ελέγχου των μαθητών και χωριστά αυτά της πειραματικής ομάδας, ώστε να ελεγχθούν οι 14 πρώτες υποθέσεις. Ακολούθως θα ελέγξουμε για στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων της πειραματικής ομάδας από τα δεδομένα της ομάδας ελέγχου, μετά την παρέμβαση, αφού όμως πρώτα έχουμε ελέγξει στατιστικά τις δύο ομάδες πριν την παρέμβαση ώστε να διαπιστώσουμε εάν ήταν ισοδύναμες ή αν υπερείχε η μία έναντι της άλλης. Έτσι μόνο θα μπορέσουμε να οδηγηθούμε σε σχετικά ασφαλή συμπεράσματα για τη 15<sup>η</sup> υπόθεση. Βασικές προϋποθέσεις για να εφαρμοστούν παραμετρικές στατιστικές αναλύσεις είναι οι παρακάτω:

- Τα δεδομένα να έχουν μετρηθεί σε ισοδιαστημική κλίμακα.
- Το δείγμα να είναι τυχαίο και αντιπροσωπευτικό.
- Οι αντίστοιχες παράμετροι του πληθυσμού να κατανέμονται κανονικά.

Ως προς τις κλίμακες μέτρησης των δεδομένων ισχύουν τα εξής: Για τις μεταβλητές v5 έως και v28 και για τη v30 οι κλίμακες μέτρησης, για την πρώτη στατιστική ανάλυση («Δεν ξέρω» – «Ξέρω») είναι ονοματικές. Για τη μεταβλητή 29 θα γίνει μόνο μία στατιστική ανάλυση στην οποία έχουμε ονοματική κλίμακα μέτρησης («Όχι» – «Ναι»). Για τη δεύτερη στατιστική ανάλυση των μεταβλητών v5 έως και v28 οι κλίμακες μέτρησης θεωρούνται τακτικές. Οι απαντήσεις διαβαθμίζονται από το πολύ θετικό μέχρι το πολύ αρνητικό. Αντίθετα για τη δεύτερη στατιστική ανάλυση της μεταβλητής v30 η κλίμακα είναι ονοματική. Σχεδόν σε όλες τις μεταβλητές υπάρχει σαφής διαβάθμιση των απαντήσεων σε σχέση με την ποσότητα ή το μέγεθος, έτσι ώστε ν' σκεφτόμαστε την πιο συνηθισμένη τακτική κλίμακα, την κλίμακα Likert:

«Συμφωνώ απόλυτα», «Συμφωνώ», «Αβέβαιος», «Διαφωνώ», «Διαφωνώ απόλυτα». Εφόσον λοιπόν δεν έχουμε ισοδιαστημική κλίμακα μέτρησης δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε παραμετρικά κριτήρια στατιστικής ανάλυσης. Γνωρίζουμε όμως (Μακράκης Β., 1997) ότι οι διακρίσεις ανάμεσα σε τακτικές και μετρικές μεταβλητές δεν είναι πάντα ξεκάθαρες. Είναι σχεδόν κανόνας να χρησιμοποιούμε παραμετρικές στατιστικές αναλύσεις με τακτικές μεταβλητές. Ακόμα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεταβλητή v29 είναι διχοτομική ονοματική μεταβλητή και εφόσον κωδικοποιήθηκε με αριθμητικούς κωδικούς ανήκει στην ιδιαίτερη κατηγορία μεταβλητών (Dummy) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανεξάρτητη μεταβλητή σε παραμετρική στατιστική ανάλυση. Βέβαια στην περίπτωσή μας η μεταβλητή v29 δεν είναι ανεξάρτητη μεταβλητή.

Ο πληθυσμός σ' αυτήν την έρευνα είναι οι μαθητές της Στ' τάξης των Δημοτικών σχολείων, σε όλη την Ελλάδα. Το δείγμα που έχουμε επιλέξει εμείς δεν πληρεί αυστηρά την τυχαιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα. Η αυστηρή ικανοποίηση αυτών των κριτηρίων προσέκρουσε στη συνήθη αδυναμία καταγραφής όλων των στοιχείων του πληθυσμού και της πρόσβασης σε αυτά.

Οι παραμετρικοί στατιστικοί έλεγχοι καλύπτουν ένα ευρύτερο φάσμα στατιστικών και είναι γενικά περισσότερο ισχυροί από ότι είναι οι απαραμετρικοί. Γι' αυτό και πολλές φορές χρησιμοποιούνται παραμετρικές στατιστικές αναλύσεις ακόμα κι αν γίνεται κάποια σχετική παραβίαση των προϋποθέσεων που απαιτούνται (Μακράκης Β., 1997).

Με βάση τα παραπάνω, στη δικιά μας έρευνα, θα προτιμήσουμε μη παραμετρικά στατιστικά κριτήρια. Στον έλεγχο της κανονικής κατανομής του πληθυσμού, για κάθε μεταβλητή, δεν προχωρήσαμε γιατί θεωρήσαμε την εξέλιξη στον έλεγχο των δύο άλλων προϋποθέσεων καθοριστική για την επιλογή μη παραμετρικών κριτηρίων. Συγκεκριμένα για τον έλεγχο των δεκατεσσάρων πρώτων υποθέσεων έχουμε δύο εξαρτημένα δείγματα. Πρόκειται για τα άτομα της ομάδας ελέγχου ή της πειραματικής ομάδας πριν και μετά την παρέμβαση. Για κάθε ομάδα και για τις μεταβλητές v5 – v28 και για τη v30 θα εφαρμοστεί αρχικά το μη παραμετρικό κριτήριο Mc – Nemar, επειδή πρόκειται για δύο εξαρτημένα δείγματα (τα υποκείμενα που χρησιμοποιούνται για τις στατιστικές αναλύσεις είναι ίδια πριν και μετά την παρέμβαση, που έχει το ρόλο της ανεξάρτητης μεταβλητής) και επειδή έχουμε δεδομένα σε ονοματική κλίμακα («Δεν ξέρω» – «Ξέρω»). Για τη μεταβλητή v29 θα γίνει μία στατιστική ανάλυση για κάθε ομάδα, με το μη παραμετρικό κριτήριο Mc – Nemar, επειδή έχουμε δύο εξαρτημένα δείγματα και δεδομένα σε ονοματική κλίμακα («Όχι» – «Ναι»). Στη δεύτερη στατιστική ανάλυση, για κάθε ομάδα και για τις μεταβλητές v5 – v28 θα χρησιμοποιήσουμε το μη παραμετρικό κριτήριο Wilcoxon, γιατί έχουμε δύο εξαρτημένα δείγματα και δεδομένα σε

τακτική κλίμακα. Για τη μεταβλητή v30 θα χρησιμοποιήσουμε και πάλι το Mc – Nemar γιατί τα δεδομένα είναι ξανά σε ονοματική κλίμακα. Για τη 15<sup>η</sup> υπόθεση πρώτα θα συγκρίνουμε την ομάδα ελέγχου και την πειραματική πριν από την παρέμβαση ώστε να ελέγξουμε εάν οι δύο ομάδες είναι ισοδύναμες. Στη συνέχεια θα τις ελέγξουμε και μετά από την παρέμβαση. Και για τους δύο ελέγχους θα εφαρμοστεί αρχικά για τις μεταβλητές v5 – v28 και για τη v30 μη παραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$  επειδή έχουμε δύο ανεξάρτητα δείγματα (η ομάδα ελέγχου και η πειραματική) και δεδομένα σε ονοματική κλίμακα («Δεν ξέρω» – «Ξέρω»). Για τη μεταβλητή v29 θα γίνει μία στατιστική ανάλυση για κάθε έλεγχο, με το μη παραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$ , επειδή έχουμε δύο ανεξάρτητα δείγματα και δεδομένα σε ονοματική κλίμακα («Όχι» – «Ναι»). Στη δεύτερη στατιστική ανάλυση των μεταβλητών v5 – v28 θα εφαρμοστεί το μη παραμετρικό κριτήριο U των Mann – Whitney γιατί έχουμε δύο ανεξάρτητα δείγματα και δεδομένα σε τακτική κλίμακα. Στη δεύτερη στατιστική ανάλυση της μεταβλητής v30 τα δεδομένα είναι ονοματικά και θα εφαρμοστεί το μη παραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$ .

Στο ερωτηματολόγιό μας υπάρχουν και μερικές ανοικτές ερωτήσεις οι οποίες συμπληρώνουν ή έχουν διευκρινιστικό ρόλο στις προϋπάρχουσες κλειστές ερωτήσεις και κατά συνέπεια στις μεταβλητές που έχουν αντιμετωπιστεί με τη βοήθεια της επαγωγικής στατιστικής. Η επεξεργασία αυτών των ανοικτών ερωτήσεων θα γίνει με ένα περισσότερο ποιοτικό, συγκριτικό τρόπο, ώστε να λάβουμε και άλλες πληροφορίες που θα συμπληρώσουν ή θα διευκρινίσουν τα αποτελέσματα της επαγωγικής στατιστικής ανάλυσης.

### **3.8 Αποτελέσματα της έρευνας**

Στο τμήμα αυτό της ερευνητικής έκθεσης θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε και να περιγράψουμε τα ευρήματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων, σύμφωνα με το εννοιολογικό και το μεθοδολογικό πλαίσιο της έρευνας και με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, συνάφεια, αντικειμενικότητα και πληρότητα. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν με συνοπτικούς πίνακες και σχεδιαγράμματα, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η κατανόησή τους και η ερμηνεία τους.

Πρώτα έγινε μία περιγραφική στατιστική ανάλυση των δεδομένων, ώστε να δούμε πώς διαφοροποιείται το δείγμα μας, των 86 μαθητών, ως προς το φύλο, ως προς την προτίμηση – ενδιαφέρον και τη δυσκολία κατανόησης που θεωρεί ότι αναπτύσσει απέναντι στο μάθημα των Φυσικών, αλλά και ως προς το βαθμό προόδου στο μάθημα αυτό το δεύτερο τρίμηνο. Ακόμη εντοπίσαμε ποιες ιδέες είναι αυτές που ενστερνίζονται κυρίως οι μαθητές και πώς διαμορφώνεται η κατανομή των ιδεών αυτών, που σχετίζονται με το φως, στο δείγμα μας.

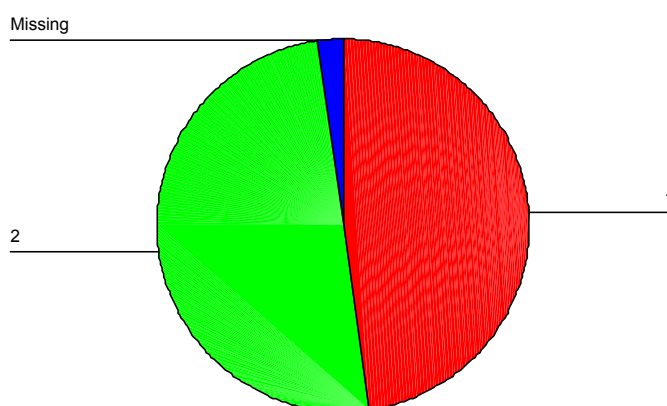
Ήδη για το πρώτο μέρος της στατιστικής ανάλυσης, των προσωπικών στοιχείων των μαθητών του δείγματος, έχει πραγματοποιηθεί σε προγενέστερο χρόνο άλλη ερευνητική εργασία από τον ίδιο δάσκαλο – ερευνητή με τον τίτλο «Μελέτη της επίδρασης του φύλου στη σχέση που αναπτύσσουν οι μαθητές Στ' τάξης του Δημοτικού σχολείου με το μάθημα των Φυσικών». Από αυτήν την εργασία θα παρουσιάσουμε ενδιαφέροντα στοιχεία για το δείγμα μας. Έτσι ως προς την πρώτη μεταβλητή (v1=φύλο) στη συνέχεια εμφανίζεται ο πίνακας κατανομής συχνοτήτων και η αντίστοιχη γραφική παράσταση.

**Πίνακας Σφάλμα!** Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

#### Κατανομή του δείγματος κατά φύλο

Φύλο	N	%
Κορίτσια	41	47,7
Αγόρια	43	50,0
Σύνολο	84	97,7
Missing	2	2,3
Νέο σύνολο	86	100,0

V1 Pie Chart



Γράφημα 1

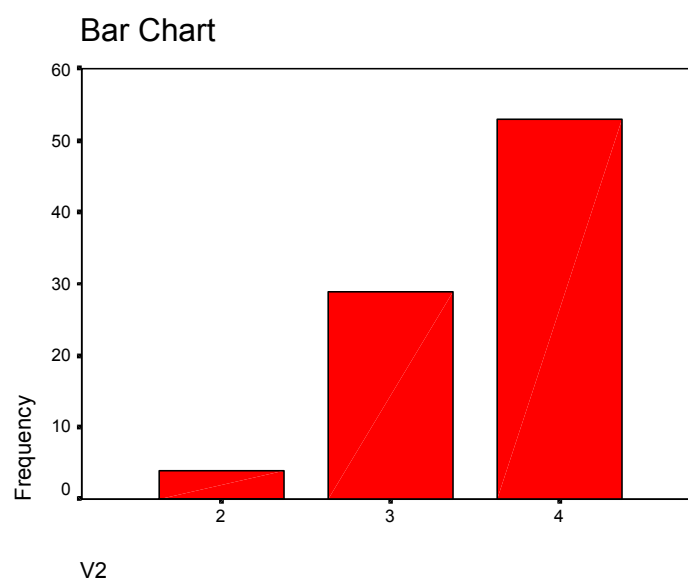
2 άτομα (2,3%) δεν απάντησαν (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό για τη μεταβλητή φύλο είναι 97,7%. Ποσοστό 50% του δείγματος είναι αγόρια ενώ το 47,7% είναι κορίτσια. Παρατηρούμε λοιπόν ότι έχουμε σχεδόν ισοκατανομή του δείγματος ως προς το φύλο.

Ως προς τη δεύτερη μεταβλητή (v2=προτίμηση – ενδιαφέρον για το μάθημα των Φυσικών) εμφανίζεται ο πίνακας κατανομής συχνοτήτων και η αντίστοιχη γραφική παράσταση.

**Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.**

**Κατανομή του δείγματος σύμφωνα με την προτίμηση - ενδιαφέρον για το μάθημα των Φυσικών**

Προτίμηση – ενδιαφέρον για το μάθημα των Φυσικών	N	%
Καθόλου	0	0
Λίγο	4	4,7
Αρκετά	29	33,7
Πολύ	53	61,6
Σύνολο	86	100,0



Γράφημα 2<sup>35</sup>

Όλα τα άτομα απάντησαν σ' αυτή τη μεταβλητή (έγκυρο ποσοστό 100%). Κανένα άτομο δεν ανέφερε ότι δεν του αρέσει καθόλου το μάθημα των Φυσικών. 4,7% του δείγματος ανέφερε ότι τους αρέσει λίγο το μάθημα αυτό, 33,7% ότι τους αρέσει αρκετά και 61,6% ότι τους αρέσει πολύ. Παρατηρούμε ότι γενικά υπάρχει η τάση στα παιδιά της Στ' Δημοτικού του δείγματος, να δηλώνουν προτίμηση – ενδιαφέρον στο μάθημα αυτό.

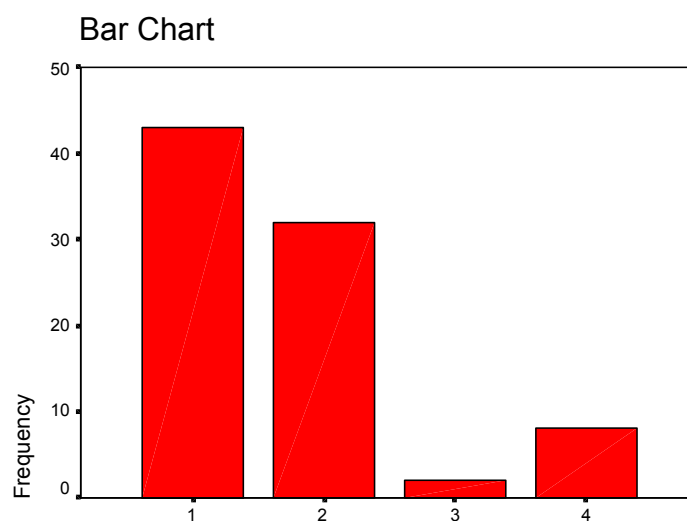
<sup>35</sup> Σε όλες τις γραφικές παραστάσεις αποτυπώνονται οι απόλυτες συχνότητες.

Ως προς την τρίτη μεταβλητή ( $v_3$ =βαθμός κατανόησης του μαθήματος των Φυσικών) ακολούθως εμφανίζεται ο πίνακας κατανομής συχνοτήτων και η αντίστοιχη γραφική παράσταση.

Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

**Κατανομή του δείγματος σύμφωνα με το βαθμό κατανόησης του μαθήματος των Φυσικών**

<b>Βαθμός κατανόησης του μαθήματος των Φυσικών</b>	<b>v</b>	<b>%</b>
Καθόλου	43	50,0
Λίγο	32	37,2
Αρκετά	2	2,3
Πολύ	8	9,3
Σύνολο	85	98,8
Missing	1	1,2
Νέο σύνολο	86	100,0



$v_3$

Γράφημα 3

1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό για τη μεταβλητή αυτή είναι 98,8%. 50% του δείγματος ανέφερε ότι θεωρεί ότι δε δυσκολεύεται καθόλου να καταλάβει το μάθημα των Φυσικών, 37,2% ανέφερε ότι θεωρεί ότι δυσκολεύεται λίγο, 2,3% ανέφερε ότι θεωρεί ότι δυσκολεύεται αρκετά και 9,3% ότι δυσκολεύεται πολύ. Παρατηρούμε ότι το ήμισυ του δείγματος θεωρεί ότι δε δυσκολεύεται καθόλου και τα μικρότερα ποσοστά του δείγματος δηλώνουν ένα σημαντικό βαθμό

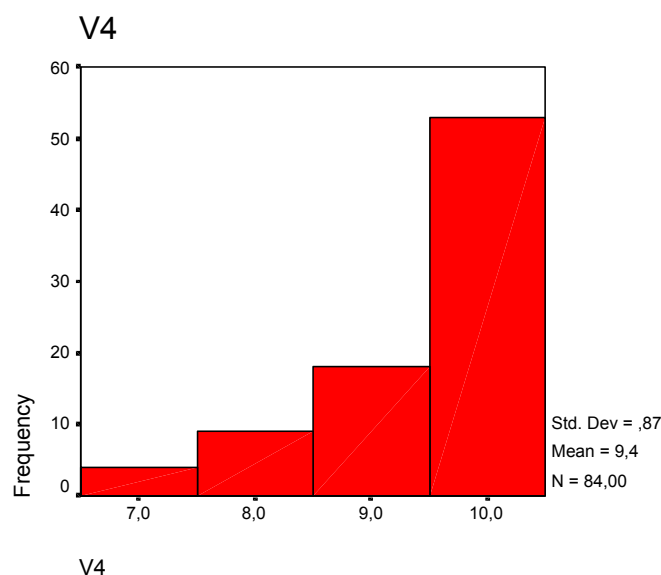
δυσκολίας στο μάθημα αυτό. Όμως ενώ κανείς δε δήλωσε ότι δε συμπαθεί καθόλου το μάθημα των Φυσικών ένα αξιοπρόσεκτο ποσοστό, κοντά στο 10%, δηλώνει ότι δυσκολεύεται πολύ να το κατανοήσει. Αυτό είναι ένα στοιχείο που προκαλεί προβληματισμό.

Τέλος ως προς την τέταρτη μεταβλητή (v4=βαθμός προόδου στο μάθημα των Φυσικών) στη συνέχεια εμφανίζεται ο πίνακας κατανομής συχνοτήτων και η αντίστοιχη γραφική παράσταση.

Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

Κατανομή του δείγματος σύμφωνα με το βαθμό προόδου στο μάθημα των Φυσικών

Βαθμός προόδου στο μάθημα των Φυσικών	N	%
7	4	4,7
8	9	10,5
9	18	20,9
10	53	61,6
Σύνολο	84	97,7
Missing	2	2,3
Νέο σύνολο	86	100,0

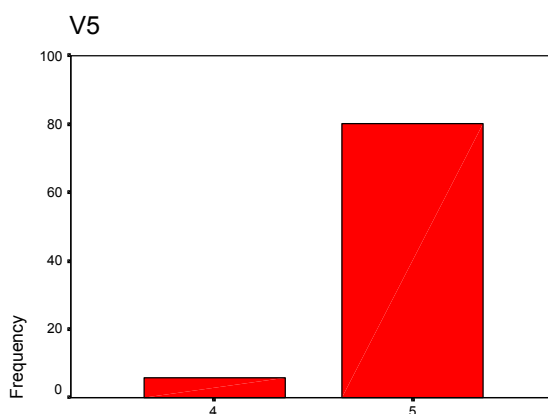


Γράφημα 4

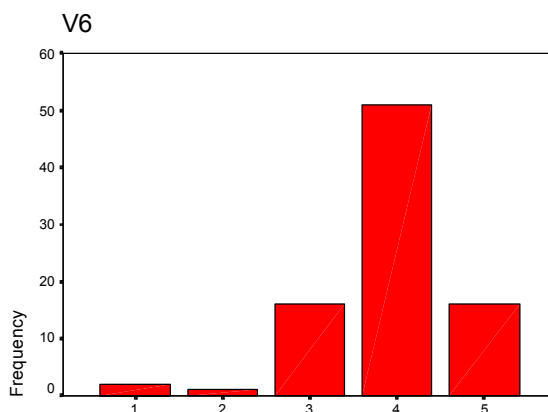
2 άτομα (2,3%) δεν απάντησαν (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό για τη μεταβλητή αυτή είναι 97,7%. Κανένα άτομο δε δήλωσε βαθμό προόδου κάτω από 7. 4,7% δήλωσαν βαθμό προόδου 7, 10,5% δήλωσαν βαθμό προόδου 8, 20,9% δήλωσαν 9 και 61,6% δήλωσαν βαθμό προόδου στο

δεύτερο τρίμηνο, για το μάθημα των Φυσικών, 10. Με βάση τα στοιχεία αυτά αλλά και με την προσωπική εμπειρία που διαθέτει ο δάσκαλος – ερευνητής μπορεί να αναφερθεί ότι διαφαίνεται μία τάση για καλή βαθμολόγηση στο μάθημα των Φυσικών, ιδιαίτερα στο δεύτερο τρίμηνο που είναι και το ενδιάμεσο της σχολικής χρονιάς, από τους εκπαιδευτικούς πρώτης βαθμίδας, με ότι μπορεί να συνεπάγεται αυτό. Διευκρινίζοντας επαναλαμβάνω ότι τα τμήματα αυτά της Στ΄ τάξης επιλέχθηκαν τυχαία από τη γεωγραφική περιοχή των Χανίων και φυσικά δεν προϋπήρξε καμία επιλογή της ποιότητας των μαθητών του δείγματος, ως προς το γνωστικό τους υπόβαθρο στο μάθημα των Φυσικών.

Ως προς τις ιδέες που ενστερνίζονται κυρίως οι μαθητές, σε σχέση με το φως, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση για όλες τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, των δεδομένων όλων των ατόμων του δείγματος, πριν από την παρέμβαση. Έτσι για τις μεταβλητές βαθμός σημαντικότητας, για τη ζωή του ανθρώπου, του ήλιου (v5), της σελήνης (v6), των άστρων (v7) και των κάθε μορφής ηλεκτρικών λαμπτήρων (v8) βλέπουμε πώς αποτυπώνονται οι απόψεις των μαθητών στις γραφικές παραστάσεις του γραφήματος 5.

