



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ**

**Τίτλος Εργασίας: Οι εφαρμογές της οπτικής στο περιβάλλον και  
στις σύγχρονες ενεργειακές τεχνολογίες.**

**Φοιτήτρια: Λώλη Περίντας      Α.Μ. 12**

**Επίβλεψη: Δρ. Εύα Μαλεβίτη**

**ΑΙΓΙΟ 2012**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί πόνημα της φοιτήτριας Λώλη Περσίντας φοιτήτριας του Τμήματος Οπτικής και Οπτικομετρίας, Παράρτημα Αιγίου του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας. Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής σημαίνει και την ολοκλήρωση των σπουδών της φοιτούσας. Το θέμα της εργασίας αποτελεί μια διαφορετική προσέγγιση του κλάδου τη Οπτικής το οποίο προσπαθεί να παραθέσει τη σημαντικότητα του κλάδου και σε άλλους σύγχρονους τομείς όπως αυτός των ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιστημών. Το θέμα επιλέχθηκε από την επιβλέπουσα Δρ. Εύας Μαλεβίτη και ολοκληρώθηκε κατόπιν τακτικής επικοινωνίας και συνεργασίας της ίδιας και της σπουδάστριας. Το θέμα αυτό είχε σαν σκοπό την διεύρυνση της γνώσης της σπουδάστριας στο τομέα της οπτικής με μια τελείως διαφορετική προσέγγιση από αυτή που διδάχθηκε τα χρόνια φοίτησης της στο Εκπαιδευτικό ίδρυμα, βασιζόμενη όμως πάντα στις πολύ σημαντικές γνώσεις που έλαβε κατά τα χρόνια της φοίτησής της προκειμένου να ολοκληρώσει την εργασία αυτή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στη συνολική επισκόπηση της εργασίας, στο σκοπό της πραγματοποίησής της, καθώς και στην μεθοδολογία έρευνας που χρησιμοποιείται. Ο σκοπός της εργασίας είναι η εξέταση της χρήσης και εφαρμογών της οπτικής πέραν της μέχρι τώρα καθιερωμένης γνώσης που αποκτήθηκε από τα χρόνια σπουδών στο τμήμα. Το δεύτερο κεφάλαιο εξηγεί μια άλλη όψη των εφαρμογών της οπτικής σε τομείς όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιστήμες. Γίνεται με μια λεπτομερή περιγραφή των φαινομένων της ατμοσφαιρικής οπτικής καθώς επίσης δίνεται και μια αναλυτική περιγραφή του ρόλου που παίζει η οπτική στα φαινόμενα αυτά. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμογή της οπτικής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα στην ηλιακή ενέργεια καθώς υπάρχει άμεση εφαρμογή της οπτικής σε αυτή τη μορφή ενέργειας κάτι που αναλύεται εκτενέστερα με τη θεωρία και τις εφαρμογές των φακών Fresnel. Τέλος το τέταρτο κεφάλαιο δείχνει κάποιες εφαρμογές της οπτικής μέσω των φαινομένων και θεωριών που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, δείχνοντας τη σημαντικότητα της οπτικής σε νέες τεχνολογίες περιβάλλοντος και ενέργειας.

## Εικόνες

Εικόνα 1: Απεικόνιση δεδομένων.....	11
Εικόνα 2: Μορφή Οπτικής ίνας .....	14
Εικόνα 3: Διάθλαση στην ατμόσφαιρα.....	18
Εικόνα 4: Φαινόμενο Αντικατοπτρισμού .....	19
Εικόνα 5: Το φαινόμενο Φατα Μοργκάνα .....	20
Εικόνα 6: Ουράνιο Τόξο.....	21
Εικόνα 7: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης σε θερμοσίφωνα.....	27
Εικόνα 8: Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	28
Εικόνα 9: Συμβατικός φακός και φακός Fresnel .....	32
Εικόνα 10: Σχηματική διάταξη Γραμμικών Φακών Fresnel.....	34
Εικόνα 11: Σχεδιασμός των αυλακιών σε σχέση με έναν συμβατικό φακό .....	35
Εικόνα 12: Φακός Fresnel και εναλλακτικοί τύποι φωτοβολταϊκού (PV) και υβριδικού φωτοβολταϊκού (PVT) τύπου. ....	42

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγικά Στοιχεία.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Σκοπός εργασίας.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Μεθοδολογία Έρευνας.....</b>	<b>7</b>
<b>Κεφάλαιο 2ο: Οι χρήσεις της οπτικής και η εξέλιξή της ..Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
<b>2.1 Τι είναι η οπτική; .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Οι τομείς της Οπτικής .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Οπτική και Οπτικές τεχνολογίες.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Πληροφορική και Οπτική .....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Ιατρική και Οπτική.....</b>	<b>12</b>
<b>2.6 Οπτικές ίνες .....</b>	<b>13</b>
<b>2.7 Αισθητήρες οπτικών ινών.....</b>	<b>15</b>
<b>2.8 Συμπεράσματα.....</b>	<b>16</b>
<b>Κεφάλαιο 3ο: Οπτική και Περιβάλλον .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Ατμοσφαιρική Οπτική.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Οπτική και Ηλιακή Ενέργεια.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Συμπεράσματα .....</b>	<b>39</b>
<b>Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογές και Συμπεράσματα .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Εφαρμογή των φακών Fresnel στα Φ/Β συστήματα.....</b>	<b>40</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>48</b>