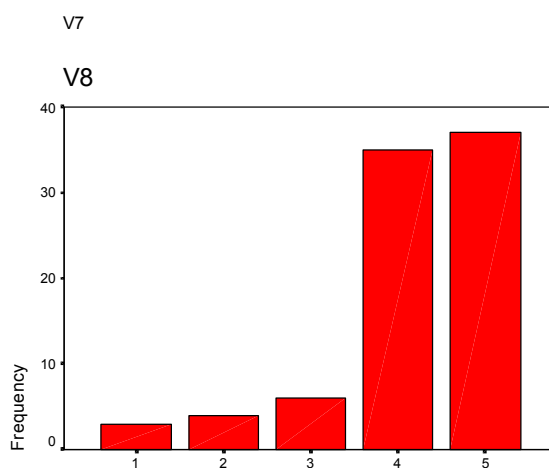
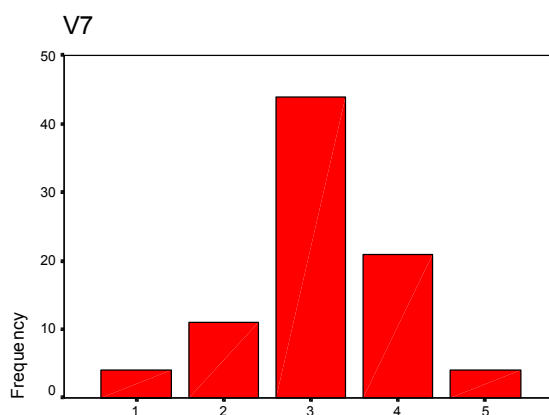


V5



V6





V8

Γράφημα 5<sup>36</sup>

Ως προς τη φωτεινή πηγή του ήλιου όλα τα άτομα του δείγματος απάντησαν (έγκυρο ποσοστό 100%). Συγκεκριμένα επιλέγουν στη συντριπτική τους πλειοψηφία (ποσοστό 93%) το «Πολύ σημαντικό», το 7% επιλέγει το «Αρκετά σημαντικό», ενώ κανείς δε θεωρεί τον ήλιο λίγο ή καθόλου σημαντικό για τη ζωή του ανθρώπου και κανείς δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω». Απ' αυτό καταλαβαίνουμε ότι τα παιδιά έχουν συνειδητοποιήσει την αξία του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου. Τα δεδομένα διαφοροποιούνται στις άλλες μεταβλητές, όπως φαίνεται από τις υπόλοιπες γραφικές παραστάσεις, με εξαίρεση ίσως τη μεταβλητή v8. Σ' αυτήν 1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 98,8%. Το 43% επέλεξε το «Πολύ σημαντικό», το 40,7% το «Αρκετά σημαντικό» και μόλις το 7% το «Λίγο σημαντικό», το 4,7% το «Καθόλου σημαντικό» και το 3,5% το «Δεν ξέρω». Τα σχετικά

<sup>36</sup> Σε όλες τις γραφικές παραστάσεις ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Καθόλου σημαντικό», ο αριθμός 3 στο «Λίγο σημαντικό», ο αριθμός 4 στο «Αρκετά σημαντικό» και ο αριθμός 5 στο «Πολύ σημαντικό».

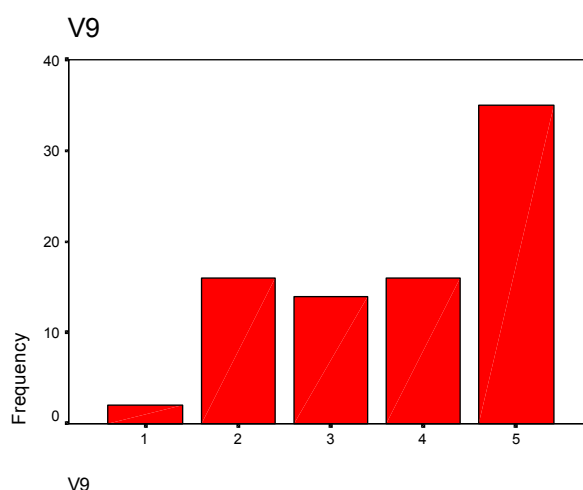
μεγάλα ποσοστά του υψηλού βαθμού σημασίας των κάθε μορφής ηλεκτρικών λαμπτήρων ίσως να οφείλονται στην τάση των παιδιών αλλά και γενικότερα των ανθρώπων να θεωρούν αρκετά σημαντικούς για την καθημερινή τους ζωή τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες, ιδιαίτερα την νύχτα (αναγκαίους όχι για την ύπαρξη ζωής αλλά για τη διευκόλυνσή της).

Ως προς τη μεταβλητή ν9 που αναφέρεται στην ικανότητα του φωτός να διαδίδεται στο κενό παρουσιάζεται ο πίνακας τιμών και η γραφική παράσταση.

Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

**Κατανομή του δείγματος ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι το φως μπορεί να διαδίδεται στο κενό**

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι το φως μπορεί να διαδίδεται στο κενό	N	%
Δεν ξέρω	2	2,3
Όχι	16	18,6
Μάλλον όχι	14	16,3
Μάλλον ναι	16	18,6
Ναι	35	40,7
Σύνολο	83	96,5
Missing	3	3,5
Νέο σύνολο	86	100,0

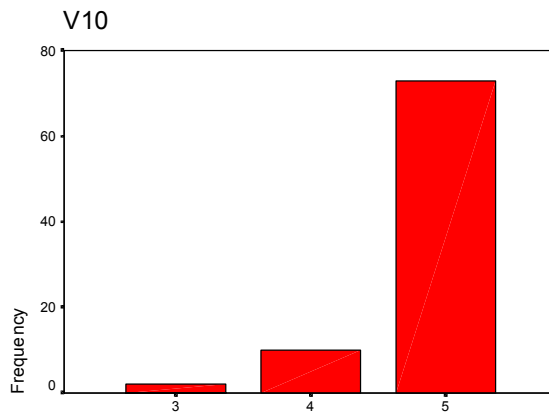


Γράφημα 6<sup>37</sup>

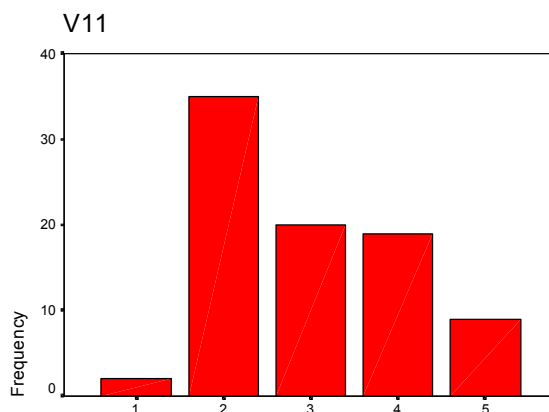
<sup>37</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Όχι», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον όχι», ο αριθμός 4 στο «Μάλλον ναι» και ο αριθμός 5 στο «Ναι».

3 άτομα (3,5%) δεν απάντησαν (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 96,5%. 40,7% επέλεξε το «Ναι», που συμπίπτει και με την επιστημονική άποψη, 18,6% το «Μάλλον ναι», 16,3% το «Μάλλον όχι», 18,6% το «Όχι» και 2,3% το «Δεν ξέρω». Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχεί στην επιστημονική άποψη, αλλά υπάρχουν σημαντικά ποσοστά μαθητών τόσο στις θέσεις που δηλώνουν αβεβαιότητα όσο και στη λανθασμένη απάντηση, παρόλο που τα παιδιά έχουν διδαχθεί μέσα στη σχολική τους χρονιά την επιστημονική άποψη.

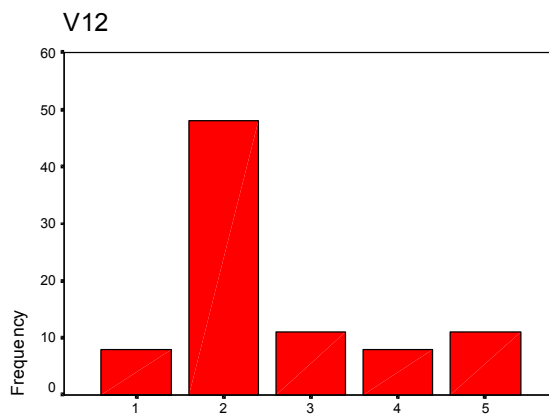
Στη συνέχεια ακολουθεί η επεξεργασία των μεταβλητών που αναφέρονται στους τρόπους που περιγράφεται η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη, όπως είναι οι ευθύγραμμες ακτίνες (v10), τα κύματα (v11), η μεταφορά μέσω κάποιου σώματος που παρεμβάλλεται ανάμεσα στον ήλιο και στη γη (v12), τα ρεύματα κάποιων σωμάτων που μεταφέρουν τη φωτεινή ενέργεια από τον ήλιο στη γη (v13) ή κάποιος άλλος προτεινόμενος από τα παιδιά (v14). Οι γραφικές παραστάσεις του γραφήματος 7 μας κατατοπίζουν σχετικά.



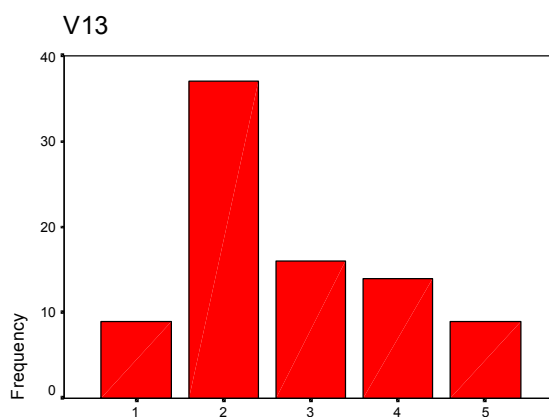
V10



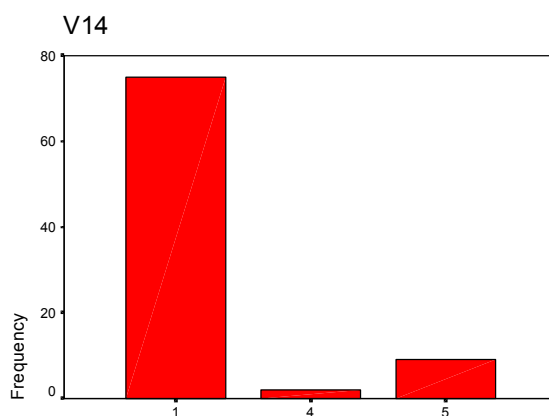
V11



V12



V13



V14

Γράφημα 7<sup>38</sup>

Ως προς την περιγραφή της διάδοσης του φωτός με ευθύγραμμες ακτίνες 1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε. Το έγκυρο ποσοστό ήταν 98,8%. 84,9% του δείγματος επέλεξε το «Συμφωνώ», 11,6% επέλεξε το «Μάλλον συμφωνώ», 1,2% επέλεξε το «Μάλλον διαφωνώ» και 1,2% επέλεξε το «Διαφωνώ».

<sup>38</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Διαφωνώ», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον διαφωνώ», ο αριθμός 4 στο «Μάλλον συμφωνώ» και ο αριθμός 5 στο «Συμφωνώ».

συμφωνώ» και 2,3% το «Μάλλον διαφωνώ». Στις άλλες δύο επιλογές δεν τοποθετήθηκε κανείς μαθητής. Από αυτά καταλαβαίνουμε πόσο βαθιά ριζωμένη είναι στα παιδιά η άποψη της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός, άποψη που παρουσιάζεται ως αποκλειστικός τρόπος διάδοσής του από το σχολικό τους εγχειρίδιο. Αυτή η άποψη όμως αντιπροσωπεύει μόνο το ένα από τα τρία επιστημονικά παραδεκτά μοντέλα προσέγγισης του φωτός, ίσως το πιο απλό μα συνάμα και το πιο απλοϊκό από τα τρία. Ως προς την περιγραφή της διάδοσης του φωτός με κύματα 1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε. Το έγκυρο ποσοστό ήταν 98,8%. 10,5% του δείγματος επέλεξε το «Συμφωνώ», 22,1% επέλεξε το «Μάλλον συμφωνώ», 23,3% το «Μάλλον διαφωνώ», 40,7% το «Διαφωνώ» και 2,3% το «Δεν ξέρω». Όπως παρατηρούμε το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος διαφωνεί με την περιγραφή της διάδοσης του φωτός με κύματα, σημαντικά ποσοστά δηλώνουν αβεβαιότητα στις απαντήσεις τους και μόνο το 10,5% του δείγματος αποδέχεται τον κυματικό τρόπο διάδοσης του φωτός. Αυτό το μοντέλο λοιπόν, που στηρίζει φαινόμενα στη φύση που δεν μπορούν να ερμηνευθούν αλλιώς, δε φαίνεται να έχει υποπέσει στην αντίληψη πολλών παιδιών αυτής της ηλικίας. Για τις επόμενες δύο μεταβλητές τα παιδιά μάλλον οδηγούνται κυρίως προς τη διαφωνία, με σημαντικά ποσοστά, χωρίς να απουσιάζουν και παιδιά που δηλώνουν ότι συμφωνούν με αυτές τις απόψεις. Τέλος για τη μεταβλητή v14, που αναφέρεται σε τρόπο περιγραφής της διάδοσης του φωτός που προτείνεται από τα παιδιά, το 12,8% του δείγματος πρότεινε δικό του τρόπο<sup>39</sup>. Αξιοπρόσεχτος είναι ο τρόπος που προτείνεται από μαθητή, για την περιγραφή της διάδοσης του φωτός, με μικροσωμάτια που μεταφέρουν το φως από τον ήλιο στη γη, άποψη που άπτεται στο σωματιδιακό – κβαντικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός. Αρκετές από τις άλλες απόψεις αναφέρονται σε δέσμες φωτός ή σε φωτεινές ακτίνες, σημείο που υποδηλώνει τη μη ικανοποιητική συσχέτιση από ορισμένα παιδιά των ευθύγραμμων ακτίνων με τις φωτεινές ακτίνες ή με τις δέσμες φωτός. Κάποιες άλλες προτάσεις αναφέρουν την έκφραση «ακτινοβολία φωτός» και χρήζουν και αυτές ιδιαίτερης προσοχής. Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι ο χαρακτηρισμός του φωτός ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαίρει ευρύτατης αποδοχής στις μέρες μας.

Ακολουθεί η παρουσίαση του πίνακα τιμών και της γραφικής παράστασης της μεταβλητής ικανότητα του ανθρώπου να επιζήσει χωρίς τις προσφορές του φωτός και της θερμότητας από τον ήλιο (v15).

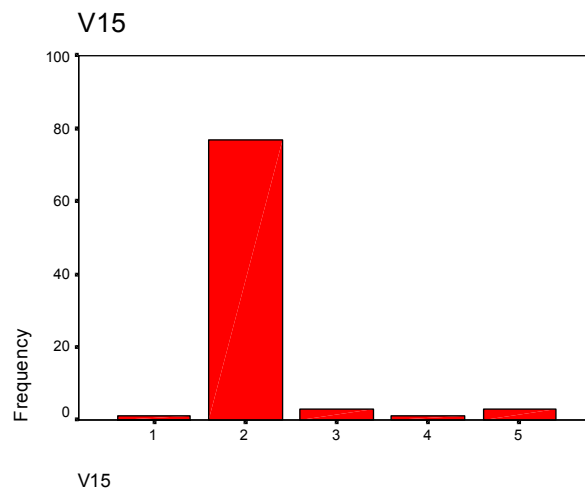
---

<sup>39</sup> Τα άτομα που δεν πρότειναν δικό τους τρόπο τοποθετήθηκαν στην επιλογή «Δεν ξέρω».

Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

Κατανομή του δείγματος ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι ο άνθρωπος μπορεί να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι ο άνθρωπος μπορεί να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου	v	%
Δεν ξέρω	1	1,2
Όχι	77	89,5
Μάλλον όχι	3	3,5
Μάλλον ναι	1	1,2
Ναι	3	3,5
Σύνολο	85	98,8
Missing	1	1,2
Νέο σύνολο	86	100,0



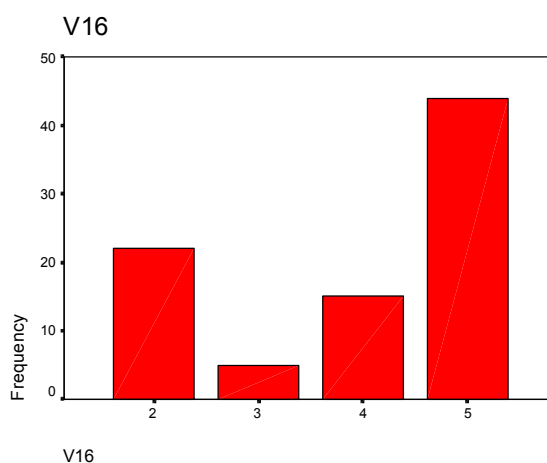
Γράφημα 8

1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε (missing) ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 98,8%. 3,5% του δείγματος επέλεξε το «Ναι»<sup>40</sup>, 1,2% επέλεξε το «Μάλλον ναι», 3,5% επέλεξε το «Μάλλον όχι», 89,5% επέλεξε το «Όχι» και 1,2% επέλεξε το «Δεν ξέρω». Είναι φανερό ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος είναι σίγουρη σχετικά με το πόσο σημαντικός, για την επιβίωση του ανθρώπου, είναι ο ήλιος και αυτά που μας προσφέρει. Συσχετίζοντας τα παραπάνω και με τα αποτελέσματα της μεταβλητής v5 κατανοούμε ότι η πλειοψηφία των μαθητών είναι πολύ κοντά στην επιστημονική άποψη σχετικά με το σημείο αυτό. Η ανοικτή ερώτηση που ακολουθεί τη μεταβλητή v15 προσπαθεί να διερευνήσει εάν οι μαθητές έχουν συνειδητοποιήσει ότι η

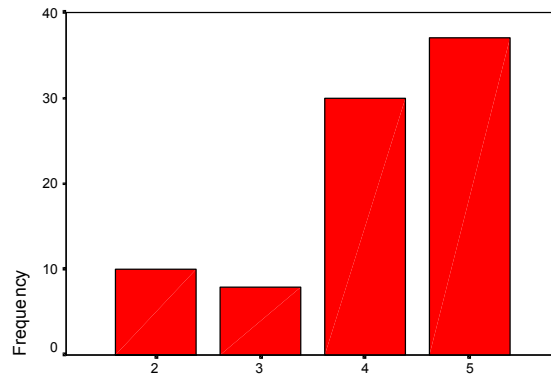
<sup>40</sup> Η αντιστοίχιση αριθμών και κατηγοριών είναι ίδια με τη μεταβλητή v9.

φυσική έννοια της ενέργειας κρύβεται πίσω από αυτά που μας προσφέρει ο ήλιος. Η ανάλυση των απαντήσεων στην ερώτηση αυτή μας οδηγεί στη σκέψη ότι οι μαθητές του δείγματος δε δείχνουν να έχουν συνειδητοποιήσει ποιο φυσικό μέγεθος κρύβεται πίσω από το φως και τη θερμότητα που μας προσφέρει ο ήλιος, ή τουλάχιστον δεν μπορούν άμεσα να το εκφράσουν, πιθανών γιατί δεν το έχουν συνειδητά και ισχυρά προσδιορίσει. Συγκεκριμένα μόνο ένας μαθητής αναφέρει ρητά ότι η ενέργεια είναι αυτή που μας δίδεται από τον ήλιο, ώστε να μπορούμε να επιζήσουμε. Η πλειονότητα των μαθητών αναφέρει ότι το φως και η θερμότητα του ήλιου είναι στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών, του πρώτου κρίκου της τροφικής αλυσίδας, και κατ' επέκταση και όλων των άλλων ζωντανών οργανισμών και γενικολογεί μιλώντας για χρήσιμα πράγματα για τη ζωή του ανθρώπου χωρίς να προσδιορίζει συγκεκριμένα τι. Μεγάλα ποσοστά μαθητών του δείγματος δίνουν ιδιαίτερη σημασία στη χρησιμότητα του φωτός για να βλέπουμε όπως και στο απόλυτο κρύο (μάλλον απόλυτη έλλειψη θερμικής ενέργειας θα έπρεπε να αναφερθεί) που θα επικρατούσε στη γη, χωρίς τον ήλιο και που δε θα επέτρεπε την ύπαρξη ζωής. Όλα αυτά δείχνουν ότι δεν έχουν συνειδητοποιήσει οι μαθητές ότι το φυσικό μέγεθος της ενέργειας είναι αυτό που επιτρέπει την ύπαρξη οποιασδήποτε μορφής ζωής και που εδώ στη γη μάς δίδεται κυρίως από τον ήλιο.

Οι μεταβλητές λόγοι για τους οποίους τα φυτά χρειάζονται το φως και οι οποίοι αποτυπώνονται στις απόψεις γιατί είναι ένα είδος τροφής γι' αυτά (v16), γιατί τους προσφέρει ενέργεια απαραίτητη για να πάρουν την τροφή τους από το χώμα (v17), γιατί τους προσφέρει ενέργεια απαραίτητη για να φτιάξουν μόνα τους την τροφή τους (v18), για κάποιο άλλο λόγο που θα προτείνουν οι μαθητές (v19) ή δεν τους χρειάζεται (v20) παρουσιάζονται στο γράφημα 9.

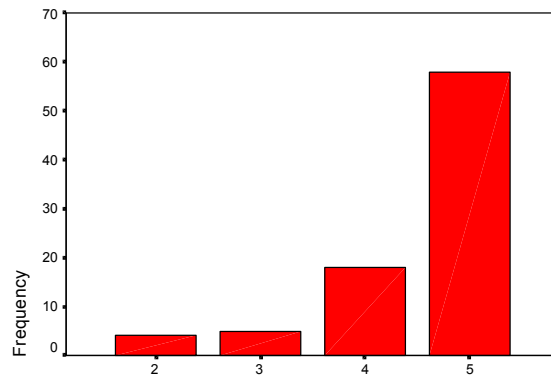


V17



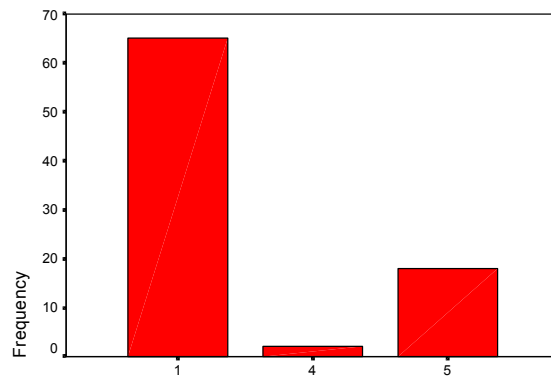
V17

V18



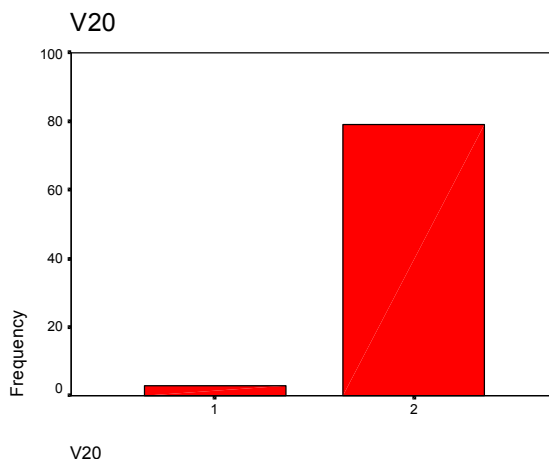
V18

V19



V19





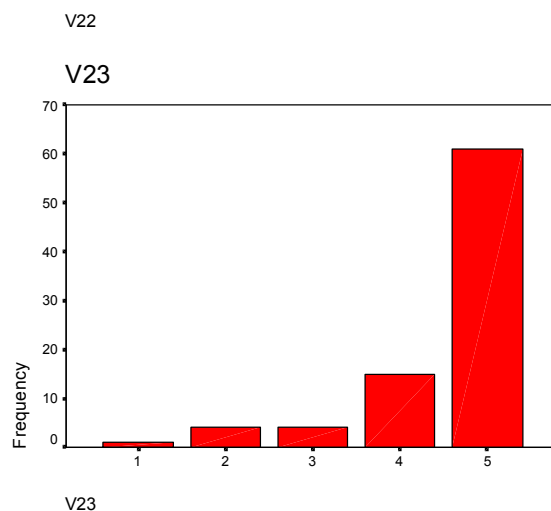
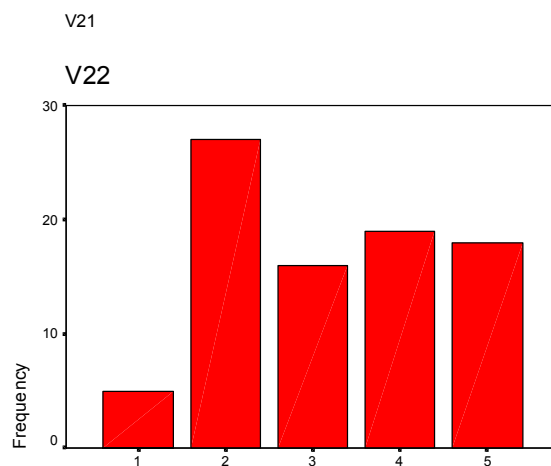
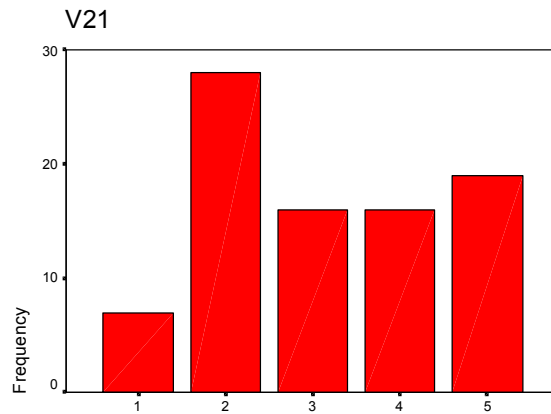
Γράφημα 9<sup>41</sup>

Για τη μεταβλητή v16 όλα τα άτομα απάντησαν (έγκυρο ποσοστό 100%). Το 51,2% επέλεξε το «Συμφωνώ», το 17,4% το «Μάλλον συμφωνώ», το 5,8% το «Μάλλον διαφωνώ» και το 25,6% το «Διαφωνώ». Κανείς δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω». Παρατηρούμε ότι ένα σημαντικό ποσοστό, πάνω από το 50% συμφωνεί μ' αυτή την άποψη που αντίκειται με την επιστημονική αντίληψη. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και για τη μεταβλητή v17. Για τη μεταβλητή v18, που αντιπροσωπεύει μια συμβατή με τις επιστημονικές αντιλήψεις άποψη, 1 άτομο (ποσοστό 1,2%) δεν απάντησε (missing). Έγκυρο ποσοστό 98,8%. Το 67,4% του δείγματος επέλεξε το «Συμφωνώ», το 20,9% επέλεξε το «Μάλλον συμφωνώ», το 5,8% επέλεξε το «Μάλλον διαφωνώ» και το 4,7% το «Διαφωνώ». Κανείς μαθητής δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω». Η μεταβλητή v19 αναφέρεται σε λόγους που μπορούν να προτείνουν οι μαθητές. Το 22,3% του δείγματος πρότεινε δικό του λόγο. Από αυτούς οι περισσότεροι είπαν ότι το φως χρειάζεται γενικά στα φυτά για να φωτοσυνθέτουν ενώ αρκετοί άλλοι μίλησαν για ανάπτυξη των φυτών. Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι τα παιδιά έχουν σαφώς διασυνδέσει το φως με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, χωρίς όμως πιθανών να κατανοούν τι ακριβώς γίνεται σ' αυτήν, όπως επίσης και χωρίς να εντοπίζουν πώς ακριβώς επιτυγχάνεται η ανάπτυξη των φυτών. Τέλος για τη μεταβλητή v20 που λέει ότι το φως δεν τους χρειάζεται 4 άτομα (4,7%) δεν απάντησαν (missing). Έγκυρο ποσοστό 95,3%. Το 91,9% του δείγματος επέλεξε το «Διαφωνώ» και το 3,5% το «Δεν ξέρω». Καμία άλλη κατηγορία δεν επελέγει. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών γνωρίζει ότι το φως είναι απαραίτητο στα φυτά. Παρόλα αυτά από την ανάλυση των παραπάνω

<sup>41</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Διαφωνώ», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον διαφωνώ», ο αριθμός 4 στο «Μάλλον συμφωνώ» και ο αριθμός 5 στο «Συμφωνώ».

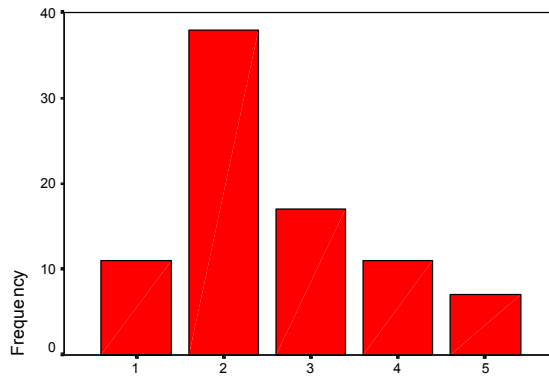
μεταβλητών φαίνεται ότι σημαντικά ποσοστά μαθητών συμφωνούν με απόψεις που αντίκεινται με τις επιστημονικές αντιλήψεις.

Για τις μεταβλητές απόψεις για την έννοια φως, που είναι άυλο σώμα που μας περιβάλλει (v21), αέρια μάζα που μας περιβάλλει (v22), ακτίνες οι οποίες αποτελούν φωτεινές δέσμες (v23), κύματα (v24), μικροσκοπικά σωματίδια (v25), ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (v26) ή η προτεινόμενη από τα παιδιά (v27), το γράφημα 10 μας παρουσιάζει τις γραφικές τους παραστάσεις.



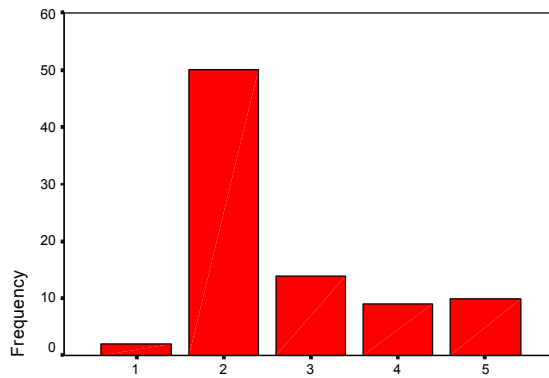
V23

V24



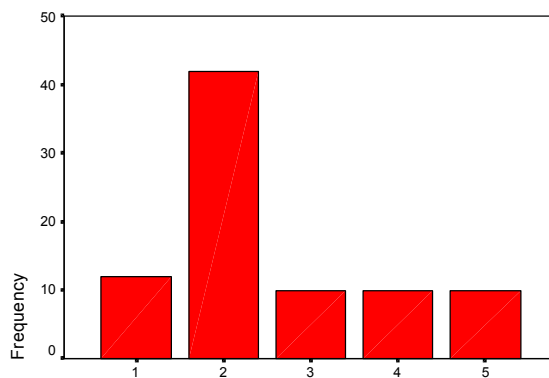
V24

V25



V25

V26



V26



Γράφημα 10<sup>42</sup>

Για τις μεταβλητές v21 και v22 υπερτερεί η επιλογή της κατηγορίας «Διαφωνώ» με 32,6% και 31,4% αντίστοιχα, αλλά όχι με μεγάλη διαφορά από τις υπόλοιπες. Και οι δύο αυτές μεταβλητές αναφέρονται σε απόψεις που δε συμβαδίζουν με τα επιστημονικώς παραδεκτά. Για τη μεταβλητή v23 1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε (missing). Έγκυρο ποσοστό 98,8%. 70,9% του δείγματος επέλεξε το «Συμφωνώ», 17,4% επέλεξε το «Μάλλον συμφωνώ», 4,7% επέλεξε το «Μάλλον διαφωνώ», 4,7% το «Διαφωνώ» και 1,2% το «Δεν ξέρω». Παρατηρούμε ότι το συντριπτικό ποσοστό των μαθητών συμφωνεί (με απόλυτη βεβαιότητα ή μη) μ' αυτή την άποψη, η οποία συμβαδίζει μ' αυτά που διδάσκονται από το σχολικό τους εγχειρίδιο. Για τη μεταβλητή v24 2 άτομα (2,3%) δεν απάντησαν (missing). Έγκυρο ποσοστό 97,7%. 8,1% του δείγματος επιλέγει το «Συμφωνώ», 12,8% το «Μάλλον συμφωνώ», 19,8% το «Μάλλον διαφωνώ», 44,2% το «Διαφωνώ» και 12,8% το «Δεν ξέρω». Ανάλογα αποτελέσματα έχουμε και στη μεταβλητή v25. Σ' αυτήν 1 άτομο (1,2%) δεν απάντησε (missing). Έγκυρο ποσοστό 98,8%. 11,6% του δείγματος επιλέγει το «Συμφωνώ», 10,5% το «Μάλλον συμφωνώ», 16,3% το «Μάλλον διαφωνώ», 58,1% το «Διαφωνώ» και 2,3% το «Δεν ξέρω». Και οι δύο αυτές απόψεις, που αντιπροσωπεύουν το κυματικό και το κβαντικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός και που δεν αγγίζονται από τη σχολική διδακτική πράξη, κερδίζουν με ξεκάθαρες διαφορές (ποσοστά γύρω στο 50%) τη διαφωνία των μαθητών. Όσο δε για τη μεταβλητή v26, που αντιστοιχεί στην πιο δημοφιλή στον επιστημονικό κόσμο άποψη των ημερών μας, τα αποτελέσματα είναι χαρακτηριστικά. 2 άτομα (2,3%) δεν απάντησαν σ' αυτήν (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 97,7%. 11,6% του δείγματος επιλέγει το «Συμφωνώ», 11,6% το «Μάλλον συμφωνώ», 11,6% το «Μάλλον διαφωνώ», 48,8% το

<sup>42</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Διαφωνώ», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον διαφωνώ», ο αριθμός 4 στο «Μάλλον συμφωνώ» και ο αριθμός 5 στο «Συμφωνώ».

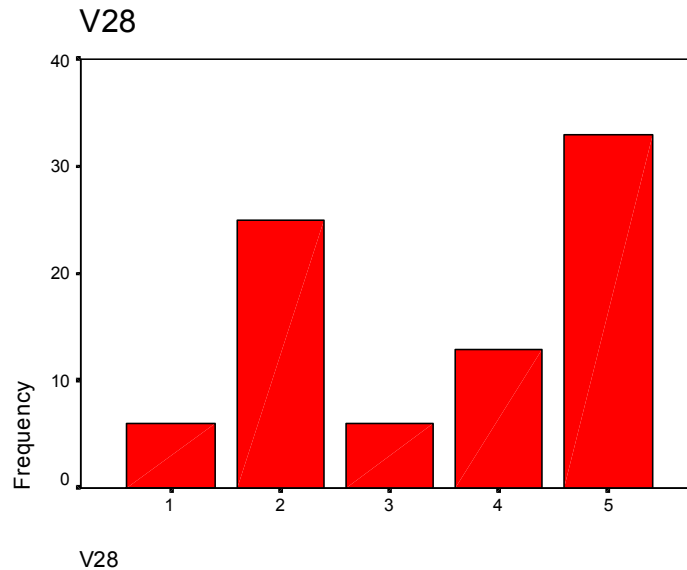
«Διαφωνώ» και 14% το «Δεν ξέρω». Κοντά στο 60% των μαθητών του δείγματος τείνει στη διαφωνία (με βεβαιότητα ή όχι) απέναντι στην άποψη που κυρίως αποδέχεται ο επιστημονικός κόσμος. Ίσως αυτό το αποτέλεσμα πρέπει περισσότερο απ' οποιοδήποτε άλλο ν' αυξήσει τον προβληματισμό μας. Για τη μεταβλητή v27 μόνο το 3,5% του δείγματος πρότεινε δικιά του άποψη. Οι εκφράσεις φωτεινές δέσμες και ευθύγραμμες ακτίνες επαναλαμβάνονται όπως και στη μεταβλητή v14. Στη συνέχεια υπάρχει η ανοικτή ερώτηση που ζητάει από τους μαθητές να εντοπίσουν την άποψη που θεωρούν ως καταλληλότερη για την περιγραφή του φωτός. Αυτή προφανώς θα είναι και η κυρίαρχη στη σκέψη τους, για την έννοια φως. Το 14,7% των μαθητών του δείγματος προτίμησε να μην απαντήσει σ' αυτήν την ανοικτή ερώτηση. Από τους υπόλοιπους μαθητές που απάντησαν το 64% επιλέγει τις ακτίνες, ένα σημαντικό ποσοστό (18,6%) θεωρεί ότι το φως είναι ένα άυλο σώμα που μας περιβάλλει (είναι σαν να κολυμπάμε μέσα σε μια θάλασσα φωτός) και μόλις 4 μαθητές (5,3%) αποδέχονται σαν καταλληλότερη άποψη για την έννοια φως την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Είναι φανερό ότι απόψεις που συμβαδίζουν με φαινόμενα που εμπίπτουν συνηθέστερα στις αισθήσεις των παιδιών και που προωθούνται και από τη διδακτική πράξη κυριαρχούν στις αντιλήψεις τους, χωρίς όμως συνάμα να μπορούν να εκτοπίσουν εντελώς ορισμένες ασύμβατες με τα επιστημονικά δεδομένα ιδέες. Αντίθετα διαφαίνεται ότι οι συμβατές με τα επιστημονικά δεδομένα αντιλήψεις δεν είναι προσιτές στη μεγάλη πλειοψηφία των παιδιών.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τη μεταβλητή v28 που αναφέρεται στο εάν πιστεύουν οι μαθητές ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα με τη μορφή φωτεινών ακτίνων. Στη συνέχεια βλέπουμε τον πίνακα τιμών και τη γραφική παράσταση.

Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

**Κατανομή του δείγματος ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα με τη μορφή φωτεινών ακτίνων**

<b>Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα με τη μορφή φωτεινών ακτίνων</b>	<b>v</b>	<b>%</b>
Δεν ξέρω	6	7,0
Όχι	25	29,1
Μάλλον όχι	6	7,0
Μάλλον ναι	13	15,1
Ναι	33	38,4
Σύνολο	83	96,5
Missing	3	3,5
Νέο σύνολο	86	100,0



Γράφημα 11<sup>43</sup>

3 άτομα (ποσοστό 3,5%) δεν απάντησαν (missing). Το έγκυρο ποσοστό είναι 96,5%. 38,4% επέλεξαν το «Ναι», 15,1% επέλεξαν το «Μάλλον ναι», 7% το «Μάλλον όχι», 29,1% το «Όχι» και 7% το «Δεν ξέρω». Το μεγαλύτερο ποσοστό λοιπόν πιστεύει ότι πάντα το φως διαδίδεται με τη μορφή φωτεινών ακτίνων, γεγονός που συμβαδίζει με τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις των προηγούμενων μεταβλητών. Όλα αυτά δείχνουν ότι οι περισσότεροι μαθητές σκέφτονται με κύριο άξονα αυτά που διδάσκονται στο σχολείο, γι' αυτό και οι διδασκαλίες πρέπει να είναι πολύ προσεχτικά δομημένες από κάθε άποψη. Μετά από αυτή τη μεταβλητή στο ερωτηματολόγιο παρουσιάζεται ανοικτή ερώτηση που προτρέπει τους μαθητές που έτειναν προηγουμένως προς το «Όχι» να περιγράψουν ένα φαινόμενο όπου δε συμβαίνει να διαδίδεται το φως ευθύγραμμα. Είδαμε κατά τη μελέτη των αποτελεσμάτων της μεταβλητής v28 ότι συνολικά 31 άτομα επέλεξαν τις αρνητικές απαντήσεις. Μόνο τα 16 απ' αυτά τα άτομα (το 18,6% του συνολικού δείγματος) προσπάθησαν να απαντήσουν σ' αυτήν την ερώτηση (οι υπόλοιποι από τα 31 άτομα επέλεξαν το «Δεν ξέρω»). Κανένας δεν μπόρεσε να περιγράψει επαρκώς ένα φαινόμενο όπου να φαίνεται ότι το φως δε διαδίδεται ευθύγραμμα. Αυτό από μια άποψη ήταν και αναμενόμενο, αφού οι γνώσεις που παρέχονται από το σχολείο στα παιδιά δεν τους προσφέρουν καν τη δυνατότητα να σκεφτούν ότι το φως μπορεί να θεωρηθεί ότι διαδίδεται και με άλλο τρόπο εκτός από τις φωτεινές ακτίνες. Οι περισσότεροι απ' αυτούς που απάντησαν ανέφεραν

<sup>43</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στο «Όχι», ο αριθμός 3 στο «Μάλλον όχι», ο αριθμός 4 στο «Μάλλον ναι» και ο αριθμός 5 στο «Ναι»

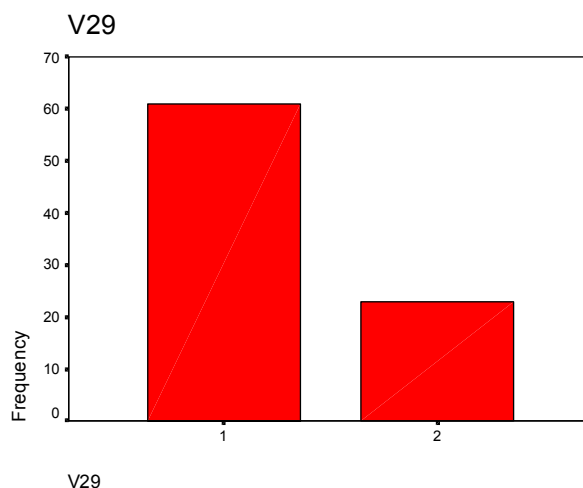
τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης, φαινόμενα όμως όπου το φως εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία του είτε εξαιτίας ανακλαστικής επιφάνειας είτε εξαιτίας αλλαγής του μέσου διάδοσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας τιμών και η γραφική παράσταση της μεταβλητής v29, όπου επιδιώκει να ανακαλύψει εάν γνωρίζουν τα παιδιά κάποια άλλη άποψη, σχετικά με τη διάδοση του φωτός, που να τους επιτρέπει να ερμηνεύουν εξίσου πειστικά φαινόμενα που ερμηνεύονται και με την άποψη της ευθύγραμμης διάδοσης.

**Πίνακας Σφάλμα!** Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

**Κατανομή του δείγματος ως προς το αν γνωρίζουν άλλη άποψη που να ερμηνεύει εξίσου πειστικά φαινόμενα που σχετίζονται με τη διάδοση του φωτός**

Γνώση άλλης άποψης που ερμηνεύει πειστικά φαινόμενα που σχετίζονται με τη διάδοση του φωτός	v	%
Όχι	61	70,9
Ναι	23	26,7
Σύνολο	84	97,7
Missing	2	2,3
Νέο σύνολο	86	100,0



Γράφημα 12<sup>44</sup>

2 άτομα (ποσοστό 2,3%) δεν απάντησαν (missing). Το έγκυρο ποσοστό είναι 97,7%. Το 70,9% των μαθητών του δείγματος που απάντησαν επέλεξε το «Όχι» και το 26,7% το «Ναι». Παρατηρούμε λοιπόν ότι η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών δηλώνει ότι δε γνωρίζει κάποια άλλη

<sup>44</sup> Το 1 αντιστοιχεί στην επιλογή «Όχι» ενώ το 2 στην επιλογή «Ναι».

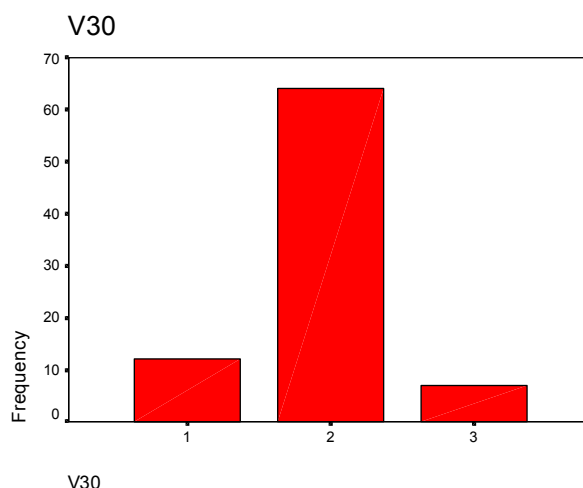
άποψη για την πειστική ερμηνεία ιδίων φαινομένων. Ακόμα όμως και από τα άτομα που δήλωσαν ότι γνωρίζουν (23 άτομα) μόνο 5 προσπάθησαν να απαντήσουν στην ανοικτή ερώτηση που ακολουθεί και που ζητά από τους μαθητές που επέλεξαν το «Ναι» να διατυπώσουν την άποψη αυτή. Από αυτά τα 5 άτομα ενδιαφέρον έχουν οι απαντήσεις δύο μαθητών, όπου ο ένας αναφέρει ότι το φως μπορεί να διαδίδεται με μικροσωματίδια ενώ ο άλλος ότι μπορεί να διαδίδεται με κύματα. Αυτοί οι μαθητές είναι όμως οι εξαιρέσεις ενώ η πλειονότητα των μαθητών δείχνει ότι ποτέ δεν ήρθε σε επαφή με πιο σύγχρονες, εναλλακτικές απόψεις αντιμετώπισης του φαινομένου της διάδοσης του φωτός.

Τέλος ως προς την τελευταία μεταβλητή (v30), που μελετά το αντικείμενο της Οπτικής παρουσιάζεται ο πίνακας τιμών και η γραφική παράσταση.

**Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.**

**Κατανομή του δείγματος ως προς το τι μελετάει η Οπτική κυρίως**

<b>Αντικείμενο μελέτης της Οπτικής</b>	<b>v</b>	<b>%</b>
Δεν ξέρω	12	14,0
Το φως	64	74,4
Άλλη απάντηση	7	8,1
Σύνολο	83	96,5
Missing	3	3,5
Νέο σύνολο	86	100,0



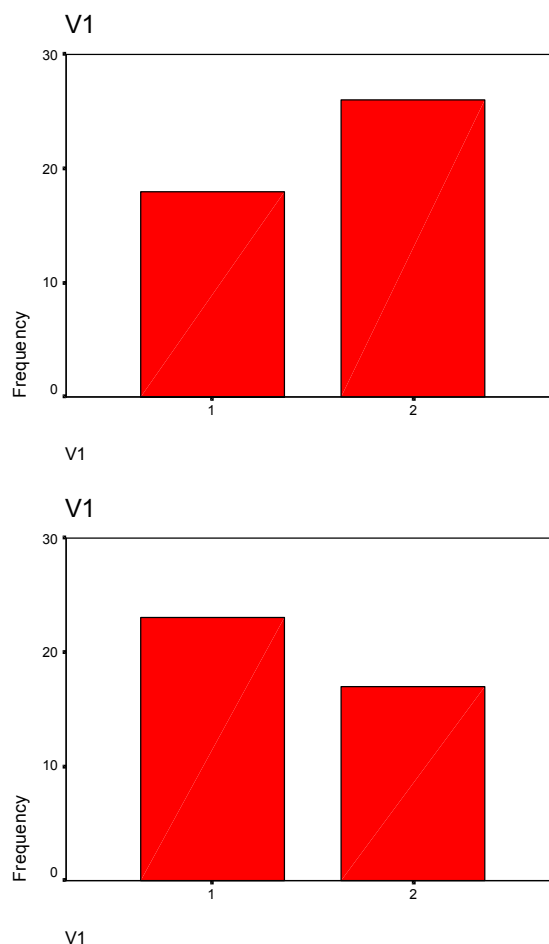
**Γράφημα 13<sup>45</sup>**

<sup>45</sup> Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο «Δεν ξέρω», ο αριθμός 2 στη σωστή απάντηση «Το φως» και ο αριθμός 3 σε άλλες λανθασμένες απαντήσεις.



3 άτομα (ποσοστό 3,5%) δεν απάντησαν (missing). Το έγκυρο ποσοστό είναι 96,5%. Το 8,1% του δείγματος επέλεξε το «Δεν ξέρω», το 74,4% την απάντηση «Το φως» και το 14% άλλες λανθασμένες απαντήσεις. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος γνωρίζει ή τουλάχιστον επιτυγχάνει να συνδέσει λεκτικά, τον τομέα της Οπτικής με το φως ως αντικείμενο μελέτης του. Όμως στο δεύτερο μέρος της ερώτησης στην οποία ανήκει η μεταβλητή v30 κανείς μαθητής δεν έδειξε να γνωρίζει τους κλάδους στους οποίους διαιρείται η Οπτική.

Στη συνέχεια θα δούμε μια περιγραφική στατιστική ανάλυση καθεμίας από τις δύο ομάδες (ελέγχου και πειραματική) ξεχωριστά, ώστε να έχουμε μία πρώτη συγκριτική ανάλυση γι' αυτές. Στο γράφημα 14 βλέπουμε τις δύο γραφικές παραστάσεις που μας δείχνουν πώς διαχωρίζεται, ανάλογα με το φύλο, ο πληθυσμός του δείγματος για κάθε ομάδα (σε κάθε σχήμα πρώτα θα παρουσιάζεται η ομάδα ελέγχου και μετά η πειραματική).

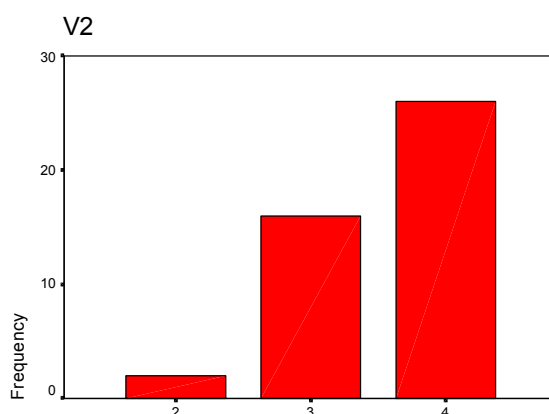


Γράφημα 14

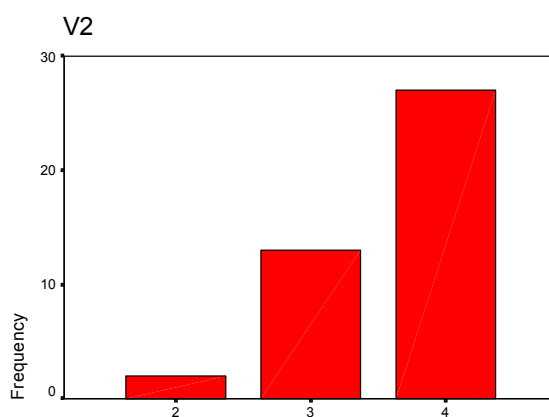
Για την ομάδα ελέγχου, ως προς το φύλο, 1 άτομο (2,2%) δεν απάντησε (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 97,8%. Το 40% των ατόμων της

ομάδας αυτής είναι κορίτσια ενώ το 57,8% είναι αγόρια. Ως προς την πειραματική ομάδα, σ' αυτή τη μεταβλητή (v1), 2 άτομα (4,8%) δεν απάντησαν, ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 95,2%. Σ' αυτήν την ομάδα το 54,8% είναι κορίτσια ενώ το 40,5% είναι αγόρια. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ανάμεσα στις δύο ομάδες υπάρχει μια δυσαναλογία στον αριθμό αγοριών και κοριτσιών, όπου στην ομάδα ελέγχου υπερτερούν τα αγόρια ενώ στην πειραματική ομάδα υπερτερούν τα κορίτσια.

Ως προς τη μεταβλητή προτίμηση – ενδιαφέρον στο μάθημα των Φυσικών, στο γράφημα 15 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις.



V2



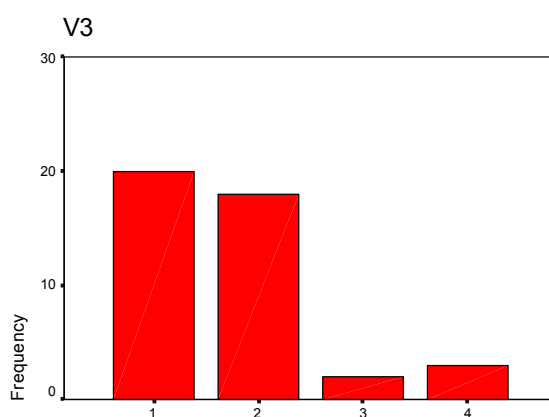
V2

Γράφημα 15

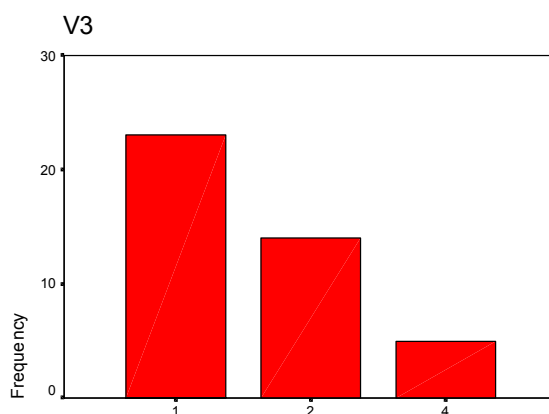
Για την ομάδα ελέγχου 1 άτομο (2,2%) δεν απάντησε (missing), ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 97,8%. 57,8% επέλεξε το «Πολύ», 35,6% το «Αρκετά» και 4,4% το «Λίγο». Για την πειραματική ομάδα όλα τα άτομα απάντησαν (έγκυρο ποσοστό 100%). Το 64,3% επέλεξε το «Πολύ», το 31% το «Αρκετά» και το 4,8% το «Λίγο». Παρατηρούμε ότι

οι επιλογές των ατόμων και για τις δύο ομάδες είναι περίπου ανάλογες. Και οι δύο ομάδες με μεγάλο ποσοστό (γύρω στο 60%) εμφανίζουν ιδιαίτερη προτίμηση στο μάθημα των Φυσικών.

Στη συνέχεια θα δούμε στο γράφημα 16 πώς διαφοροποιούνται τα άτομα των δύο ομάδων ως προς το βαθμό δυσκολίας κατανόησης του μαθήματος αυτού.



V3

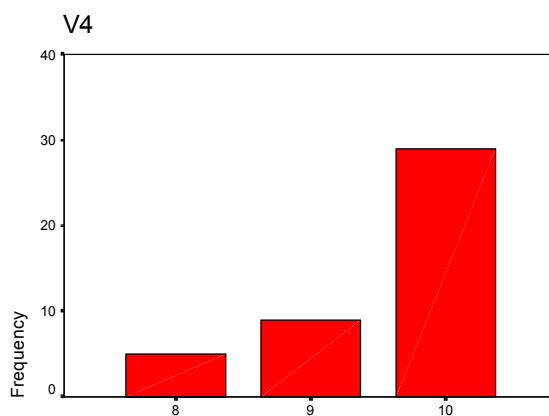


V3

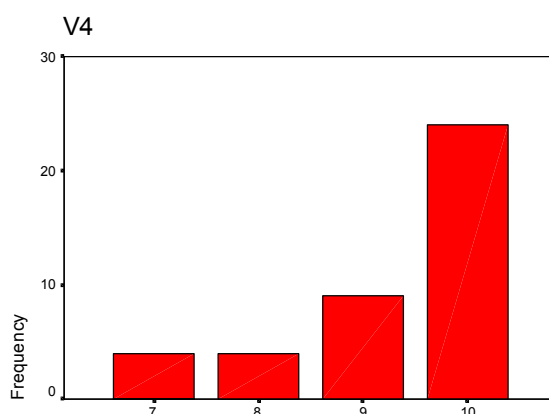
Γράφημα 16

Για την ομάδα ελέγχου 1 άτομο (2,2%) δεν απάντησε (missing) ενώ το έγκυρο ποσοστό είναι 97,8%. Το 6,7% επέλεξε το «Πολύ», το 4,4% το «Αρκετά», το 40% το «Λίγο» και το 44,4% το «Καθόλου». Για την πειραματική ομάδα όλα τα άτομα απάντησαν (έγκυρο ποσοστό 100%). 11,9% επέλεξε το «Πολύ», το 33,3% το «Λίγο» και το 54,8% το «Καθόλου». Περίπου ανάλογα είναι τα ποσοστά στις διάφορες επιλογές για κάθε ομάδα. Ένα σημαντικό ποσοστό δηλώνει ότι δυσκολεύεται πολύ στο μάθημα των Φυσικών με μεγαλύτερο στην πειραματική ομάδα.

Τέλος ως προς το βαθμό προόδου στο μάθημα των Φυσικών, κατά το δεύτερο τρίμηνο, ενδεικτικό είναι το γράφημα 17 με τις γραφικές παραστάσεις.



V4



V4

Γράφημα 17

Στην ομάδα ελέγχου 1 άτομο (2,2%) δεν απάντησε (missing). Έγκυρο ποσοστό 97,8%. Απ' αυτούς το 64,4% δήλωσε ως βαθμό προόδου το 10, 20% δήλωσε το 9 και 11,1% το 8. Για την πειραματική ομάδα 1 άτομο (2,4%) δεν απάντησε (missing). Έγκυρο ποσοστό 97,6%. Το 57,1% δήλωσε το 10, το 21,4% το 9, το 9,5% το 8 και το 9,5% το 7. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει πολύ μεγάλη διαφοροποίηση, ως προς τους βαθμούς προόδου, ανάμεσα στις δύο ομάδες, με μια υπεροχή της θεωρητικής ομάδας η οποία δεν δήλωσε βαθμό προόδου κάτω από 8.

Ως προς τις ιδέες των μαθητών δε θα προχωρήσουμε σε περιγραφική στατιστική ανάλυση, για κάθε ομάδα ξεχωριστά, αλλά στη συνέχεια θα συγκριθούν οι δύο ομάδες με τη βοήθεια της επαγωγικής στατιστικής (ας μην ξεχνάμε ότι οι υποθέσεις της έρευνας αυτής

στηρίζονται στις ιδέες που αναπτύσσουν οι μαθητές για το φως, τη διάδοσή του και άλλα σχετικά με αυτό).

Σειρά λοιπόν έχει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις, που πραγματοποιήθηκαν για να ελεγχθούν οι 15 ερευνητικές μας υποθέσεις. Για κάθε μία από τις πιο πολλές ερευνητικές υποθέσεις δημιουργήθηκαν περισσότερες μηδενικές και εναλλακτικές αντίστοιχα υποθέσεις, επειδή κάποιες αρχικές υποθέσεις αναφέρονταν σε περισσότερες από μία μεταβλητές. Έτσι πραγματοποιήθηκαν αρκετές στατιστικές αναλύσεις με τα μη παραμετρικά κριτήρια που αναφέρθησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι τέσσερις βασικές συγκρίσεις, όπως έχει προειπωθεί, ήταν στα άτομα της ομάδας ελέγχου που δέχθηκαν την παρέμβαση με θεωρητική διδασκαλία (πριν και μετά την παρέμβαση – εξαρτημένα δείγματα), στα άτομα της πειραματικής ομάδας που δέχθηκαν την παρέμβαση με συνδυασμό θεωρητικής διδασκαλίας και χρήσης πειράματος (πριν και μετά την παρέμβαση – εξαρτημένα δείγματα), στα άτομα των δύο ομάδων για έλεγχο πιθανής ισοδυναμίας πριν την παρέμβαση (ανεξάρτητα δείγματα) και τέλος στα άτομα των δύο ομάδων μετά την παρέμβαση (ανεξάρτητα δείγματα) για έλεγχο πιθανής διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων ανάλογα με το είδος παρέμβασης που χρησιμοποιήθηκε. Ελέγχθηκαν όλες οι μεταβλητές του ειδικού μέρους του ερωτηματολογίου που αναφέρεται στις ιδέες – απόψεις των μαθητών για το φως, τη διάδοσή του και άλλα που σχετίζονται μ' αυτό.

Θα ξεκινήσουμε με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την επαγωγική στατιστική ανάλυση των δεδομένων της ομάδας ελέγχου, πριν και μετά την παρέμβαση. Σκοπός ήταν να ελέγξουμε εάν η παρέμβαση προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στα δεδομένα που αναφέρονται στις ιδέες που έχουν αναπτύξει οι μαθητές σε σχέση με το φως. Οι ερευνητικές υποθέσεις που μελετήθηκαν σ' αυτό το τμήμα της στατιστικής ανάλυσης ήταν η υπόθεση 1, η 3, η 5, η 7, η 9, η 11 και η 13.

Ως προς την υπόθεση 1 έγιναν οκτώ επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις<sup>46</sup> που αφορούσαν αντίστοιχα τις μεταβλητές v5, v6, v7 και v8. Όπως έχει προειπωθεί για κάθε μεταβλητή γίνονται δύο στατιστικές αναλύσεις. Η πρώτη αφορά τις κατηγορίες «Δεν ξέρω» – «Ξέρω» και η δεύτερη την τακτική κλίμακα επιλογών<sup>47</sup> που υπάρχει για κάθε μεταβλητή. Εφαρμόστηκε το μη παραμετρικό κριτήριο McNemar και διαπιστώθηκε ότι για καμία από τις τέσσερις μεταβλητές δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [Exact Sig. (2 – tailed)=1,00], των δεδομένων μετά την παρέμβαση σε σχέση με αυτά πριν την παρέμβαση,

<sup>46</sup> Όλες οι επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιούνται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%.

<sup>47</sup> Σε κάθε περίπτωση πρόκειται για τις 4 επιλογές που απομένουν εάν αφαιρέσουμε το «Δεν ξέρω».

ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές πόσο σημαντικό είναι καθένα από τα 4 αυτά φωτεινά σώματα για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Ούτε ως προς το πόσο σημαντικό θεωρούν οι μαθητές καθένα απ' αυτά τα 4 φωτεινά σώματα δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων με την πραγματοποίηση της παρέμβασης. Εφαρμόστηκε το μη παραμετρικό κριτήριο Wilcoxon και ευρέθησαν:

	Ήλιος	Φεγγάρι	Άστρα	Ηλεκτρ. Λαμπτήρες
<b>Asymp. Sig. (2 – tailed)</b>	0,56	0,68	0,93	0,74

Ως προς την υπόθεση 3, που αφορά τις μεταβλητές v15 έως και v20, έγιναν 12 επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις. Για τις μεταβλητές v15, v16 και v18 κανένας μαθητής της ομάδας ελέγχου δε δήλωσε το «Δεν ξέρω» τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση, οπότε δε χρειάστηκαν επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [εφαρμόστηκε McNemar Test και βρέθηκε Exact Sig. (2 – tailed): (V17)1,00, (V19)0,51, (V20)1,00], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι αν ο άνθρωπος μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου (φως και θερμότητα), αλλά και ως προς το εάν ξέρουν ή όχι γιατί τα φυτά χρειάζονται το φως.

Για καμία από τις μεταβλητές v15 έως και v20 η παρέμβαση δεν προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στο εάν νομίζουν ότι θα μπορούσε ο άνθρωπος να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου ή ως προς το βαθμό συμφωνίας τους ή διαφωνίας τους με καθένα από τους λόγους για τους οποίους τα φυτά χρειάζονται το φως. Εφαρμόστηκε το μη παραμετρικό κριτήριο Wilcoxon και ευρέθησαν:

	V15	V16	V17	V18	V19	V20
<b>Asymp. Sig. (2 – tailed)</b>	0,66	0,38	0,94	0,13	1,00	1,00

Ακολουθούν οι επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις για την 5<sup>η</sup> υπόθεση, που αφορά τη μεταβλητή v9. Αυτές είναι 2. Για τα δεδομένα της μεταβλητής v9 δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=1,00], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές αν το φως διαδίδεται στο κενό.

Ούτε ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στη μεταβλητή αυτή δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed)=0,61].

Στη συνέχεια έχουμε την 7<sup>η</sup> υπόθεση που αφορά τις μεταβλητές v10 έως και v14 και την v29. Πραγματοποιήθηκαν 11 επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις (για τη μεταβλητή v29 έχουμε αναφέρει ότι

γίνεται μία στατιστική ανάλυση). Για τη μεταβλητή v10 κανένας μαθητής της ομάδας ελέγχου τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω», γι' αυτό και δεν έγινε στατιστική ανάλυση. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed): (V11)1,00, (V12)1,00, (V13)0,38, (V14)1,00], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι με ποιο τρόπο περιγράφεται η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη.

Για τη μεταβλητή v14 κανένας σχεδόν μαθητής, τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση δεν πρότεινε άλλο δικό του τρόπο και έτσι δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί επαγωγική στατιστική ανάλυση. Για τις μεταβλητές v10, v13 [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V10)0,07, (V13)0,20] και v29 [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,10] δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο που απάντησαν. Αντίθετα για τις μεταβλητές v11 και v12 φαίνεται ότι η παρέμβαση, με τη μορφή της θεωρητικής εναλλακτικής διδασκαλίας, προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V11)0,00, (V12)0,01].

Στην 9<sup>η</sup> υπόθεση περιλαμβάνεται η μεταβλητή v28. Έγιναν 2 επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις. Όπως βλέπουμε δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=1,00] ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές εάν συμβαίνει πάντα να διαδίδεται το φως ευθύγραμμα.

Αντίθετα η παρέμβαση προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στη μεταβλητή v28, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed)=0,05].

Η 11<sup>η</sup> υπόθεση αναφέρεται στις μεταβλητές v21 έως και v27. Έγιναν 14 επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις. Για καμία απ' αυτές τις μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed): (V21)0,13, (V22)0,25, (V23)1,00, (V24)1,00, (V25)1,00, (V26)0,23, (V27)1,00] ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές τι εννοούμε με την έννοια φως.

Για τη μεταβλητή v27 κανένας σχεδόν μαθητής, τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση δεν πρότεινε άλλη δικιά του άποψη και έτσι δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί επαγωγική στατιστική ανάλυση. Για τις μεταβλητές v21, v22, v23 και v26 δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V21)0,62, (V22)0,71, (V23)0,72, (V26)0,68], ως προς τον τρόπο που απάντησαν οι μαθητές σε σχέση με τις απόψεις για την έννοια φως. Για τις μεταβλητές v24 και v25 η παρέμβαση προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V24)0,00, (V25)0,00].

Τέλος η 13<sup>η</sup> υπόθεση αναφέρεται στη μεταβλητή v30 και πραγματοποιήθηκαν δύο στατιστικές αναλύσεις. Για τη μεταβλητή αυτή δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές τι μελετάει κυρίως η Οπτική [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,29].

Ούτε ως προς το τι απάντησαν οι μαθητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δεδομένων της ομάδας ελέγχου, πριν και μετά την παρέμβαση κυρίως [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,63].

Θα συνεχίσουμε με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την επαγωγική στατιστική ανάλυση των δεδομένων της πειραματικής ομάδας, πριν και μετά την παρέμβαση. Σκοπός ήταν να ελέγξουμε εάν η παρέμβαση (ο συνδυασμός θεωρητικής διδασκαλίας και χρήσης πειράματος δηλαδή) προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στα δεδομένα που αναφέρονται στις ιδέες που έχουν αναπτύξει οι μαθητές σε σχέση με το φως. Οι ερευνητικές υποθέσεις που μελετήθηκαν σ' αυτό το τμήμα της στατιστικής ανάλυσης ήταν η υπόθεση 2, η 4, η 6, η 8, η 10, η 12 και η 14.

Ξεκινάμε από την υπόθεση 2 που αναφέρεται στις μεταβλητές v5, v6, v7 και v8, για την οποία πραγματοποιήθηκαν 8 επαγωγικές στατιστικές αναλύσεις. Για τη μεταβλητή v5 κανείς μαθητής, τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση, δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω», οπότε δεν έγινε στατιστική ανάλυση. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed): (V6)1,00, (V7)1,00, (V8)1,00], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές πόσο σημαντικό είναι το καθένα από αυτά τα 3 φωτεινά σώματα για τη ζωή του ανθρώπου.

Για καμιά από τις μεταβλητές αυτές δεν παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων πριν και μετά την παρέμβαση, ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V5)1,00, (V6)0,74, (V7)0,61, (V8)1,00].

Ακολουθεί η υπόθεση 4 που αναφέρεται στις μεταβλητές v15 έως και v20. Έγιναν 12 στατιστικές αναλύσεις. Για καμιά από τις μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές αν θα μπορούσε ο άνθρωπος να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου και ως προς το εάν ξέρουν ή όχι γιατί τα φυτά χρειάζονται το φως [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed): (V15)1,00, (V16)1,00, (V17)1,00, (V18)1,00, (V19)1,00, (V20)1,00].

Για καμιά από τις μεταβλητές μας δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο που απάντησαν οι μαθητές, πριν και μετά την παρέμβαση στην πειραματική ομάδα [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V15)0,31, (V16)0,32, (V17)0,47, (V18)0,66, (V19)0,32, (V20)1,00].



Σειρά έχει η 6<sup>η</sup> υπόθεση που αναφέρεται στη μεταβλητή v9 και για την οποία έγιναν 2 στατιστικές αναλύσεις. Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=1,00], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές αν το φως διαδίδεται στο κενό.

Ούτε ως προς τον τρόπο που απάντησαν οι μαθητές πριν και μετά την παρέμβαση σ' αυτή την μεταβλητή δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed)=0,44].

Προχωρούμε στην 8<sup>η</sup> υπόθεση που αναφέρεται στις μεταβλητές v10 έως και v14 και τη v29. Πραγματοποιήθηκαν 11 στατιστικές αναλύσεις (για τη μεταβλητή v29 έχουμε αναφέρει ότι γίνεται μία στατιστική ανάλυση). Στη μεταβλητή v10 κανένας μαθητής της πειραματικής ομάδας, τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση, δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω», οπότε δεν έγινε στατιστική ανάλυση. Στις υπόλοιπες μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed): (V11)1,00, (V12)0,51, (V13)0,45, (V14)0,75], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές με ποιο τρόπο περιγράφεται η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη.

Σχεδόν κανείς μαθητής δε διατύπωσε δικό του τρόπο που να περιγράφει τη διάδοση του φωτός, οπότε δεν μπόρεσε να γίνει στατιστική ανάλυση για τη μεταβλητή v14. Για τις μεταβλητές v10, v12, v13 [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V10)0,60, (V12)0,81, (V13)0,92] και v29 [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,61] δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς το πώς απάντησαν οι μαθητές, τόσο ως προς τον τρόπο που περιγράφεται η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη όσο και ως προς το αν γνωρίζουν άλλη άποψη σχετικά με τη διάδοση του φωτός. Αντίθετα για τη μεταβλητή v11 παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, των δεδομένων πριν και μετά την παρέμβαση [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed)=0,01].

Η υπόθεση 10 αναφέρεται στη μεταβλητή v28. Έγιναν 2 στατιστικές αναλύσεις. Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, για τη μεταβλητή v28, ως προς το εάν ξέρουν οι μαθητές αν συμβαίνει πάντα να διαδίδεται το φως ευθύγραμμα [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,22].

Αντίθετα για τη μεταβλητή v28 η παρέμβαση προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στο εάν πιστεύουν ότι πάντα το φως διαδίδεται ευθύγραμμα [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed)=0,00].

Ακολουθεί η 12<sup>η</sup> υπόθεση, που αναφέρεται στις μεταβλητές v21 έως και v27 και για την οποία πραγματοποιήθηκαν 14 στατιστικές αναλύσεις.

Για τις μεταβλητές v21, v22, v23, v24, v26 και v27 δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed): (V21)1,00, (V22)1,00, (V23)0,38, (V24)0,18, (V26)1,00, (V27)1,00], ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές τι εννοούμε με την έννοια φως. Για τη μεταβλητή v25 παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων πριν και μετά την παρέμβαση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,02].

Για τη μεταβλητή v27 σχεδόν κανένας μαθητής δεν πρότεινε δικιά του άποψη, οπότε δεν μπόρεσε να γίνει στατιστική ανάλυση. Για τις μεταβλητές v21, v22, v23, v25 και v26 δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο που απάντησαν [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed): (V21)0,34, (V22)0,41, (V23)0,56, (V25)0,63, (V26)0,44]. Αντίθετα για τη μεταβλητή v24 παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο 95%, ως προς τον τρόπο που απάντησαν [Wilcoxon test: Asymp. Sig. (2 – tailed)=0,03].

Τέλος θα μελετήσουμε τη 14<sup>η</sup> υπόθεση που αναφέρεται στη μεταβλητή v30. Έγιναν 2 στατιστικές αναλύσεις. Για τη μεταβλητή v30 δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=0,45] ως προς το εάν ξέρουν ή όχι οι μαθητές τι μελετάει η Οπτική κυρίως.

Ούτε όμως ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στη μεταβλητή v30 δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων της πειραματικής ομάδας, πριν και μετά την παρέμβαση [McNemar test: Exact Sig. (2 – tailed)=1,00].

Η μόνη υπόθεση η οποία απέμεινε να ελεγχθεί είναι η 15<sup>η</sup> υπόθεση. Για να ελέγξουμε λοιπόν εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στις ιδέες των μαθητών, των δύο ομάδων, αφού εδέχθησαν τους δύο τύπους της παρέμβασης (η ομάδα ελέγχου θεωρητική εναλλακτική διδασκαλία ενώ η πειραματική ομάδα συνδυασμό θεωρητικής εναλλακτικής διδασκαλίας και χρήσης πειράματος) πρώτα θα συγκρίνουμε, με τη βοήθεια της επαγωγικής στατιστικής, τις δύο ομάδες (ελέγχου και πειραματική) πριν από την παρέμβαση, ώστε να διαπιστώσουμε εάν ήταν ισοδύναμες ή εάν υπερείχε η μία της άλλης. Η σύγκριση, όπως έχει προαναφερθεί, θα γίνει με τα δεδομένα των δύο ομάδων πριν από την παρέμβαση, χωριστά για κάθε μεταβλητή<sup>48</sup>.

---

<sup>48</sup> Για πρακτικούς λόγους χρήσης του SPSS η πειραματική ομάδα επιδέχεται τον κωδικό 1, ενώ η ομάδα ελέγχου τον κωδικό 2.

Πρώτα θα συγκρίνουμε τις δύο ομάδες ως προς τις μεταβλητές v5 έως και v28 και ως προς τη v30, για τις δύο κατηγορίες «Δεν ξέρω» – «Ξέρω», με το μη παραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$ . Επειδή πρόκειται για πίνακες 2x2 λαμβάνω υπόψη μου την τιμή Continuity Correction, εκτός εάν έχω περισσότερες τιμές από το 20% του πλήθους τους μικρότερες από το 5, οπότε λαμβάνω υπόψη μου την τιμή Fisher's Exact Test. Στο παράρτημα II παρουσιάζονται όλοι οι πίνακες των στατιστικών αναλύσεων. Για τις μεταβλητές v5, v10, v16, v17 και v18 κανένας μαθητής δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω», οπότε δε χρειάστηκε να γίνει στατιστική ανάλυση. Για καμία από τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στα δεδομένα των δύο ομάδων πριν από την παρέμβαση. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι οι δύο ομάδες είναι ισοδύναμες ως προς τις κατηγορίες απαντήσεων «Δεν ξέρω» – «Ξέρω», πριν από την παρέμβαση.

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τις δύο ομάδες για τις υπόλοιπες κατηγορίες απαντήσεων. Η στατιστική επεξεργασία για τις μεταβλητές v5 έως και v28 θα γίνει με το μη παραμετρικό κριτήριο Mann – Whitney, για την v30 με το  $\chi^2$  ενώ για τη μεταβλητή v29, που γίνεται μία στατιστική ανάλυση, θα γίνει επίσης με το μη παραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$ . Στο παράρτημα III παρουσιάζονται οι πίνακες των στατιστικών αναλύσεων. Για τις μεταβλητές v11, v12, v14, v15, v18, v24 (και για τη v6 εάν στρογγυλοποιηθεί η τιμή της στατιστικής σημαντικότητας διπλής κατεύθυνσης στο εκατοστό) παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στα δεδομένα των δύο ομάδων (ελέγχου και πειραματική), σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% διπλής κατεύθυνσης.

<b>Mann-Whitney U</b>	<b>V6</b>	<b>V11</b>	<b>V12</b>	<b>V14</b>	<b>V15</b>	<b>V18</b>	<b>V24</b>
<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>	0,05	0,00	0,00	0,05	0,04	0,02	0,03

Άρα για αυτές τις μεταβλητές οι δύο ομάδες δεν εμφανίζονται ισοδύναμες, για τις υπόλοιπες κατηγορίες απαντήσεων. Μάλιστα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον ότι οι μεταβλητές v11 και v24 αναφέρονται στις απόψεις των μαθητών σε σχέση με την έννοια κύμα, ως τρόπο διάδοσης του φωτός ή ως ερμηνευτικό μοντέλο της έννοιας του φωτός, που είναι ένα από τα κεντρικά σημεία μελέτης αυτής της εργασίας. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στα δεδομένα των δύο ομάδων, πριν από την παρέμβαση, οπότε θεωρούνται ισοδύναμες.

Ακολούθως θα επεξεργαστούμε στατιστικά τα δεδομένα των δύο ομάδων (ελέγχου και πειραματική), μετά τη διαδικασία της παρέμβασης. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων θα γίνει για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά και τα στατιστικά κριτήρια που θα εφαρμοστούν είναι τα ίδια

μ' αυτά που εφαρμόστηκαν και στα δεδομένα πριν από την παρέμβαση, για τον έλεγχο της ισοδυναμίας. Σ' ένα πρώτο στάδιο συγκρίνονται οι δύο ομάδες ως προς τις μεταβλητές v5 έως και v28 και ως προς τη v30, για τις δύο κατηγορίες «Δεν ξέρω» – «Ξέρω», με το μη παραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$ . Επειδή πρόκειται για πίνακες 2x2 λαμβάνω υπόψη μου την τιμή Continuity Correction, εκτός εάν έχω περισσότερες τιμές από το 20% του πλήθους τους μικρότερες από το 5, οπότε λαμβάνω υπόψη μου την τιμή Fisher's Exact Test. Στο παράρτημα IV παρουσιάζονται οι πίνακες των στατιστικών αναλύσεων. Για τις μεταβλητές v10 και v15 κανείς μαθητής από τις δύο ομάδες δεν επέλεξε το «Δεν ξέρω» οπότε δε χρειάστηκαν στατιστικές αναλύσεις. Για τη μεταβλητή v25 έχω στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% διπλής κατεύθυνσης, αλλά και σε επίπεδο 95% μονής κατεύθυνσης [1 κελί (25,0%) έχει αναμενόμενη συχνότητα μικρότερη του 5 οπότε λαμβάνω υπόψη μου την τιμή Fisher's Exact Test].

	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Fisher's Exact Test	0,04	0,03

Η παρέμβαση προκάλεσε διαφοροποίηση κυρίως στην πειραματική ομάδα, όπως φαίνεται από συστηματική παρατήρηση των δεδομένων, και έτσι περισσότερα άτομα μετά την παρέμβαση επέλεξαν το «Δεν ξέρω», σε σχέση με το αν εννοούμε με την έννοια φως μικροσκοπικά σωματίδια. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τις δύο κατηγορίες «Δεν ξέρω» – «Ξέρω».

Στο τελικό στάδιο συγκρίνονται οι δύο ομάδες ως προς τις υπόλοιπες κατηγορίες απαντήσεων. Ανάλογα και εδώ είναι τα στατιστικά κριτήρια που εφαρμόζονται για κάθε μεταβλητή (για τη μεταβλητή v29 εφαρμόζεται μία στατιστική ανάλυση), με αυτά των δεδομένων πριν από την παρέμβαση. Στο παράρτημα V παρουσιάζονται οι πίνακες των στατιστικών αναλύσεων. Μόνο για τη μεταβλητή v7 παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων των δύο ομάδων, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% διπλής κατεύθυνσης [Asymp. Sig. (2-tailed)=0,05]. Για καμιά από τις άλλες μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων της ομάδας ελέγχου και της πειραματικής, ως προς τις άλλες απαντήσεις, μετά την παρέμβαση. Αυτό σημαίνει ότι και για τις μεταβλητές που δεν εμφανίζονταν αρχικά ισοδύναμες οι δύο ομάδες, με την παρέμβαση επήλθε μη στατιστικά σημαντική διαφοροποίησή τους.

### 3.9 Συζήτηση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Αυτή η εργασία είναι το καταστάλαγμα μιας πολύμηνης προσπάθειας που αποσκοπούσε σε μια ενδελεχή και πολύπλευρη μελέτη του φωτός και της διάδοσής του. Έγινε προσπάθεια να αναδυθεί και να διερευνηθεί η επιστημονική συνιστώσα του καθημερινού, αλλά τόσο πολύπλοκου και πολυσύνθετου αυτού φαινομένου, αλλά και να προσεγγιστεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σαφήνεια η διδακτική του συνιστώσα. Συνάμα πραγματοποιήθηκε και μια ερευνητική προσπάθεια που φιλοδόξησε να προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα στη διδακτική πράξη της πρώτης βαθμίδας σχολικής εκπαίδευσης. Σ' όλη αυτήν την προσπάθεια η κάθε λογής βιβλιογραφία ήταν ο χρήσιμος φίλος και συμβουλάτορας. Το ανασκάλεμα σ' αυτήν ήταν συνεχές και πολύτιμο.

Αρχικά προσπαθήσαμε ν' αναπλάσουμε νοητικά το φως ώστε να διερευνηθεί, μέσα από τη βιβλιογραφία, τόσο η υφή του όσο και ο τρόπος που διαδίδεται από ένα χωροχρονικό σημείο σε άλλο. Το φως ήταν ανέκαθεν στενά συναρτημένο με τη ζωή του ανθρώπου στη γη, τόσο εξαιτίας της συνεχούς συνύπαρξής του μ' αυτόν όσο και εξαιτίας της αναντικατάστατης προσφοράς του στη ζωή του. Ήταν από την αρχή αντιληπτό, αλλά και έγινε εύκολα εμφανές από τη μικρή αναδρομή που πραγματοποιήθηκε, ότι δεν είναι διόλου εύκολο να κατανοηθεί πλήρως. Ακόμα και σήμερα το φως και οι κάθε λογής ιδιότητές του είναι αντικείμενο μελέτης της επιστήμης και συνεχώς ανακλύπτουν καινούργια στοιχεία και προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα γι' αυτό. Αυτό που όμως έγινε ξεκάθαρα αντιληπτό σ' αυτό το μέρος της διερεύνησης είναι ότι μέχρι τις μέρες μας ο ανθρώπινος νους, οι επιστήμονες, έχουν καταφέρει να δημιουργήσουν μοντέλα προσέγγισης του φωτός, τα οποία μπορούν με ικανοποιητικό τρόπο να ερμηνεύσουν φαινόμενα που σχετίζονται με αυτό αλλά και τη διάδοσή του αυτή καθαυτή. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία στηρίζει το κυματικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός (το φως διαδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος), ενώ η κβαντική θεωρία στηρίζει το σωματιδιακό μοντέλο (το φως διαδίδεται με τη μορφή πακέτων ενέργειας – κβάντων φωτός ή φωτονίων). Το πρώτο μοντέλο δείχνει να επιτυγχάνει περισσότερο σε φαινόμενα που σχετίζονται με τη διάδοση του φωτός, ενώ το δεύτερο σ' αυτά που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη. Ανάμεσα σ' αυτές τις δύο θεωρίες εμφανίζεται η κβαντομηχανική, με την κβαντική ηλεκτροδυναμική θεωρία που εμπεριέχει και ερμηνεύει τόσο

τις κυματικές όσο και τις σωματιδιακές ιδιότητες του φωτός. Σήμερα έχει γίνει ευρύτατα αποδεκτό ότι η φύση του φωτός προσεγγίζεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία άλλοτε εμφανίζει εντονότερα τον κυματικό της χαρακτήρα και άλλοτε το σωματιδιακό της. Αυτό που πρέπει να γίνει κατανοητό σε όλο το εύρος του, σαν καταστάλαγμα του πρώτου διερευνητικού μέρους αυτής της εργασίας, είναι ότι το φως ούτε είναι κύμα ούτε αποτελείται από σωματίδια. Αυτά είναι απλώς μοντέλα, αναλογίες, νοητικές εικόνες που μας βοηθούν να καταλάβουμε πώς συμπεριφέρεται το φως σε ορισμένες περιπτώσεις.

Σ' αυτό το σημείο και έχοντας υπόψη μας αυτό το απόσταγμα του πρώτου μέρους τούτης της εργασίας, που αναφέρθηκε μόλις στις αμέσως προηγούμενες σειρές, μπορούμε να προχωρήσουμε στα συμπεράσματα που αναδύθηκαν από το δεύτερο διερευνητικό μέρος, που αναφέρεται στη διδακτική προσέγγιση του φωτός. Ένα σημείο που φάνηκε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση της διδακτικής προσέγγισης είναι αυτό που πολλοί ειδήμονες της διδακτικής των Φυσικών επιστημών πρεσβεύουν με περισσή επιμονή στις μέρες μας, ότι, δηλαδή, τρόπος αναπαράστασης της γνώσης είναι τα νοητικά μοντέλα. Αυτά τα μοντέλα χρησιμεύουν στο να αναπαριστούν το φυσικό κόσμο και αντικατοπτρίζουν πολλά από τα όρια που βάζει ο φυσικός κόσμος. Σύμφωνα με τη νέα αντίληψη που πρεσβεύει η Επιστημολογία ακόμα και αυτή η ίδια η επιστήμη δε θεωρείται ως το μέσο για την αναζήτηση της αλήθειας, αλλά για την οικοδόμηση επεξηγηματικών μοντέλων που όλο και πιο συχνά προσπαθούν να ερμηνεύσουν έναν ευρύτερο κύκλο φαινομένων. Στις μέρες μας ευρύτατη αποδοχή στους κύκλους της διδακτικής, γενικότερα όλων των επιστημών, εμφανίζει η θεωρία της εποικοδόμησης της γνώσης ή του κονστρουκτιβισμού. Η βασική πρόταση της εποικοδόμησης είναι ότι η γνώση αποτελεί ανθρώπινο κατασκεύασμα, άρα δεν υπάρχει ανεξάρτητα από αυτούς που την κατέχουν. Η γνώση δε λαμβάνεται παθητικά αλλά χτίζεται ενεργητικά από το υποκείμενο. Η απόκτηση γνώσης απαιτεί την ενεργό ανάμειξη του υποκειμένου που χρησιμοποιεί την προϋπάρχουσα γνώση του για να εποικοδομήσει νέες κατανοήσεις. Ενώ η πραγματικότητα είναι αντικειμενική, η γνώση δεν είναι. Ο μόνος έλεγχος της γνώσης είναι το πείραμα και γενικότερα η εμπειρία. Ο κονστρουκτιβισμός θεωρεί ότι ο μόνος έλεγχος για την ισχύ των κατασκευών της ανθρώπινης γνώσης είναι ο βαθμός εναρμόνισής της με την εμπειρία. Η εμπειρία μπορεί να δείξει ότι οι κατασκευές της γνώσης μπορεί να διαψευστούν, αλλά και ότι είναι δυνατόν να υπάρξουν πολλές κατασκευές που είναι σε αρμονία με την εμπειρία. Κυρίαρχο ρόλο στη μάθηση και στην απόκτηση της γνώσης παίζουν οι ιδέες που έχουν τα παιδιά για τα φυσικά φαινόμενα, πριν καν τα διδαχθούν στο σχολείο. Οι απόψεις των μαθητών για τα φαινόμενα ομαδοποιούνται και συγκροτούν ερμηνευτικά πρότυπα που

καταγράφονται συνήθως ως εναλλακτικές ιδέες των παιδιών. Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών έχουν γενικότητα και διαχρονική ισχύ, παρόλο που μερικές από αυτές διαφοροποιούνται με την ανάπτυξη του μαθητή ή την επίδραση της διδασκαλίας. Οι αντιλήψεις (έννοιες) των παιδιών για το φως και τις ιδιότητές του έχουν αποτελέσει το αντικείμενο έρευνας σε πολλές χώρες με μαθητές από 9 έως 20 χρονών, όπως φαίνεται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Γενικά αυτές οι μελέτες, οι οποίες χρησιμοποίησαν συνεντεύξεις και / ή ερωτηματολόγια για τη συλλογή μαθητικών δεδομένων, κατέληξαν στο ότι οι μαθητές δε χρησιμοποιούσαν έννοιες συστηματικά, ότι μία συγκεκριμένη κατάσταση καθορίζει τη σχετική έννοια, ότι πολλές μαθητικές έννοιες (αντιλήψεις) δεν ήταν επιστημονικά αποδεκτές, ανεξάρτητα από το αν ή όχι οι μαθητές τις είχαν διδαχθεί και ότι αυτές οι έννοιες ήταν δύσκολο ν' αλλάξουν μέσα από τη συνηθισμένη διδασκαλία (Fetherstonhaugh T., 1992). Στην καθημερινή σχολική πράξη η διάγνωση των αντιλήψεων των μαθητών σπανίως πραγματοποιείται ως μέρος της κανονικής διδασκαλίας, εξαιτίας τού ότι είναι έργο δύσκολο και χρειάζεται αρκετό χρόνο.

Στόχος μιας σύγχρονης διδακτικής πράξης είναι η «εννοιολογική αλλαγή», δηλαδή η τροποποίηση των διαισθητικών αντιλήψεων των μαθητών για τις φυσικές έννοιες, τα φαινόμενα και τις σχέσεις μεταξύ μεγεθών, σε γνώσεις που είναι πιο συμβατές με το αντίστοιχο επιστημονικό πρότυπο. Διάφοροι άλλοι ερευνητές έχουν κατά καιρούς προσαρμόσει διδακτικές στρατηγικές και υλικό του αναλυτικού προγράμματος, σε διάφορους εννοιολογικούς τομείς, σε μια προσπάθεια να δημιουργήσουν βελτιωμένη εκμάθηση των εννοιών της Φυσικής από τους μαθητές. Παραδείγματα παρεμβατικής στρατηγικής είναι η δημιουργία παραφωνίας μέσα από συζητήσεις στην τάξη και επιδείξεις, το να φέρουν σε σύγκρουση τα ποιοτικά – λεκτικά συστήματα των μαθητών με τα ποσοτικά – αριθμητικά συστήματα απεικόνισης των μαθητών και το να δείχνουν την ανεπάρκεια των αντιλήψεων που υπάρχουν, μέσα από κατευθυνόμενη παρατήρηση (Fetherstonhaugh T., 1992). Για να πραγματοποιηθεί αυτή η «εννοιολογική αλλαγή», στην παρούσα ερευνητική προσπάθεια και αφού πρώτα εντοπίστηκαν κάποιες συγκεκριμένες προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών σε σχέση με το φως, με τη βοήθεια ενός ερωτηματολογίου, χρησιμοποιήθηκε μια σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία. Αυτή περιλαμβάνει όλες τις φάσεις ενός διδακτικού μοντέλου εποικοδομητικής προσέγγισης, αλλά και ένα πείραμα επίδειξης και συμμετοχής των μαθητών σ' αυτό.

Ακόμη σ' αυτό το κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάστηκαν πολλές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, που σχετίζονται με το φως και που εντοπίστηκαν κατά την αναδίφηση στη σχετική βιβλιογραφία. Πολλά παιδιά συχνά βλέπουν το φως ως κάτι το οποίο διαδίδεται αόριστα μέσα

στο χώρο. Τα παιδιά στην ηλικία 10 – 11 ετών φαίνεται ότι χρησιμοποιούν σπάνια την έννοια «φως – οντότητα μέσα στο χώρο» και γενικά εξισώνουν το φως με την πηγή του ή τα αποτελέσματά του. Σχεδόν όλα τα παιδιά 10 – 11 ετών δέχονται το «φως – πηγή» ως υπεύθυνο για το φαινόμενο της σκιάς, αλλά δίνουν προσοχή μόνο στην απεικόνιση του σχήματος του αντικειμένου, χωρίς να μπορούν να προβλέψουν σωστά τα αποτελέσματα της αλλαγής της χωρικής σχέσης μεταξύ φωτεινής πηγής, αντικειμένου και πετάσματος. Η ιδέα του φωτός που κινείται είναι μάλλον ξένη στα παιδιά, ακόμη και όταν θεωρούν το φως ως μια οντότητα εντοπισμένη στο χώρο. Τα παιδιά μπορούν πραγματικά να τοποθετήσουν το φως σε ευθύγραμμες ακτίνες χωρίς να έχουν κάποια ιδέα για την κίνηση του φωτός πάνω σ' αυτές τις ακτίνες, μόνο εφ' όσον έχουν την αντίληψη «φως – οντότητα στο χώρο». Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα παιδιά δεν παίρνουν υπόψη τους τη διατήρηση του φωτός, αφού υποστηρίζουν ότι ο μεγεθυντικός φακός έχει την ικανότητα να πολλαπλασιάζει ή να δυναμώνει το φως. Τα παιδιά λοιπόν συνδέουν την παρουσία του φωτός με ένα αισθητό αποτέλεσμα. Γι' αυτά το φως είναι ισχυρό. Όταν χάσει τη δύναμή του παύει να υπάρχει. Τα παιδιά κατατάσσουν το ηλεκτρικό φως και το φως του ήλιου σε δύο τελείως διακεκριμένες κατηγορίες. Υπάρχει μια ισχυρή σύνδεση μεταξύ φωτός και όρασης για τα περισσότερα παιδιά. Όμως σε πολλές περιπτώσεις ιδιαίτερη σημασία έχει ο επηρεασμός των μεταφορών που χρησιμοποιούνται στη γλώσσα και βοηθούν να ενισχύεται η ιδέα της όρασης ως μια προοδευτική διαδικασία στην οποία κάτι προέρχεται από το μάτι. Τα παιδιά μιλούν για πρωταρχικές πηγές φωτός πιο συχνά από ότι για δευτερεύουσες. Μόνο ένας μικρός αριθμός παιδιών πιθανόν είναι ικανός να δώσει μια εξήγηση που προσεγγίζει την επιστημονική κατανόηση σχετικά με τις δευτερεύουσες πηγές. Τα δεδομένα αυτά βελτιώνονται με την ηλικία. Το φως γύρω από τις πηγές συνήθως παρουσιάζεται από τα παιδιά με κοντές γραμμές. Όμως η χρήση εκτεταμένων γραμμών όπως αυτές που συνδέουν πηγή και αντικείμενο ή την πηγή και τα μάτια είναι περιορισμένη.

Ακολουθώντας θα προχωρήσουμε στα συμπεράσματα που προέκυψαν από το τρίτο μέρος αυτής της εργασίας, το ερευνητικό, που ίσως έχει και τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην ολότητα του έργου μας. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από μαθητές Στ' Δημοτικού, από πολυθέσια σχολεία των Χανίων. Το συνολικό δείγμα μας σχεδόν ισοκατανέμεται ως προς το φύλο. Γενικά υπάρχει η τάση στα παιδιά αυτά να δηλώνουν προτίμηση – ενδιαφέρον στο μάθημα των Φυσικών και μικρό βαθμό δυσκολίας στην κατανόησή του. Ως προς τη βαθμολογία των μαθητών του δείγματος, στο μάθημα των Φυσικών, αυτή είναι αρκετά καλή (όλοι βαθμολογήθηκαν από 7 και άνω), με το υψηλότερο ποσοστό (πάνω από 60%) να αξιολογείται από τους



δασκάλους του με την κορυφαία επίδοση. Αν λάβουμε λοιπόν σαν κύριο άξονα για μια αξιολογική αποτίμηση του δείγματος τη βαθμολογία αυτή βλέπουμε ότι έχουμε ένα ικανοποιητικό επίπεδο προσέγγισης των Φυσικών, χωρίς να έχει προϋπάρξει καμία επιλογή σε σχέση με την ποιότητα και το γνωστικό υπόβαθρο. Μια μικρή δυσαναλογία ανάμεσα στις δύο ομάδες του δείγματος υπάρχει στον αριθμό αγοριών και κοριτσιών, όπου στην ομάδα ελέγχου υπερτερούν τα αγόρια ενώ στην πειραματική ομάδα υπερτερούν τα κορίτσια. Οι επιλογές των ατόμων των δύο ομάδων είναι περίπου ανάλογες ως προς την προτίμηση στο μάθημα των Φυσικών και ως προς το βαθμό δυσκολίας στο μάθημα αυτό. Όμως μια μικρή διαφοροποίηση εμφανίζεται στο βαθμό δυσκολίας, όπου η πειραματική ομάδα δηλώνει σε σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό, μπορούμε να πούμε, υψηλό βαθμό δυσκολίας. Ως προς το βαθμό προόδου στο μάθημα των Φυσικών παρατηρείται μια μικρή υπεροχή της θεωρητικής ομάδας, η οποία δε δήλωσε βαθμό προόδου κάτω από 8.

Σε ένα πρώτο στάδιο θα δούμε, λίγο συνοπτικά, τις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών που εντοπίστηκαν με τη βοήθεια του ερωτηματολογίου, το οποίο κατόπιν συστηματικής προεργασίας δημιουργήθηκε. Τα παιδιά έχουν συνειδητοποιήσει την αξία του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου, αφού όλα τον θεωρούν σημαντικό για τη ζωή του ανθρώπου στη γη. Τα άλλα φωτεινά σώματα δε συγκεντρώνουν ανάλογες απαντήσεις, εκτός μόνο από τους κάθε μορφής ηλεκτρικούς λαμπτήρες που θεωρούνται από τα παιδιά, με αξιοπρόσεχτα ποσοστά, σημαντικοί. Βέβαια αυτοί οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί λαμπτήρες έχουν διευκολύνει πολύ τη ζωή των ανθρώπων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας, χωρίς όμως να είναι τόσο απαραίτητοι για την ύπαρξη της ζωής όπως ο ήλιος. Τα παιδιά αλλά και γενικότερα οι άνθρωποι παρουσιάζουν την τάση να θεωρούν αρκετά σημαντικούς για την καθημερινή τους ζωή τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες, χωρίς ίσως να συνειδητοποιούν, ότι είναι αναγκαίοι για τη διευκόλυνσή της αλλά όχι για την ύπαρξη της ζωής. Το μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών γνωρίζει ότι το φως διαδίδεται στο κενό, αλλά υπάρχουν και σημαντικά ποσοστά μαθητών τόσο στις θέσεις που δηλώνουν αβεβαιότητα όσο και στη λανθασμένη απάντηση. Η άποψη της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός, που παρουσιάζεται ως αποκλειστικός τρόπος διάδοσής του από το σχολικό τους εγχειρίδιο, φαίνεται να είναι βαθιά ριζωμένη στα παιδιά. Για άλλες απόψεις όμως, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά παραδεκτά μοντέλα προσέγγισης της διάδοσης του φωτός (π.χ. κυματικό), τα παιδιά συμφωνούν μ' αυτές σε μικρότερο ποσοστό απ' όλες τις άλλες κατηγορίες απαντήσεων. Έτσι το κυματικό μοντέλο, για παράδειγμα, που στηρίζει φαινόμενα στη φύση που δεν μπορούν να ερμηνευθούν αλλιώς, δε φαίνεται να έχει υποπέσει στην αντίληψη πολλών παιδιών αυτής της ηλικίας. Πολύ ενδιαφέρον είναι ότι υπάρχουν μαθητές που προτείνουν σαν τρόπο διάδοσης του

φωτός τα σωματίδια, άποψη που άπτεται στο πιο σύγχρονο μοντέλο προσέγγισης του φωτός, το κβαντικό, αλλά και άλλοι που μιλούν για ακτινοβολία φωτός, έκφραση που μας φέρνει στο μυαλό την άποψη ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Από τη μελέτη των απαντήσεων της ερώτησης 8 γίνεται φανερό ότι η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών του δείγματος είναι σίγουρη σχετικά με το πόσο σημαντικός, για την επιβίωση του ανθρώπου, είναι ο ήλιος και αυτά που μας προσφέρει, δεδομένα που συμβαδίζουν και με τα αποτελέσματα από την ερώτηση 5. Έτσι λοιπόν κατανοούμε ότι η πλειονότητα των μαθητών είναι πολύ κοντά στην επιστημονική άποψη σχετικά με το σημείο αυτό. Όμως η ανοικτή ερώτηση που ακολουθεί μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές του δείγματος δε δείχνουν να έχουν συνειδητοποιήσει ποιο φυσικό μέγεθος κρύβεται πίσω από το φως και τη θερμότητα που μας προσφέρει ο ήλιος, ή τουλάχιστον δεν μπορούν άμεσα να το εκφράσουν, πιθανόν γιατί δεν το έχουν συνειδητά και ισχυρά προσδιορίσει. Ένας μόνο μαθητής αναφέρει ρητά ότι η ενέργεια είναι αυτή που μας δίδεται από τον ήλιο, ώστε να μπορούμε να επιζήσουμε. Η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών γνωρίζει ότι το φως είναι απαραίτητο στα φυτά. Ενώ, λοιπόν, δείχνουν να γνωρίζουν τη φωτοσύνθεση, πολλοί μαθητές δεν κατέχουν τι γίνεται κατά τη διαδικασία αυτή, ούτε τον ακριβή ρόλο που έχει το φως σ' αυτήν. Στην ερώτηση 10 συντριπτικό ποσοστό μαθητών συμφωνεί (με απόλυτη βεβαιότητα ή μη) με την άποψη που υποστηρίζει ότι με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες οι οποίες αποτελούν φωτεινές δέσμες, άποψη η οποία συμβαδίζει μ' αυτά που διδάσκονται από το σχολικό τους εγχειρίδιο. Για τις δύο άλλες απόψεις, που αντιπροσωπεύουν το κυματικό και το κβαντικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός και που δεν αγγίζονται από τη σχολική διδακτική πράξη, οι μαθητές του δείγματος επιλέγουν με ξεκάθαρες διαφορές (ποσοστά γύρω στο 50%) τη διαφωνία. Για την άποψη δε, που συμβαδίζει με τις σύγχρονες επιστημονικές αντιλήψεις των ημερών μας, ως προς την έννοια του φωτός, η μεγάλη πλειονότητα των μαθητών τείνει στη διαφωνία (με βεβαιότητα ή όχι). Αυτό το αποτέλεσμα πρέπει περισσότερο απ' οποιοδήποτε άλλο να επιτείνει τον προβληματισμό μας. Κυρίαρχη άποψη λοιπόν στη σκέψη των μαθητών του δείγματος για την έννοια φως φαίνεται να είναι η άποψη των ακτίνων. Είναι εμφανές ότι απόψεις που συμβαδίζουν με φαινόμενα που εμπίπτουν συνηθέστερα στις αισθήσεις των παιδιών και που προωθούνται και από τη διδακτική πράξη κυριαρχούν στις αντιλήψεις τους, χωρίς όμως συνάμα να μπορούν να εκτοπίσουν εντελώς ορισμένες ασύμβατες με τα επιστημονικά δεδομένα ιδέες. Αντίθετα, διαφαίνεται ότι οι συμβατές με τα επιστημονικά δεδομένα αντιλήψεις δεν είναι προσιτές στη μεγάλη πλειονότητα των παιδιών. Το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών του δείγματος πιστεύει ότι πάντα το φως διαδίδεται με τη

μορφή φωτεινών ακτίνων, γεγονός που συμβαδίζει με τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις και των προηγούμενων μεταβλητών. Όλα αυτά δείχνουν ότι οι περισσότεροι μαθητές σκέφτονται με κύριο άξονα αυτά που διδάσκονται στο σχολείο. Κανένας μαθητής δεν μπόρεσε να περιγράψει επαρκώς ένα φαινόμενο όπου να φαίνεται ότι το φως δε διαδίδεται ευθύγραμμο. Αυτό από μια άποψη ήταν και αναμενόμενο, αφού οι γνώσεις που παρέχονται από το σχολείο στα παιδιά δεν τους προσφέρουν καν τη δυνατότητα να σκεφτούν ότι το φως μπορεί να θεωρηθεί ότι διαδίδεται και με άλλο τρόπο, εκτός από τις φωτεινές ακτίνες. Η μεγάλη πλειονότητα των μαθητών δηλώνει ότι δε γνωρίζει κάποια άλλη άποψη για την πειστική ερμηνεία φαινομένων που σχετίζονται με τη διάδοση του φωτός. Παρουσιάστηκαν βέβαια και εξαιρέσεις μαθητών που αναφέρουν ότι το φως μπορεί να διαδίδεται με μικροσωματίδια ή ότι μπορεί να διαδίδεται με κύματα, ενώ η πλειονότητα των μαθητών δείχνει ότι ποτέ δεν ήρθε σε επαφή με πιο σύγχρονες, εναλλακτικές απόψεις αντιμετώπισης του φαινομένου της διάδοσης του φωτός. Τέλος, το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος γνωρίζει ότι κυρίως το φως είναι το αντικείμενο μελέτης της Οπτικής, ενώ κανείς μαθητής δε δείχνει να γνωρίζει τους κλάδους στους οποίους διαιρείται η Οπτική.

Στη συνέχεια θα θυμηθούμε τις ερευνητικές υποθέσεις οι οποίες διατυπώθηκαν στην έρευνα αυτή, θα δούμε εάν επαληθεύτηκαν ή όχι και θα διατυπώσουμε τα συμπεράσματά μας. Η 1<sup>η</sup> υπόθεση, που αναφερόταν στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης, που είχε ενσωματωθεί από τη σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία, σε σχέση με τις απόψεις που αναπτύσσουν οι μαθητές ως προς τη σημαντικότητα για τη ζωή του ανθρώπου στη γη τεσσάρων φωτεινών σωμάτων, δεν επαληθεύτηκε ούτε σε σχέση με το αν ήξεραν περισσότεροι μαθητές μετά την παρέμβαση ούτε σε σχέση με το πόσο σημαντικό θεωρούσαν καθένα απ' αυτά τα σώματα για τη ζωή του ανθρώπου. Αντίστοιχα ήταν τα αποτελέσματα και για τη 2<sup>η</sup> υπόθεση, που αφορά την πειραματική ομάδα. Νομίζω όμως σ' αυτό το σημείο ότι δεν πρέπει να μας διαφύγουν συμπεράσματα που προέκυψαν από την περιγραφική στατιστική ανάλυση. Είδαμε λοιπόν ότι τα παιδιά έχουν συνειδητοποιήσει την αξία του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα φωτεινά σώματα όπου οι κατηγορίες που δηλώνεται υψηλή σημαντικότητα για τη ζωή του ανθρώπου δε συγκεντρώνουν τόσο υψηλά ποσοστά. Οι προϋπάρχουσες ιδέες των περισσότερων παιδιών βρίσκονται πλησίον της επιστημονικής άποψης, οπότε δεν περιμέναμε βέβαια η παρέμβαση να εμφανίσει στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις. Μόνη εξαίρεση ίσως αποτελούν οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί λαμπτήρες όπου τα ποσοστά της υψηλής σημαντικότητάς τους είναι μεγαλύτερα. Μια πιθανή εξήγηση για την ύπαρξη τέτοιας προϋπάρχουσας ιδέας στους μαθητές δόθηκε

πρωτότερα, ενώ η παρέμβαση δεν μπόρεσε να επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Στην 3<sup>η</sup> υπόθεση, που αναφέρεται στον προσδιορισμό ή όχι του φυσικού μεγέθους της ενέργειας από τους μαθητές ως υπεύθυνου για τη σημασία του ηλιακού φωτός για τη ζωή και την ανάπτυξη, η παρέμβαση με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας δεν επέφερε σημαντική διαφοροποίηση ούτε ως προς το αν ξέρουν ή όχι οι μαθητές ούτε ως προς τον τρόπο που απαντούν, σε σχέση με το αν θεωρούν ότι ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου ή σε σχέση με τους λόγους για τους οποίους τα φυτά χρειάζονται το φως. Ανάλογα είναι τα αποτελέσματα και για την 4<sup>η</sup> υπόθεση, που αναφέρεται σε παρέμβαση με σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία και χρήση πειράματος. Στην ανοικτή ερώτηση που αφορά αυτές τις υποθέσεις, πριν από την παρέμβαση φαίνεται ότι οι μαθητές δεν έχουν συνειδητοποιήσει ότι το φυσικό μέγεθος της ενέργειας είναι αυτό που επιτρέπει την ύπαρξη οποιασδήποτε μορφής ζωής και που εδώ στη γη μας δίδεται κυρίως από τον ήλιο. Και τα αποτελέσματα μετά την παρέμβαση δε διαφέρουν τόσο πολύ. Βέβαια αυτή τη φορά οι μαθητές που μιλούν για ενέργεια είναι πέντε, έναντι ενός πριν την παρέμβαση. Βλέπουμε λοιπόν ότι τόσο η 3<sup>η</sup> όσο και η 4<sup>η</sup> υπόθεση δεν επαληθεύονται. Θυμόμαστε όμως ότι τόσο για το αν ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου όσο και για το αν χρειάζεται το φως στα φυτά οι μαθητές του δείγματος στη συντριπτική τους πλειονότητα είχαν πριν από την παρέμβαση αναπτύξει απόψεις συμβατές με τις επιστημονικές. Εκεί που η παρέμβαση δεν επέτυχε το σκοπό της είναι κυρίως στο ότι οι μαθητές, ακόμα και μετά την παρέμβαση, δε συνειδητοποιούν τι ρόλο ακριβώς παίζει η ενέργεια του φωτός στη φωτοσύνθεση και στην ανάπτυξη του φυτού και ότι η ενέργεια είναι αυτή που δεχόμαστε από τον ήλιο και που χωρίς αυτήν δε μπορεί να υπάρξει ανάπτυξη των οργανισμών αλλά και ύπαρξη ζωής.

Σειρά έχει η υπόθεση 5, που αναφέρεται στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης (σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία) στην άποψη που αναπτύσσουν οι μαθητές σε σχέση με το αν το φως διαδίδεται στο κενό. Η υπόθεση δεν επαληθεύεται ούτε ως προς το αν ξέρουν περισσότεροι μαθητές μετά την παρέμβαση ούτε ως προς τον τρόπο που απάντησαν. Ούτε η υπόθεση 6, που είναι ανάλογη αλλά αφορά την πειραματική ομάδα (σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία και χρήση πειράματος) δεν επαληθεύτηκε. Εδώ είναι σημαντικό ν' αναφερθεί ότι πριν από την παρέμβαση το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών έχει άποψη που συμπίπτει με την επιστημονική, αλλά υπάρχουν και σημαντικά ποσοστά μαθητών σε άλλες απόψεις λανθασμένες. Αυτά τα αποτελέσματα η παρέμβαση δεν μπόρεσε να τα διαφοροποιήσει σημαντικά. Ούτε όμως

και η παραδοσιακή διδασκαλία της σχολικής τάξης μπορεί να απαλείψει τις λανθασμένες απόψεις από πολλούς μαθητές.

Ακολουθώντας θα αναφερθούμε στην υπόθεση 7, που αναφέρεται στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης (σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία) στην ομάδα ελέγχου, σε σχέση με την ικανότητα των μαθητών να εξηγήσουν τη διάδοση του φωτός με περισσότερους από ένα αποδεκτούς επιστημονικά τρόπους. Στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση προκάλεσε η παρέμβαση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, στις απαντήσεις που επέλεξαν οι μαθητές στις απόψεις που αναφέρονται στη διάδοση του φωτός με κύματα ή με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος. Για τις δύο αυτές απόψεις, πριν την παρέμβαση, οι μαθητές κατευθύνονταν ξεκάθαρα στη διαφωνία. Μάλιστα οι δύο αυτές απόψεις άπτονται του κυματικού και του σωματιδιακού μοντέλου προσέγγισης του φωτός. Ιδιαίτερα η προσέγγιση από τους μαθητές του κυματικού μοντέλου, αλλά και του σωματιδιακού, ήταν από τους κύριους στόχους αυτής της εργασίας. Εκεί που έχει μεγάλη σημασία το γεγονός ότι η παρέμβαση δεν μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματική, είναι στην διαφοροποίηση της άποψης των μαθητών ως προς την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, αλλά και στην ικανότητά τους να γνωρίζουν κάποια άλλη άποψη για τη διάδοση του φωτός εκτός από αυτή των ευθύγραμμων φωτεινών ακτίνων. Καταλαβαίνουμε, λοιπόν, πόσο βαθιά ριζωμένη είναι αυτή η άποψη στα παιδιά, ίσως επειδή στηρίζεται σε αισθητηριακές αντιλήψεις των ίδιων των παιδιών ή και επειδή διδάσκεται με ένα εντελώς απόλυτο τρόπο, καθολικής ισχύος, στο σχολείο. Όσο δε για την υπόθεση 8, που αφορά την πειραματική ομάδα, η παρέμβαση προκαλεί στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, μόνο για τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στη διάδοση του φωτός με κύματα. Αυτό δε μας εκπλήσσει γιατί το πείραμα που διαφοροποιεί την παρέμβαση στην πειραματική ομάδα από την ομάδα ελέγχου στηρίζει μόνο το κυματικό μοντέλο. Συνεπώς είναι αναμενόμενο εκεί να εμφανίζεται κυρίως η στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση. Στις υποθέσεις αυτές αναφέρεται και η ανοικτή ερώτηση που ακολουθεί τη μεταβλητή  $v_{29}$ . Στην ομάδα ελέγχου, ενώ κανείς πριν από την παρέμβαση δεν είχε διατυπώσει άλλη άποψη για την διάδοση του φωτός, μετά την παρέμβαση 9 άτομα διατύπωσαν την άποψη των κυμάτων και 3 αυτή των φωτονίων. Στην πειραματική ομάδα πριν την παρέμβαση 1 άτομο είχε μιλήσει για κύματα και 1 για μικροσωμάτια. Μετά την παρέμβαση στα κύματα αναφέρθηκαν 3 άτομα ενώ στα φωτόνια 1. Καταλαβαίνουμε λοιπόν μ' αυτή την ανοικτή ερώτηση ότι η παρέμβαση προκάλεσε σημαντική διαφοροποίηση.

Η 9<sup>η</sup> υπόθεση, που αναφερόταν στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης, που είχε ενσαρκωθεί από τη σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία, σε σχέση με τις απόψεις που αναπτύσσουν οι μαθητές ως

προς τη μη καθολική πίστη τους στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός και ως προς την ικανότητά τους να περιγράψουν και να εξηγήσουν ικανοποιητικά, με απλό αλλά διαφορετικό τρόπο και άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με το φως, δεν επαληθεύτηκε σε σχέση με το αν ήξεραν περισσότεροι μαθητές μετά την παρέμβαση. Όμως η παρέμβαση προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, ως προς τον τρόπο που απάντησαν οι μαθητές σε σχέση με το αν πιστεύουν ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα. Η αντίστοιχη 10<sup>η</sup> υπόθεση αφορά την πειραματική ομάδα. Και σ' αυτήν την υπόθεση η παρέμβαση δεν προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με το αν ήξεραν περισσότεροι μαθητές μετά την παρέμβαση, όμως προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, ως προς τον τρόπο που απάντησαν οι μαθητές σε σχέση με το αν πιστεύουν ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα. Μάλιστα πρέπει ν' αναφερθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών, πριν την παρέμβαση, πιστεύει ότι πάντα το φως διαδίδεται με τη μορφή φωτεινών ακτίνων, οπότε η παρέμβαση (με οποιαδήποτε από τις δύο μορφές της) διαφοροποίησε προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Στις υποθέσεις αυτές αναφέρεται και η ανοικτή ερώτηση που ακολουθεί τη μεταβλητή v28. Είδαμε ότι πριν την παρέμβαση κανένα παιδί δεν μπόρεσε να περιγράψει ικανοποιητικά ένα φαινόμενο όπου δε συμβαίνει να διαδίδεται το φως ευθύγραμμα. Και μετά την παρέμβαση όμως τα παιδιά απαντούν ανάλογα, χωρίς να μπορούν να δώσουν μια ικανοποιητική περιγραφή ενός τέτοιου φαινομένου. Μιλούν για τα εναλλακτικά μοντέλα της διάδοσης του φωτός, χωρίς να μπορούν να περιγράψουν φαινόμενα που αντιστοιχούν σ' αυτά. Μόνο ένας μαθητής, της ομάδας ελέγχου, μπόρεσε να δώσει μια τέτοια περιγραφή. Συγκεκριμένα έγραψε ότι το φως όταν περάσει κοντά από ένα ουράνιο σώμα εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία του, καθώς έλκεται από τη δύναμη της βαρύτητας του ουρανού αυτού σώματος. Το φαινόμενο που περιέγραψε ο συγκεκριμένος μαθητής μπορεί να εξηγηθεί μόνο από το σωματιδιακό μοντέλο προσέγγισης του φωτός. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η παρέμβαση γι' αυτές τις δύο υποθέσεις ήταν, ως προς το πρώτο μέρος τους, αποτελεσματική. Είναι όμως πραγματικά δύσκολο για τα παιδιά να μπορέσουν να περιγράψουν φαινόμενα όπου προσεγγίζονται από άλλο μοντέλο και όχι απ' αυτό της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.

Θα προχωρήσουμε με την υπόθεση 11, που αναφέρεται στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, σε σχέση με την ικανότητα των μαθητών να προσδιορίσουν την έννοια φως με επιστημονικά αποδεκτό τρόπο. Η παρέμβαση δεν προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με το αν ξέρουν ή όχι περισσότεροι μαθητές μετά την παρέμβαση.

Ως προς τον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στις διάφορες απόψεις για την έννοια φως, η παρέμβαση προκάλεσε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, στην άποψη που αναφέρεται στα κύματα αλλά και σ' αυτήν που αναφέρεται στα μικροσκοπικά σωματίδια. Και για τις δύο απόψεις οι μαθητές πριν την παρέμβαση είχαν εκφράσει τη διαφωνία τους, οπότε η παρέμβαση διαφοροποίησε προς τη σωστή κατεύθυνση. Εκεί που δεν μπόρεσε να διαφοροποιήσει τα αποτελέσματα είναι στην άποψη που αναφέρεται στις ακτίνες (άποψη που είναι ισχυρά εδραιωμένη στα παιδιά για λόγους που έχουμε αναφέρει και πρωτύτερα) και σ' αυτήν που αναφέρεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (την άποψη για την έννοια φως που συμπίπτει με την επιστημονική). Αντίστοιχα η υπόθεση 12 αναφέρεται στην πειραματική ομάδα. Για τη μεταβλητή που αναφέρεται στα μικροσκοπικά σωματίδια παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, ως προς το αν ξέρουν περισσότεροι μαθητές μετά την παρέμβαση. Για τη μεταβλητή που αναφέρεται στον τρόπο που απαντούν οι μαθητές στην άποψη των κυμάτων παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%. Επαναλαμβάνω και πάλι ότι δε μας εκπλήσσουν τέτοιου είδους αποτελέσματα γιατί η διαφοροποίηση της παρέμβασης στις δύο ομάδες (ελέγχου και πειραματική) είναι ένα πείραμα που στηρίζει την κυματική άποψη. Μία ανοικτή ερώτηση αναφέρεται σ' αυτές τις υποθέσεις και ζητά να εντοπιστεί από τα παιδιά η καταλληλότερη άποψη για να περιγράψει το φως. Πριν την παρέμβαση τα παιδιά επέμεναν στην άποψη των ακτίνων. Και μετά την παρέμβαση η μεγάλη πλειονότητα των παιδιών και στις δύο ομάδες εμμένει στην ίδια άποψη, ενώ ελάχιστοι είναι οι μαθητές που εντοπίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Ακολουθώ έχουμε την υπόθεση 13, που αναφέρεται στη διαδικασία της παρέμβασης, με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας, ως προς τις γνώσεις που έχουν αναπτύξει οι μαθητές σε σχέση με την Οπτική. Πουθενά δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση. Ούτε και στην υπόθεση 14, που αφορά την πειραματική ομάδα, δεν είχαμε κάποια στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση. Αυτά είναι αναμενόμενα αποτελέσματα γιατί πριν από την παρέμβαση η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών επιλέγει την σωστή απάντηση, ως το κύριο αντικείμενο της Οπτικής. Πριν την παρέμβαση κανείς μαθητής δεν μπόρεσε να απαντήσει σε ποιους κλάδους διαιρείται η Οπτική. Μετά την παρέμβαση και στις δύο ομάδες (ελέγχου και πειραματική), αρκετά παιδιά ανέφεραν τη Γεωμετρική Οπτική, ενώ λίγα ήταν αυτά που έδειξαν να κατέχουν και τους τρεις κλάδους, στους οποίους διαιρείται η Οπτική.

Τέλος θα δούμε τα συμπεράσματα που εξάγονται σε σχέση με τη 15<sup>η</sup> υπόθεση. Αυτή η υπόθεση αναφέρεται στις δύο μορφές της παρέμβασης

και υποθέτει ότι η παρέμβαση που έγινε στην πειραματική ομάδα επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα στις εννοιολογικές προσεγγίσεις (ιδέες που αναπτύσσονται) των μαθητών και στη δημιουργία νοητικών μοντέλων απ' αυτούς σε σχέση με το φως, τις ιδιότητές του και τη διάδοσή του, που είδαμε ως εξαρτημένες μεταβλητές και στις προηγούμενες υποθέσεις, από την παρέμβαση που έγινε στην ομάδα ελέγχου. Αρχικά ελέγχθηκαν οι δύο ομάδες, πριν από την παρέμβαση, για να δούμε αν ήταν ισοδύναμες ως προς τα δεδομένα κάθε μεταβλητής. Ο έλεγχος αυτός έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δύο ομάδων ως προς τις κατηγορίες απαντήσεων «Ξέρω» – «Δεν ξέρω». Για τις υπόλοιπες κατηγορίες απαντήσεων, μόνο για τις μεταβλητές v11, v12, v14, v15, v18, v24 (και για τη v6 αν στρογγυλοποιηθεί η τιμή της στατιστικής σημαντικότητας διπλής κατεύθυνσης στο εκατοστό), οι δύο ομάδες (ελέγχου και πειραματική) δεν εμφανίζονται ισοδύναμες. Ως προς τις απαντήσεις που δόθηκαν στις ανοικτές ερωτήσεις του ερωτηματολογίου αυτές ήταν παραπλήσιες για τα άτομα και των δύο ομάδων. Άρα δεν μπορούμε να πούμε ότι σ' αυτές εμφανίζεται διαφοροποίηση των δύο ομάδων.

Στον έλεγχο τώρα των δύο ομάδων μετά από την παρέμβαση, για τις κατηγορίες «Ξέρω» - «Δεν ξέρω», μόνο για τη μεταβλητή v25 έχω στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% διπλής και μονής κατεύθυνσης, οπότε συμπεραίνω ότι οι δύο ομάδες δεν είναι ισοδύναμες, με την παρέμβαση της πειραματικής ομάδας να υπερτερεί ως προς την πρόκληση στατιστικά σημαντικής διαφοροποίησης των δεδομένων. Αυτό φάνηκε και από τη συστηματική μελέτη των απαντήσεων μετά την παρέμβαση. Αρχικά, πριν την παρέμβαση, στην άποψη των μικροσκοπικών σωματιδίων ως εξήγηση για το τι εννοούμε με την έννοια φως, η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών και στις δύο ομάδες τείνει προς τη διαφωνία. Μετά την παρέμβαση, πολλά άτομα της πειραματικής ομάδας, παρόλο που το πείραμα που χρησιμοποιήθηκε στηρίζει κυρίως το κυματικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός, προτίμησαν αντί για τη διαφωνία να μην λάβουν θέση επιλέγοντας το «Δεν ξέρω». Αυτό σημαίνει ότι η παρέμβαση, σε πολλά άτομα αυτής της ομάδας, κατάφερε να κλονίσει την κατασταλαγμένη άποψη την οποία κατείχαν. Ως προς τις άλλες κατηγορίες απαντήσεων τα αποτελέσματα είναι τα εξής: Μόνο για τη μεταβλητή v7 παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων των δύο ομάδων, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% διπλής κατεύθυνσης, εάν στρογγυλοποιηθεί η τιμή στατιστικής σημαντικότητας στο εκατοστό. Για καμιά από τις άλλες μεταβλητές δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των δεδομένων της ομάδας ελέγχου και της πειραματικής, ως προς τις άλλες κατηγορίες απαντήσεων, μετά την παρέμβαση. Η μεταβλητή v7 αναφέρεται στο



πόσο σημαντικά θεωρούνται τα άστρα για τη ζωή του ανθρώπου. Πριν την παρέμβαση και στις δύο ομάδες το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών επέλεξε το «Λίγο σημαντικό» (οι δύο ομάδες, γι' αυτή τη μεταβλητή ήταν ισοδύναμες). Μετά την παρέμβαση, στην ομάδα ελέγχου, η συντριπτική πλειοψηφία επιλέγει το «Λίγο σημαντικό», ενώ στην πειραματική ομάδα τα περισσότερα παιδιά ισοκατανέμονται στις κατηγορίες «Λίγο σημαντικό» και «Αρκετά σημαντικό». Καμία εξήγηση δεν ευρέθηκε γι' αυτή τη διαφοροποίηση. Πιθανόν τυχαίοι, αστάθμητοι παράγοντες έπαιξαν το ρόλο τους. Για τις μεταβλητές τις οποίες πριν την παρέμβαση οι δύο ομάδες δεν εμφανίζονταν ισοδύναμες, μετά την παρέμβαση εμφανίζονται ισοδύναμες. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο τύποι παρέμβασης διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς την αποτελεσματικότητά τους. Οι μεταβλητές v11 και v12 αναφέρονται στους τρόπους διάδοσης του φωτός με κύματα και με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος. Πριν την παρέμβαση τα άτομα και των δύο ομάδων επέλεξαν στην πλειοψηφία τους τη διαφωνία. Μετά από την παρέμβαση η μελέτη των απαντήσεων δείχνει ότι σαφώς η παρέμβαση στην πειραματική ομάδα ήταν πιο αποτελεσματική. Η μεταβλητή v18 αναφέρεται στον πιο συμβατό με την επιστημονική άποψη λόγο για τον οποίο τα φυτά χρειάζονται το φως. Η παρέμβαση εδώ αύξησε το ποσοστό συμφωνίας μ' αυτό το λόγο και στις δύο ομάδες, ιδιαίτερα όμως στην πειραματική ομάδα, όπου εμφανίζεται η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών να συμφωνεί. Τέλος η μεταβλητή v24 αναφέρεται στην άποψη των κυμάτων ως εξήγηση για την έννοια φως. Αρχικά όλοι οι μαθητές διαφωνούσαν στην πλειονότητα τους. Μετά την παρέμβαση όμως μικρότερο ποσοστό μαθητών της πειραματικής ομάδας, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, επιλέγει το «Διαφωνώ», ενώ λίγο περισσότεροι τείνουν προς τη συμφωνία. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι γι' αυτές τις μεταβλητές η παρέμβαση με τη μορφή της σύγχρονης εναλλακτικής διδασκαλίας και της χρήσης πειράματος είναι πιο αποτελεσματική και η υπόθεση 15, γι' αυτές τις μεταβλητές, επαληθεύεται. Είναι σημαντικό όμως να προσέξουμε ότι κάποιες απ' αυτές τις μεταβλητές αναφέρονται στο κυματικό και στο κβαντικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός, η επαφή των οποίων με τα παιδιά ήταν από τους κύριους στόχους αυτής της προσπάθειας. Ως προς τις ανοικτές ερωτήσεις του ερωτηματολογίου τα συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα: Για την ερώτηση που ζητάει από τους μαθητές να δώσουν μια εξήγηση για την επιλογή τους στο εάν ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου, οι απαντήσεις στις δύο ομάδες είναι περίπου παραπλήσιες. Ως προς τη ζητούμενη έννοια, που ήταν η ενέργεια, δύο μαθητές της ομάδας ελέγχου έναντι τριών της πειραματικής τη διατύπωσαν. Ως προς την ερώτηση «ποια άποψη θεωρείς ως καταλληλότερη για να περιγράψει το φαινόμενο του φωτός;» και στις δύο ομάδες η πλειονότητα των μαθητών επιμένει

στις ακτίνες. Στην πειραματική ομάδα, όμως, δεν είναι τόσο μεγάλη η διαφορά έναντι των άλλων απαντήσεων, ενώ υπάρχει και ένας μαθητής που επιλέγει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αντίθετα στην ομάδα ελέγχου δύο μαθητές επιλέγουν τα μικροσκοπικά σωματίδια (κβαντικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός). Και στην ανοικτή ερώτηση που ζητάει από τους μαθητές να περιγράψουν ένα φαινόμενο όπου δε συμβαίνει να διαδίδεται το φως ευθύγραμμο, ο τρόπος που απαντούν οι μαθητές είναι ανάλογος. Τέλος, στην ανοικτή ερώτηση, που ζητάει από τους μαθητές να διατυπώσουν κάποια άλλη άποψη για τη διάδοση του φωτός, εάν προηγουμένως είχαν επιλέξει το «Ναι», λίγοι μαθητές από κάθε ομάδα αναφέρουν την άποψη των κυμάτων και των φωτονίων (οι περισσότεροι κάθε φορά μιλούν για κύματα), χωρίς να μπορέσουν να τη διατυπώσουν με περισσότερες λεπτομέρειες.

Κλείνοντας λοιπόν αυτήν τη μελέτη μπορούμε να πούμε ότι η ερευνητική προσπάθεια η οποία πραγματώθηκε απέδωσε ορισμένα πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά ανακαλύψαμε προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών σε σχέση με το φως και τη διάδοσή του και είδαμε ότι οι αισθητηριακές αντιλήψεις των παιδιών σε συνδυασμό με μια απόλυτη και μονόπλευρη σχολική διδασκαλία μπορεί να ενσταλάξουν στη σκέψη τους ιδέες, που δεν επιδέχονται αργότερα αμφισβήτηση και που δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη εναλλακτικών μοντέλων προσέγγισης. Είδαμε ακόμα ότι μια σύγχρονη εναλλακτική διδασκαλία με ανάλογο περιεχόμενο, ιδιαίτερα αν συνδυάζεται και με κάποιο πείραμα, μπορεί να φέρει σε επαφή τη σκέψη των παιδιών με νέα, επιστημονικά αποδεκτά, μοντέλα προσέγγισης του φωτός και να καλλιεργήσει το κατάλληλο έδαφος ώστε να μπορούν να συνειδητοποιήσουν τα παιδιά ότι η επιστήμη προσεγγίζει την αλήθεια και συνάμα η αντίστοιχη γνώση δομείται στον ανθρώπινο νου, με την κατασκευή και χρήση μοντέλων προσέγγισης των φαινομένων και νοητικών γνωστικών μοντέλων. Έτσι τα παιδιά, φάνηκε ξεκάθαρα, ότι ανταποκρίθηκαν μετά την παρέμβαση ικανοποιητικά στο κυματικό μοντέλο κυρίως, αλλά και στο κβαντικό μοντέλο προσέγγισης του φωτός. Βέβαια η αποτελεσματικότητα της προσπάθειας που έγινε θα μπορούσε να είναι ακόμα περισσότερο αποδοτική. Ίσως όμως η έλλειψη μεγάλης εμπειρίας στην έρευνα από τον ερευνητή, αλλά και κάποιοι άλλοι αστάθμητοι παράγοντες που προέκυψαν κατά την ερευνητική διαδικασία και που δεν ήταν δυνατόν να προϋπολογισθούν, δεν επέτρεψαν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Θεωρούμε όμως ότι η έρευνα, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, σ' αυτό το πολύ σημαντικό αντικείμενο της Φυσικής, το φως και στις απεριόριστες διδακτικές του προεκτάσεις, είναι ακόμα στην αρχή και έχει πολύ δρόμο να διανύσει.

Η δική μας έρευνα είναι εντοπισμένη σε μία γεωγραφική περιοχή της χώρας και ίσως σε μικρό δείγμα μαθητών. Για το λόγο αυτό η γενίκευση των συμπερασμάτων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Χρήσιμο θα είναι να

γίνουν αντίστοιχες γενικευμένες έρευνες σε όλο τον ελλαδικό χώρο. Το δείγμα θα πρέπει να είναι μεγάλου μεγέθους και να εξασφαλιστεί όσο είναι δυνατόν, ιδιαίτερα η αντιπροσωπευτικότητά του. Έτσι τα αποτελέσματα θα μπορούν να γενικευθούν χωρίς ιδιαίτερες επιφυλάξεις. Ελπίδα μας είναι η εργασία αυτή να συνεισφέρει το δικό της λιθαράκι στο οικοδόμημα της επιστήμης και κυρίως να προσφέρει στην καθημερινή διδακτική πράξη και να βοηθήσει τους συναδέλφους εκπαιδευτικούς στο αληθινά δύσκολο, κοπιαστικό και τόσο σπουδαίο έργο τους.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

Νικόλαος Γιαννακάκης  
Δάσκαλος – Μεταπτυχιακός φοιτητής  
Παιδαγωγικού Τμήματος Δ. Ε.  
Πανεπιστημίου Κρήτης

Μάιος 2000

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ (ανώνυμο)

Αγαπητά παιδιά,

Το ερωτηματολόγιο αυτό εντάσσεται στα πλαίσια μιας έρευνας που αφορά τη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων της Φυσικής, στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Και είναι πραγματικά πολύ σημαντικό, για εσάς τα παιδιά και όχι μόνο, η διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής Επιστήμης να γίνεται με τον πιο αποδοτικό και ενδιαφέροντα τρόπο.

Το ερωτηματολόγιο αυτό απευθύνεται σε παιδιά Στ' τάξης, διαφόρων Δημοτικών Σχολείων. Όπως θα παρατηρήσετε στη συνέχεια δε ζητείται το όνομά σας. Οι απαντήσεις του ερωτηματολογίου δε θα μελετηθούν από το δάσκαλό σας ούτε θα ληφθούν υπόψη στην επίδοσή σας ή στο βαθμό προόδου σας στο μάθημα των Φυσικών. **Το ερωτηματολόγιό μας είναι ανώνυμο και απόλυτα εμπιστευτικό.**

Στις περισσότερες ερωτήσεις δεν έχετε παρά να βάλετε ένα **X** στην ανάλογη θέση. Σε μερικές άλλες καλείστε να απαντήσετε με περισσότερα λόγια, αναπτύσσοντας τη γνώμη σας.

Σας παρακαλούμε, λοιπόν, να απαντήσετε ειλικρινά και ελεύθερα σ' όλες τις ερωτήσεις. Θέλουμε να πιστέψετε ότι, όχι μόνο η διεξαγωγή και η εγκυρότητα της έρευνάς μας, εξαρτάται από εσάς.

Με τη βεβαιότητα πως δε θα αρνηθείτε τη συμβολή σας αυτή, σας ευχαριστούμε εκ των προτέρων.



## ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

5. Υπάρχουν διάφορα φωτεινά σώματα (αυτόφωτα ή ετερόφωτα), όπως βλέπεις και στις παρακάτω εικόνες (α, β και γ), τα οποία μπορεί να μας δώσουν φως.



Εικόνα α



Εικόνα β



Εικόνα γ

*Πόσο σημαντικό θεωρείς καθένα από αυτά τα σώματα, από τα οποία προέρχεται το φως, γενικά για τη ζωή του ανθρώπου στη γη; (Σημείωσε, για καθένα σώμα ξεχωριστά πόσο σημαντικό είναι κατά τη γνώμη σου, βάζοντας ένα Χ στην ανάλογη θέση.)*

**Αυτό το σώμα είναι κατά τη γνώμη μου:**

Φωτεινά σώματα είναι:	Πολύ σημαντικό	Αρκετά σημαντικό	Λίγο σημαντικό	Καθόλου σημαντικό	Δεν ξέρω
Ο ήλιος					
Το φεγγάρι					
Τα άστρα					
Οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί Λαμπτήρες					

**6.Ο ήχος δε διαδίδεται στο κενό.** Αυτό σημαίνει ότι για να φτάσει από την ηχητική πηγή στο αυτί μας, χρειάζεται κάποιο μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο) να παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής και του αυτιού, έτσι ώστε να διαδοθεί.

**Συμβαίνει το ίδιο με το φως, δηλαδή διαδίδεται το φως στο κενό;**

**Ναι   Μάλλον ναι   Μάλλον όχι   Όχι   Δεν ξέρω**

7. Το φως του ήλιου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, φτάνει μέχρι τη γη και μας φωτίζει.



**Με ποιο τρόπο περιγράφεται η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας;**

*(Σημείωσε, για κάθε ένα τρόπο ξεχωριστά το βαθμό συμφωνίας ή διαφωνίας σου, βάζοντας ένα Χ στην ανάλογη θέση.)*

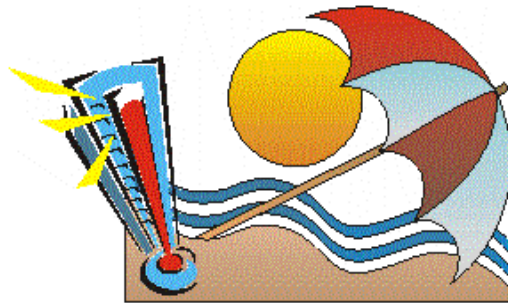
**Με αυτό τον τρόπο:**

<b>Τρόπος που περιγράφεται η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη είναι:</b>	<b>Συμφωνώ</b>	<b>Μάλλον συμφωνώ</b>	<b>Μάλλον διαφωνώ</b>	<b>Διαφωνώ</b>	<b>Δεν ξέρω</b>
Με ευθύγραμμες ακτίνες					
Με κύματα					
Με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος που παρεμβάλλεται ανάμεσα στον ήλιο και στη γη					
Με ρεύματα κάποιων σωμάτων που μεταφέρουν τη φωτεινή ενέργεια από τον ήλιο στη γη					
Κάποιος άλλος. Ποιος;..... .....					



8. Η γη μας δέχεται από τον ήλιο φως (εικόνα α) και θερμότητα (εικόνα β).

Εικόνα α



Εικόνα β

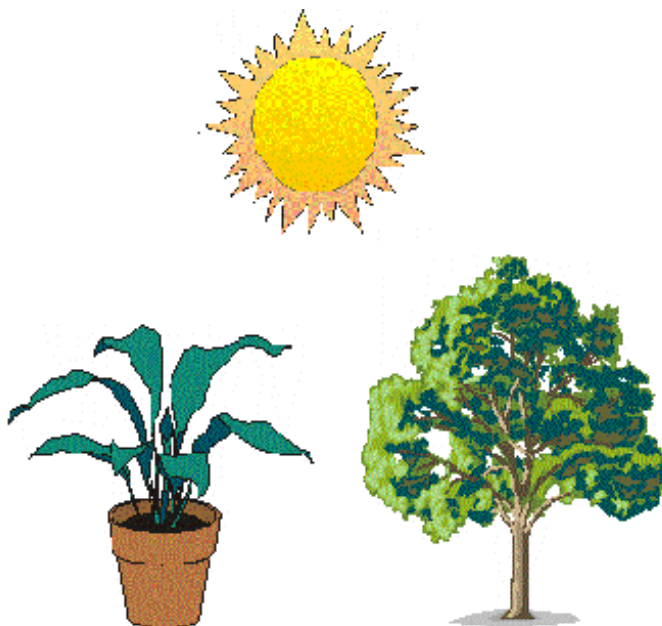
Νομίζεις ότι θα μπορούσε ο άνθρωπος να ζήσει χωρίς αυτές τις προσφορές του ήλιου;

Ναι    Μάλλον ναι    Μάλλον όχι    Όχι    Δεν ξέρω

? *Εάν* στην προηγούμενη ερώτηση επέλεξες ναι ή όχι δώσε μια εξήγηση γι' αυτό:

.....  
.....  
.....

9. Τα δέντρα και γενικά όλα τα φυτά αγαπούν το φως.



**Γιατί νομίζεις ότι τα φυτά χρειάζονται το φως;** (Σημείωσε, για κάθε ένα λόγο ξεχωριστά το βαθμό συμφωνίας ή διαφωνίας σου, βάζοντας ένα Χ στην ανάλογη θέση.)

Με αυτό το λόγο:

Λόγοι για τους οποίους τα φυτά χρειάζονται το φως είναι:	Συμφωνώ	Μάλλον Συμφωνώ	Μάλλον διαφωνώ	Διαφωνώ	Δεν ξέρω
Γιατί είναι ένα είδος τροφής γι' αυτά					
Γιατί τους προσφέρει ενέργεια απαραίτητη για να πάρουν την τροφή τους (νερό και ανόργανες ουσίες) από το χώμα					
Γιατί τους προσφέρει ενέργεια απαραίτητη για να φτιάξουν μόνα τους την τροφή τους (γλυκόζη)					
Κάποιος άλλος. Ποιος;..... .....					
Δεν τους χρειάζεται. Τους είναι άχρηστο.					

10. α) Τι εννοούμε με την έννοια φως; (Σημείωσε, για κάθε μία άποψη ξεχωριστά το βαθμό συμφωνίας ή διαφωνίας σου, βάζοντας ένα X στην αντίστοιχη θέση.)

Με αυτή την άποψη:

Άποψη για την έννοια φως:	Συμφωνώ	Μάλλον Συμφωνώ	Μάλλον διαφωνώ	Διαφωνώ	Δεν ξέρω
Ένα άυλο σώμα που μας περιβάλλει (είναι σαν να κολυμπάμε μέσα σε μια θάλασσα φωτός)					
Μια αέρια μάζα που μας περιβάλλει					
Ακτίνες οι οποίες αποτελούν φωτεινές δέσμες					
Κύματα					
Μικροσκοπικά σωματίδια					
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία					
Κάτι άλλο. Τι:..... .....					

β) Ποια από τις παραπάνω απόψεις θεωρείς ως καταλληλότερη για να περιγράψει το φως;

.....

11. Έχεις μάθει ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα, με τη μορφή *φωτεινών ακτίνων* (εικόνες α και β).



Εικόνα α



Εικόνα β

Πιστεύεις ότι αυτό συμβαίνει πάντα;

Ναι   Μάλλον ναι   Μάλλον όχι   Όχι   Δεν ξέρω

? **Εάν στην προηγούμενη ερώτηση διάλεξες το όχι προσπάθησε να περιγράψεις ένα φαινόμενο όπου δε συμβαίνει να διαδίδεται το φως ευθύγραμμα (εάν δεν μπορείς επέλεξε το «Δεν ξέρω»).**

.....  
.....  
.....  
.....

Δεν ξέρω

12. Υπάρχουν φαινόμενα που σχετίζονται με τη διάδοση του φωτός και ερμηνεύονται με την άποψη ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα, με τη μορφή φωτεινών ακτίνων.

**Γνωρίζεις κάποια άλλη άποψη, σχετικά με τη διάδοση του φωτός, που να σου επιτρέπει να ερμηνεύσεις εξίσου πειστικά τα ίδια αυτά φαινόμενα;**

Ναι

Όχι

**Εάν στην προηγούμενη ερώτηση επέλεξες το «Ναι» διατύπωσε την άλλη αυτή άποψη για τη διάδοση του φωτός. (εάν δεν μπορείς επέλεξε το «Δεν ξέρω»).**

.....  
.....  
.....  
.....

Δεν ξέρω

13. Η Οπτική είναι ένας τομέας της Φυσικής.

**α) Τι μελετάει η Οπτική κυρίως;**

*(Διάλεξε ένα από τα παρακάτω.)*

Τον ηλεκτρισμό

Το μαγνητισμό

Το φως

Τη θερμότητα

Τον ήχο

Δεν ξέρω

**β) Σε ποιους κλάδους διαιρείται η Οπτική;**

.....

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

**Πίνακας Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.0**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντική είναι η σελήνη για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.**

Πόσο σημαντική είναι η σελήνη για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	0	2
Ξέρω	40	44	84
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

**Πίνακας 11**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντικά είναι τα άστρα για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.**

Πόσο σημαντικά είναι τα άστρα για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	2	4
Ξέρω	40	40	80
Σύνολο	42	44	86
Missing: 2 (2,3%)			

**Πίνακας 12**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντικοί είναι οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί λαμπτήρες για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.**

Πόσο σημαντικοί είναι οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί λαμπτήρες για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	1	3
Ξέρω	40	42	82
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 13

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν διαδίδεται το φως στο κενό.

Διαδίδεται το φως στο κενό	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	1	2
Ξέρω	39	42	81
Σύνολο	40	43	83
Missing: 3 (3,5%)			

Πίνακας 14

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με κύματα.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με κύματα	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	1	2
Ξέρω	40	43	83
Σύνολο	41	44	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 15

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	6	2	8
Ξέρω	36	42	78
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 16

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με ρεύματα κάποιων σωμάτων.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με ρεύματα κάποιων σωμάτων	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	5	4	9
Ξέρω	37	39	76
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 17

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	35	40	75
Ξέρω	7	4	11
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 18

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν θα μπορούσε ο άνθρωπος να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου.

Θα μπορούσε ο άνθρωπος να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	0	1
Ξέρω	41	43	84
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			



Πίνακας 19

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι κάποιο άλλο λόγο για τον οποίο τα φυτά χρειάζονται το φως.

Κάποιος άλλος λόγος για τον οποίο τα φυτά χρειάζονται το φως	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	33	32	65
Ξέρω	9	11	20
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 20

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν το φως δε χρειάζεται στα φυτά.

Το φως δε χρειάζεται στα φυτά	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	2	3
Ξέρω	40	39	79
Σύνολο	41	41	82
Missing: 4 (4,7%)			

Πίνακας 21

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα που μας περιβάλλει.

Με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα που μας περιβάλλει	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	3	4	7
Ξέρω	39	40	79
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 22

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα που μας περιβάλλει.

Με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα που μας περιβάλλει	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	3	5
Ξέρω	39	41	80
Σύνολο	41	44	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 23

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες.

Με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	0	1
Ξέρω	41	43	84
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 24

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε κύματα.

Με την έννοια φως εννοούμε κύματα	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	8	3	11
Ξέρω	33	40	73
Σύνολο	41	43	84
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 25

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια.

Με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	1	2
Ξέρω	40	43	83
Σύνολο	41	44	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 26

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	4	8	12
Ξέρω	37	35	72
Σύνολο	41	43	84
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 27

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο.

Με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	40	43	83
Ξέρω	2	1	73
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 28

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα.

Το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	5	1	6
Ξέρω	36	41	77
Σύνολο	41	42	83
Missing: 3 (3,5%)			

Πίνακας 29

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι τι μελετάει η Οπτική κυρίως.

Τι μελετάει η Οπτική κυρίως	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	6	6	12
Ξέρω	35	36	71
Σύνολο	41	42	83
Missing: 3 (3,5%)			

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ**

Πίνακας 30

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου στη γη

Βαθμός σημαντικότητας του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	0	0	0
Λίγο σημαντικό	0	0	0
Αρκετά σημαντικό	4	2	6
Πολύ σημαντικό	38	42	80
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 31

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας της σελήνης για τη ζωή του ανθρώπου στη γη

Βαθμός σημαντικότητας της σελήνης για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	0	1	1
Λίγο σημαντικό	7	9	16
Αρκετά σημαντικό	21	30	51
Πολύ σημαντικό	12	4	16
Σύνολο	40	44	84
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 32

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας των άστρων για τη ζωή του ανθρώπου στη γη

Βαθμός σημαντικότητας των άστρων για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	3	8	11
Λίγο σημαντικό	22	22	44
Αρκετά σημαντικό	13	8	21
Πολύ σημαντικό	2	2	4
Σύνολο	40	40	80
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 33

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας των ηλεκτρικών λαμπτήρων για τη ζωή του ανθρώπου στη γη

Βαθμός σημαντικότητας των ηλεκτρικών λαμπτήρων για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	2	2	4
Λίγο σημαντικό	3	3	6
Αρκετά σημαντικό	19	16	35
Πολύ σημαντικό	16	21	37
Σύνολο	40	42	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 34

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται στο κενό.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται στο κενό	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Όχι	8	8	16
Μάλλον όχι	6	8	14
Μάλλον ναι	9	7	16
Ναι	16	19	35
Σύνολο	39	42	81
Missing: 3 (3,5%)			

Πίνακας 35

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με ευθύγραμμες ακτίνες.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με ευθύγραμμες ακτίνες	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	2	0	2
Μάλλον συμφωνώ	5	5	10
Συμφωνώ	35	38	73
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			

**Πίνακας 36**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με κύματα.**

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με κύματα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	13	22	35
Μάλλον διαφωνώ	6	14	20
Μάλλον συμφωνώ	13	6	19
Συμφωνώ	8	1	9
Σύνολο	40	43	83
Missing: 1 (1,2%)			

**Πίνακας 37**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος.**

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος	ΟΜΑΔΕΣ		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	18	17	35
Μάλλον διαφωνώ	5	15	20
Μάλλον συμφωνώ	6	6	12
Συμφωνώ	9	3	12
Σύνολο	38	41	79
Missing: 2 (2,3%)			



Πίνακας 38

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με ρεύματα κάποιων σωμάτων.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με ρεύματα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	17	20	37
Μάλλον διαφωνώ	5	11	16
Μάλλον συμφωνώ	10	4	14
Συμφωνώ	5	4	9
Σύνολο	37	39	76
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 39

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	0	2	2
Συμφωνώ	7	2	9
Σύνολο	7	4	11
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 40

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Όχι	35	42	77
Μάλλον όχι	2	1	3
Μάλλον ναι	1	0	1
Ναι	3	0	3
Σύνολο	41	43	84
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 41

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί είναι ένα είδος τροφής γι' αυτά.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί είναι τροφή γι' αυτά	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	10	12	22
Μάλλον διαφωνώ	4	1	5
Μάλλον συμφωνώ	7	8	15
Συμφωνώ	21	23	44
Σύνολο	42	44	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 42

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια απαραίτητη για να πάρουν την τροφή τους από το χώμα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να πάρουν την τροφή τους	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	3	7	10
Μάλλον διαφωνώ	3	5	8
Μάλλον συμφωνώ	17	13	30
Συμφωνώ	19	18	37
Σύνολο	42	43	85
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 43

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να φτιάξουν την τροφή τους.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να φτιάξουν την τροφή τους	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	1	3	4
Μάλλον διαφωνώ	3	2	5
Μάλλον συμφωνώ	4	14	18
Συμφωνώ	34	24	58
Σύνολο	42	43	85
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 44

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως για κάποιο άλλο λόγο.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως για κάποιο άλλο λόγο	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	1	1	2
Συμφωνώ	8	10	18
Σύνολο	9	11	20
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 45

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά δε χρειάζονται το φως.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά δε χρειάζονται το φως	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	40	39	79
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	0	0	0
Συμφωνώ	0	0	0
Σύνολο	40	39	79
Missing: 4 (4,7%)			

Πίνακας 46

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	11	17	28
Μάλλον διαφωνώ	11	5	16
Μάλλον συμφωνώ	8	8	16
Συμφωνώ	9	10	19
Σύνολο	39	40	79
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 47

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	13	14	27
Μάλλον διαφωνώ	8	8	16
Μάλλον συμφωνώ	6	13	19
Συμφωνώ	12	6	18
Σύνολο	39	41	80
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 48

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	3	1	4
Μάλλον διαφωνώ	1	3	4
Μάλλον συμφωνώ	10	5	15
Συμφωνώ	27	34	61
Σύνολο	41	43	84
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 49

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κύματα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κύματα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	13	25	38
Μάλλον διαφωνώ	9	8	17
Μάλλον συμφωνώ	5	6	11
Συμφωνώ	6	1	7
Σύνολο	33	40	73
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 50

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	23	27	50
Μάλλον διαφωνώ	6	8	14
Μάλλον συμφωνώ	4	5	9
Συμφωνώ	7	3	10
Σύνολο	40	43	83
Missing: 1 (1,2%)			

Πίνακας 51

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	20	22	42
Μάλλον διαφωνώ	5	5	10
Μάλλον συμφωνώ	5	5	10
Συμφωνώ	7	3	10
Σύνολο	37	35	72
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 52

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	0	0	0
Συμφωνώ	2	1	3
Σύνολο	2	1	3
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 53

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	13	12	25
Μάλλον διαφωνώ	1	5	6
Μάλλον συμφωνώ	6	7	13
Συμφωνώ	16	17	33
Σύνολο	36	41	77
Missing: 3 (3,5%)			

Πίνακας 54

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν γνωρίζουν κάποια άλλη άποψη σχετικά με τη διάδοση του φωτός που να ερμηνεύει πειστικά τα σχετικά φαινόμενα.

Άλλη άποψη σχετικά με τη διάδοση του φωτός	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Όχι	30	31	61
Ναι	11	12	23
Σύνολο	41	43	84
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 55

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν γνωρίζουν τι μελετάει η Οπτική κυρίως.

Τι μελετάει η Οπτική κυρίως	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Το φως	31	33	64
Κάτι άλλο	4	3	7
Σύνολο	35	36	71
Missing: 15 (17,4%)			

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV**



Πίνακας 56

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντικός είναι ο ήλιος για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Πόσο σημαντικός είναι ο ήλιος για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	0	1	1
Ξέρω	42	44	86
Σύνολο	42	44	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 57

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντική είναι η σελήνη για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Πόσο σημαντική είναι η σελήνη για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	1	3
Ξέρω	40	43	83
Σύνολο	42	44	86
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 58

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντικά είναι τα άστρα για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Πόσο σημαντικά είναι τα άστρα για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	3	4	7
Ξέρω	38	40	78
Σύνολο	41	44	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 59

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι πόσο σημαντικοί είναι οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί λαμπτήρες για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Πόσο σημαντικοί είναι οι κάθε μορφής ηλεκτρικοί λαμπτήρες για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	2	4
Ξέρω	40	43	83
Σύνολο	42	45	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 60

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν διαδίδεται το φως στο κενό.

Διαδίδεται το φως στο κενό	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	0	1
Ξέρω	39	44	83
Σύνολο	40	44	84
Missing: 3 (3,4%)			

Πίνακας 61

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με κύματα.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με κύματα	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	0	2
Ξέρω	40	45	85
Σύνολο	42	45	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 62

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	3	3	6
Ξέρω	38	41	79
Σύνολο	41	44	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 63

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με ρεύματα κάποιων σωμάτων.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με ρεύματα κάποιων σωμάτων	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	2	4
Ξέρω	40	43	83
Σύνολο	42	45	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 64

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο.

Η διάδοση του φωτός από τον ήλιο στη γη περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	37	38	75
Ξέρω	5	5	10
Σύνολο	42	43	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 65

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί είναι τροφή γι' αυτά.

Τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί είναι τροφή γι' αυτά	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	0	1
Ξέρω	41	45	86
Σύνολο	42	45	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 66

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να πάρουν την τροφή τους από το χώμα.

Τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να πάρουν την τροφή τους	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	1	2
Ξέρω	41	44	85
Σύνολο	42	45	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 67

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να φτιάξουν την τροφή τους (γλυκόζη).

Τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να φτιάξουν την τροφή τους	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	0	1
Ξέρω	41	44	85
Σύνολο	42	44	86
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 68

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι κάποιο άλλο λόγο για τον οποίο τα φυτά χρειάζονται το φως.

Κάποιος άλλος λόγος για τον οποίο τα φυτά χρειάζονται το φως	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	32	32	64
Ξέρω	10	8	18
Σύνολο	42	40	82
Missing: 5 (5,7%)			

Πίνακας 69

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν το φως δε χρειάζεται στα φυτά.

Το φως δε χρειάζεται στα φυτά	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	2	4
Ξέρω	40	42	82
Σύνολο	42	44	86
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 70

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα που μας περιβάλλει.

Με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα που μας περιβάλλει	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	4	1	5
Ξέρω	37	44	81
Σύνολο	41	45	86
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 71

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα που μας περιβάλλει.

Με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα που μας περιβάλλει	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	1	3
Ξέρω	38	44	82
Σύνολο	40	45	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 72

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες.

Με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	4	1	5
Ξέρω	37	41	78
Σύνολο	41	42	83
Missing: 4 (4,6%)			

Πίνακας 73

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε κύματα.

Με την έννοια φως εννοούμε κύματα	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	2	1	3
Ξέρω	38	43	81
Σύνολο	40	44	84
Missing: 3 (3,4%)			

Πίνακας 74

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια.

Με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	8	2	10
Ξέρω	33	43	76
Σύνολο	41	45	86
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 75

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	5	4	9
Ξέρω	35	41	76
Σύνολο	40	45	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 76

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο.

Με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	40	42	82
Ξέρω	2	1	3
Σύνολο	42	43	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 77

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι εάν το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα.

Το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	1	2	3
Ξέρω	38	42	80
Σύνολο	39	44	83
Missing: 4 (4,6%)			

Πίνακας 78

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν ξέρουν ή όχι τι μελετάει η Οπτική κυρίως.

Τι μελετάει η Οπτική κυρίως	Ομάδα μαθητών		Σύνολο
	Πειραματική	Ελέγχου	
Δεν ξέρω	3	4	7
Ξέρω	36	40	76
Σύνολο	39	44	83
Missing: 4 (4,6%)			



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V**

Πίνακας 79

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Βαθμός σημαντικότητας του ήλιου για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	0	0	0
Λίγο σημαντικό	0	0	0
Αρκετά σημαντικό	4	1	5
Πολύ σημαντικό	38	43	81
Σύνολο	42	44	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 80

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας της σελήνης για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Βαθμός σημαντικότητας της σελήνης για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	0	1	1
Λίγο σημαντικό	9	11	20
Αρκετά σημαντικό	18	24	42
Πολύ σημαντικό	13	7	20
Σύνολο	40	43	83
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 81

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας των άστρων για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Βαθμός σημαντικότητας των άστρων για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	5	5	10
Λίγο σημαντικό	16	28	44
Αρκετά σημαντικό	16	6	22
Πολύ σημαντικό	1	1	2
Σύνολο	38	40	78
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 82

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό σημαντικότητας των ηλεκτρικών λαμπτήρων για τη ζωή του ανθρώπου στη γη.

Βαθμός σημαντικότητας των ηλεκτρικών λαμπτήρων για τη ζωή του ανθρώπου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Καθόλου σημαντικό	1	1	2
Λίγο σημαντικό	5	4	9
Αρκετά σημαντικό	17	12	29
Πολύ σημαντικό	17	26	43
Σύνολο	40	43	83
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 83

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται στο κενό.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται στο κενό	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Όχι	8	12	20
Μάλλον όχι	3	3	6
Μάλλον ναι	9	11	20
Ναι	19	18	37
Σύνολο	39	44	83
Missing: 3 (3,4%)			

Πίνακας 84

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με ευθύγραμμες ακτίνες.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με ευθύγραμμες ακτίνες	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	3	3
Μάλλον διαφωνώ	2	1	3
Μάλλον συμφωνώ	8	6	14
Συμφωνώ	32	34	66
Σύνολο	42	44	86
Missing: 1 (1,1%)			

**Πίνακας 85**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με κύματα.**

<b>Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με κύματα</b>	<b>Ομάδες</b>		<b>Σύνολο</b>
	<b>Πειραματική</b>	<b>Θεωρητική</b>	
Διαφωνώ	4	9	13
Μάλλον διαφωνώ	7	7	14
Μάλλον συμφωνώ	10	10	20
Συμφωνώ	19	19	38
Σύνολο	40	45	85
Missing: 0 (0%)			

**Πίνακας 86**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος.**

<b>Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με μεταφορά μέσω κάποιου σώματος</b>	<b>Ομάδες</b>		<b>Σύνολο</b>
	<b>Πειραματική</b>	<b>Θεωρητική</b>	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	2	0	2
Μάλλον συμφωνώ	5	5	10
Συμφωνώ	35	38	73
Σύνολο	42	43	85
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 87

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με ρεύματα κάποιων σωμάτων.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με ρεύματα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	18	16	34
Μάλλον διαφωνώ	8	11	19
Μάλλον συμφωνώ	8	12	20
Συμφωνώ	6	4	10
Σύνολο	40	43	83
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 88

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός από τον ήλιο μέχρι τη γη μας περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι η διάδοση του φωτός περιγράφεται με κάποιο άλλο τρόπο	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	4	1	5
Συμφωνώ	1	4	5
Σύνολο	5	5	10
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 89

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι ο άνθρωπος θα μπορούσε να ζήσει χωρίς τις προσφορές του ήλιου	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Όχι	38	44	82
Μάλλον όχι	2	0	2
Μάλλον ναι	1	0	1
Ναι	1	1	2
Σύνολο	42	45	87
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 90

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί είναι ένα είδος τροφής γι' αυτά.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί είναι τροφή γι' αυτά	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	8	9	17
Μάλλον διαφωνώ	2	2	4
Μάλλον συμφωνώ	6	6	12
Συμφωνώ	25	28	53
Σύνολο	41	45	86
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 91

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια απαραίτητη για να πάρουν την τροφή τους από το χώμα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να πάρουν την τροφή τους	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	2	8	10
Μάλλον διαφωνώ	6	4	10
Μάλλον συμφωνώ	5	11	16
Συμφωνώ	28	21	49
Σύνολο	41	44	85
Missing: 0 (0%)			

Πίνακας 92

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να φτιάξουν την τροφή τους.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως γιατί τους προσφέρει ενέργεια για να φτιάξουν την τροφή τους	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	1	0	1
Μάλλον διαφωνώ	2	3	5
Μάλλον συμφωνώ	4	10	14
Συμφωνώ	34	31	65
Σύνολο	41	44	85
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 93

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως για κάποιο άλλο λόγο.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά χρειάζονται το φως για κάποιο άλλο λόγο	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	1	1	2
Συμφωνώ	9	7	16
Σύνολο	10	8	18
Missing: 5 (5,7%)			

Πίνακας 94

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά δε χρειάζονται το φως.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι τα φυτά δε χρειάζονται το φως	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	40	42	82
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	0	0	0
Συμφωνώ	0	0	0
Σύνολο	40	42	82
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 95

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ένα άυλο σώμα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	9	13	22
Μάλλον διαφωνώ	7	11	18
Μάλλον συμφωνώ	7	8	15
Συμφωνώ	14	12	26
Σύνολο	37	44	81
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 96

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μια αέρια μάζα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	12	13	25
Μάλλον διαφωνώ	7	13	20
Μάλλον συμφωνώ	11	13	24
Συμφωνώ	8	5	13
Σύνολο	38	44	82
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 97

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ακτίνες	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	2	1	3
Μάλλον διαφωνώ	1	1	2
Μάλλον συμφωνώ	5	6	11
Συμφωνώ	29	33	62
Σύνολο	37	47	84
Missing: 4 (4,6%)			



Πίνακας 98

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κύματα.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κύματα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	7	10	17
Μάλλον διαφωνώ	6	5	11
Μάλλον συμφωνώ	12	12	24
Συμφωνώ	13	16	29
Σύνολο	38	48	86
Missing: 3 (3,4%)			

Πίνακας 99

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε μικροσκοπικά σωματίδια	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	17	13	30
Μάλλον διαφωνώ	6	13	19
Μάλλον συμφωνώ	7	5	12
Συμφωνώ	3	12	15
Σύνολο	33	43	76
Missing: 1 (1,1%)			

Πίνακας 100

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	15	22	37
Μάλλον διαφωνώ	5	11	16
Μάλλον συμφωνώ	5	3	8
Συμφωνώ	10	5	15
Σύνολο	35	41	76
Missing: 2 (2,3%)			

**Πίνακας 101**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο.**

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι με την έννοια φως εννοούμε κάτι άλλο	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον διαφωνώ	0	0	0
Μάλλον συμφωνώ	1	0	1
Συμφωνώ	1	1	2
Σύνολο	2	1	3
Missing: 2 (2,3%)			

**Πίνακας 102**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το βαθμό συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα.**

Βαθμός συμφωνίας με την άποψη ότι το φως διαδίδεται πάντα ευθύγραμμα	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Διαφωνώ	24	20	44
Μάλλον διαφωνώ	5	5	10
Μάλλον συμφωνώ	2	6	8
Συμφωνώ	7	11	18
Σύνολο	38	42	80
Missing: 4 (4,6%)			

**Πίνακας 103**

**Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν γνωρίζουν κάποια άλλη άποψη σχετικά με τη διάδοση του φωτός που να ερμηνεύει πειστικά τα σχετικά φαινόμενα.**

Άλλη άποψη σχετικά με τη διάδοση του φωτός	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Όχι	26	25	51
Ναι	14	20	34
Σύνολο	440	45	85
Missing: 2 (2,3%)			

Πίνακας 104

Κατανομή του δείγματος κατά ομάδα και ως προς το αν γνωρίζουν τι μελετάει η Οπτική κυρίως.

Τι μελετάει η Οπτική κυρίως	Ομάδες		Σύνολο
	Πειραματική	Θεωρητική	
Το φως	33	38	71
Κάτι άλλο	3	2	5
Σύνολο	36	40	76
Missing: 11 (12,6%)			

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Κ. – ΜΑΡΙΝΟΣ Δ., Γενική Φυσική – Οπτική (5<sup>ος</sup> τόμος), Αθήνα, εκδ. Ολύμπια, 1992
- ΑΛΙΜΗΣΗΣ Δ., «Έρευνα για τα χαρακτηριστικά της διδασκαλίας και μάθησης της Φυσικής στο ελληνικό σχολείο της δεκαετίας του '90», *Πρακτικά 1<sup>ου</sup> πανελληνίου συνεδρίου ελληνικής και εκπαιδευτικής έρευνας*, Αθήνα, εκδ. Ατραπός, 1998
- ANDERSON J. R., *Cognitive Psychology and Its Implications*, San Francisco, *Freeman*, 1980
- AUSUBEL D, *The Psychology of Meaningful, Verbal Learning*, New York, *Ghrune and Stration*, 1963
- AUSUBEL D, *Educational Psychology. A Cognitive View*, New York, *Reinhart*, 1968
- ΒΑΜΒΟΥΚΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ, Εισαγωγή στην ψυχοπαιδαγωγική έρευνα και μεθοδολογία, Αθήνα, εκδ. Γρηγόρη, 1998
- ΒΟΣΝΙΑΔΟΥ ΣΤΕΛΛΑ, Τι πιστεύουν τα παιδιά για τη γη, τον ήλιο και το φαινόμενο της μέρας / νύκτας, *στο Σύγχρονη εκπαίδευση*, 1989, 46, 41 – 50
- ΒΟΥΤΣΙΝΑ ΧΡ., ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡ., ΡΑΒΑΝΗΣ Κ., «Το φως ως αυτόνομη οντότητα και ο σχηματισμός των σκιών: εμπόδια – στόχοι στη σκέψη των παιδιών προσχολικής ηλικίας», *Πρακτικά 1<sup>ου</sup> πανελληνίου συνεδρίου διδακτικής των Φυσικών επιστημών και εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση*, Θεσσαλονίκη, εκδ. Χριστοδουλίδη, 1998
- CROOKES J. & GOLDBY G., *How we see things: An introduction to light*, *Science process curriculum group*, 1984, *The science curriculum review*, Leicestershire
- DRIVER R., GUESNE E., TIBERGHIE A., (μετ. Κρητικός Θ., Σπηλιωτοπούλου – Παπαντωνίου Β., Σταυρόπουλος Α.), *Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες*, Αθήνα, εκδ. Τροχαλία, 1993

- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P., WOOD – ROBINSON V., (μετ. Χατζή Μαρία), Οικοδομώντας τις έννοιες των φυσικών επιστημών, Αθήνα, εκδ. *Τυπωθήτω*, 2000
- FETHERSTONHAUGH T., Student's understanding of light and its properties, στο *Science Education*, 1992, 6 (τομ. 76), 653 – 672
- GARNHAM A., OAKHILL J., Thinking and reasoning, *Blackwell Publisher UK*, 1994, κεφ. 3 Language and Thought
- GILBERT K., WATTS M., OSBORNE J., Eliciting student views using an interview technique, στο *L. West & A. Pines (eds): Cognitive structure and conceptual change*, 1985, New York, Academic Press
- HECHT D. EUGENE, (μετ. ΣΠΥΡΙΔΕΛΗ Ι.), Οπτική, Αθήνα, εκδ. *ΕΣΠΙ*, 1975
- HEWITT G. PAUL, (μετ. ΣΗΦΑΚΗ Ε.), Οι έννοιες της Φυσικής (2<sup>ος</sup> τόμος), Ηράκλειο, εκδ. *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης*, 1994
- ΚΑΣΕΤΑΣ Ι. ΑΝΔΡΕΑΣ, Τα χρώματα, ο Νεύτωνας και οι ρομαντικοί, στο *Φυσικός κόσμος*, 1987α, 108, 4 – 10
- ΚΑΣΕΤΑΣ Ι. ΑΝΔΡΕΑΣ, Από τον Πτολεμαίο στις οπτικές ίνες. Ταξίδι μέσω Ολλανδίας, στο *Φυσικός κόσμος*, 1987β, 109, 12 – 16
- ΚΑΣΕΤΑΣ Ι. ΑΝΔΡΕΑΣ, Το μακρόν Φυσική προ του βραχέως διδάσκω, Αθήνα, εκδ. *Σαββάλας*, 1996
- ΚΑΣΣΩΤΑΚΗΣ Μ., Η αξιολόγηση της επιδόσεως των μαθητών, Αθήνα, εκδ. *Γρηγόρη*, 1981
- ΚΟΚΚΟΤΑΣ Β. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, Διδακτική των φυσικών επιστημών, Αθήνα, εκδ. *Γρηγόρη*, 1989
- ΚΟΚΚΟΤΑΣ Β. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, Αθήνα, 1998
- ΚΟΜΙΛΗ ΑΙΓΛΗ, Σύγχρονη Ψυχολογία, Αθήνα, εκδ. *Α. Λιβάνης*, 1981

- LAWSON E., The Reality of General Cognitive Operations, στο *Sci. Ed.*, 1982, 66, 229
- ΜΑΚΡΑΚΗΣ Β., Ανάλυση δεδομένων στην επιστημονική έρευνα με τη χρήση του SPSS, Αθήνα, εκδ. Gutenberg, 1997
- ΜΠΙΤΣΑΚΗΣ Ε., «Επιστημολογία και Φυσικές επιστήμες», Θεμέλια των επιστημών, Αθήνα, εκδ. Gutenberg, 1979α
- ΜΠΙΤΣΑΚΗΣ Ε., «Η φυσική φιλοσοφία του Αριστοτέλη», Θεμέλια των επιστημών, Αθήνα, εκδ. Gutenberg, 1979β
- NAVILLE P., (μετ. ΚΟΝΔΥΛΗ Τ.), Ψυχολογία της συμπεριφοράς, Αθήνα, εκδ. Κάλβος, 1942
- NEWBURGH RONALD, A ray is a wave of zero wavelength, στο *The physics teacher*, 1995, vol. 33, Number 1, 32 – 33
- NOVAK J., Learning science and the science of learning, *Studies in science education*, 1988, 15
- OSBORNE J., BLACK P., SMITH M., MEADOWS J., Light, στο *Space*, January 1990, Primary space project research report, Liverpool university press
- ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Β., ΣΟΛΟΜΩΝΤΙΔΟΥ ΧΡ., ΣΤΑΥΡΙΔΟΥ ΕΛ., Ένα σύγχρονο ερευνητικό πρόγραμμα εκπαίδευσης των δασκάλων στις φυσικές επιστήμες, στο *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 1992, 16, 97 – 125
- ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ Σ., Ιστορική αναδρομή στην πειραματική διδασκαλία της Φυσικής στο ελληνικό σχολείο, στο *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 1993, 73, 66 – 70
- PIAGET J., (μετ. ΨΕΛΛΟΣ Φ.), Προβλήματα γενετικής Ψυχολογίας (Τα στάδια της διανοητικής ανάπτυξης στο παιδί και στον έφηβο. Le probleme des stades en psychologie de l' enfant. Symposium de l' Association psychologique scientifique de langue française, Παρίσι, P.U.F., 1956), Αθήνα, εκδ. Υποδομή, 1979

- PIAGET J., (μετ. ΨΕΛΛΟΣ Φ.), Προβλήματα γενετικής Ψυχολογίας (Αντίληψη, εκμάθηση και εμπειρισμός, *Dialectica*, No 13, Neuchatel, Editions de Griffon, 1959), Αθήνα, εκδ. Υποδομή, 1979
- ΡΑΒΑΝΗΣ Κ., Το φως ως οντότητα στο χώρο. Αυθόρμητες νοητικές παραστάσεις παιδιών ηλικίας δέκα ετών, στο *Σύγχρονη εκπαίδευση*, 1994, 74, 71 – 78
- ΡΑΒΑΝΗΣ Κ., Οι φυσικές επιστήμες στην προσχολική εκπαίδευση, Αθήνα, εκδ. Τυπωθήτω, 1999
- RAMADAS J., DRIVER R., Aspects of secondary students' ideas about light, Children's learning in science project, *Center for studies in science and mathematics education*, University of Leeds
- ΣΑΒΒΑ Σ. & ΚΑΛΚΑΝΗ Γ., «Κρίση στο μάθημα της Φυσικής; Η εξέλιξη του ενδιαφέροντος των μαθητών και η αποτελεσματικότητα του μαθήματος. Ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και πρώτη ερευνητική προσέγγιση στην ελληνική πραγματικότητα», *Πρακτικά 1<sup>ου</sup> πανελληνίου συνεδρίου διδακτικής των Φυσικών επιστημών και εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση*, Θεσσαλονίκη, εκδ. Χριστοδουλίδη, 1998
- SEGRE E., (μετ. Μεργιά Κωνσταντίνα), Από την πτώση των σωμάτων έως τα ραδιοκύματα (Α' τόμος), Αθήνα, εκδ. Διάυλος, 1997
- ΣΚΟΥΝΤΖΟΥ Π., Η εξέλιξη των θεωριών για το φως, στο *Φυσικός κόσμος*, 1987, 108, 11 – 15
- SMITH D., Primary teacher's misconceptions about light and shadows, in *Helm & Novack (eds.), Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*, 1987, Ithaca, NY: Department of Education, Cornell University
- THE OPEN UNIVERSITY, Ενέργεια. Φως κύματα ή σωματίδια, Αθήνα, εκδ. Κουτσούμπος, 1986
- TOBIN K. & GARRETT P., Exemplary practice in science classrooms, στο *Science Education*, 1988, 73 (2), 197 – 208

- ΤΡΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Ανάλυση και θεραπεία της πλάνης στα μαθηματικά, στο *Νέα Παιδεία*, 1996, 77, 92 – 107
- VIENNOT L., Spontaneous reasoning in elementary dynamics, στο *Eur. J. of Science Education*, 1979, Vol. 1, No 2
- ΦΩΤΕΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΓΓΕΛΗΣ, Φυσική 2 (Ταλαντώσεις – Κυματική – Ακουστική), Αθήνα, εκδ. Βλάσση, 1978
- ΧΑΛΚΙΑ – ΘΕΟΔΩΡΙΔΗ Κ., Τι είδους επιστημονικές δραστηριότητες και τι είδους «εργαστήριο» φυσικών επιστημών χρειάζονται τα παιδιά του Δημοτικού σχολείου, στο *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 1993, 18, 31 – 38
- ΧΑΛΚΙΑ ΚΡ., Το πείραμα στην καθημερινή σχολική πρακτική, στο *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 1999, 107, 81 – 90
- YOUNG HUGH, (μετ. ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΩΝ), Φυσική – Ηλεκτρομαγνητισμός /Οπτική /Σύγχρονη Φυσική (Β΄ τόμος), Αθήνα, εκδ. Παπαζήση, 1994, σελ. 612, 944 – 947, 1036 – 1038, 1045 – 1061, 1101 – 1108, 1132 – 1135
- ΨΥΛΛΟΣ Δ., ΚΟΥΜΑΡΑΣ Π., ΚΑΡΙΟΤΟΓΛΟΥ Π., Εποικοδόμηση της γνώσης στην τάξη με συνέρευνα δασκάλου και μαθητή, στο *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 1993, 70, 34 – 42