## **Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγικά Στοιχεία**

### **1.1 Εισαγωγή**

Η οπτική είναι ένας κλάδος ευρέως γνωστός, με διάφορες χρήσεις και εφαρμογές. Μέχρι σήμερα η οπτική χρησιμοποιείται στην βιομηχανία, στην ανάπτυξη οπτικών τεχνολογιών, στις τηλεπικοινωνίες, και φυσικά στον κλάδο της ιατρικής μέσω της οπτομετρίας. Πρόσφατα, η χρήση της οπτικής εμφανίζεται σαν ένα πρωτεύον κομμάτι στην ανάπτυξη και βελτίωση των τεχνολογιών που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η σημαντικότητα της οπτικής και η μελέτη της στις τεχνολογίες αυτές, παρουσιάζεται αρχικά σε αυτή την εργασία μέσω της ανάλυσης του κλάδου της οπτικής και της μέχρι τώρα εξέλιξης της σε σχέση αρχικά με την όραση του ανθρώπου, και εν συνεχεία σε διάφορους κλάδους που παρουσιάζονται ακολούθως στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Η διαφορετική προσέγγιση του κλάδου της οπτικής στις σύγχρονες εφαρμογές ενέργειας και περιβάλλοντος φαίνεται στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, όπου γίνεται εκτενής ανασκόπηση της ατμοσφαιρικής οπτικής, της περιβαλλοντικής οπτικής και της οπτικής σαν κύριο εργαλείο στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα στη χρήση της στις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και στη χρήση της οπτικής, μέσω των οπτικών ινών στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων

### **1.2 Σκοπός εργασίας**

Σκοπός της εργασίας είναι η εξέταση της χρήσης και εφαρμογών της οπτικής πέραν της μέχρι τώρα καθιερωμένης γνώσης που αποκτήθηκε από τα χρόνια σπουδών στο τμήμα. Η εργασία αυτή δείχνει μια περαιτέρω άποψη των εφαρμογών της οπτικής σε έναν τομέα πολύ καινοτόμο και σύγχρονο, όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιστήμες. Σκοπός της πτυχιακή εργασίας είναι η εμβάθυνση σε ένα επίκαιρο θέμα εφαρμοσμένης έρευνας ή σε γνωστικό αντικείμενο που έχει άμεση ή έμμεση σχέση με τις μέχρι τώρα σπουδές. Γι αυτό και η εργασία αυτή αναλύει την μέχρι τώρα εξέλιξη της οπτικής καθώς και τις τεχνολογίες που ευνόησε, καθώς επίσης και την σχέση της οπτικής με το περιβάλλον και τις αντίστοιχες τεχνολογίες. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνεται η διεύρυνση των γνώσεων της οπτικής σε έναν τομέα διαφορετικό από ότι έχει μελετηθεί έως τώρα. Επίσης, η εργασία αυτή έχει ως στόχο να δείξει την σημαντικότητα της οπτικής όχι μόνο στον τομέα της υγείας, που έχουμε μάθει ως τώρα αλλά και την αξία της, σε έναν ακόμα

τομέα, όπως αυτός που εξετάζεται στη παρούσα εργασία. Η μεθοδολογία έρευνας που κρίθηκε πιο κατάλληλη σε αυτή την εργασία είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση, με κριτική ανάλυση και έκθεση συμπερασμάτων, βασισμένα σε κατάλληλες εφαρμογές.

### **1.3 Μεθοδολογία Έρευνας**

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε αυτήν την εργασία αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Είναι μια (κριτική) «έκθεση» σχετικά με επιστημονικές δημοσιεύσεις που ασχολούνται με ένα θέμα. Ουσιαστικά παρουσιάζει ο συγγραφέας τι έχει γραφεί γύρω από το επιλεγέν θέμα, δηλαδή, τις ιδέες, θεωρίες ή απόψεις, τα σχετικά επιχειρήματα κλπ. Μπορεί να είναι απλά μια απλή περιγραφή με τη χρήση των συνοψίσεων (summaries) που συνοδεύουν τις δημοσιεύσεις ή μια πιο συστηματική και κριτική συζήτηση της υπάρχουσας γνώσης γύρω από ένα θέμα. Συνήθως, οι βιβλιογραφικές επισκοπήσεις αποτελούν μέρος της εισαγωγής σε ένα δοκίμιο, σε μια έκθεση έρευνας, σε μια διδακτορική ή ακόμη και καλή πτυχιακή εργασία. Μπορεί όμως να αποτελούν και αυτοτελή εργασία. Δίνουν την ευκαιρία στον ερευνητή να αναζητήσει πληροφορίες και να αποκτήσει μια εικόνα της επιστημονικής συζήτησης γύρω από ένα θέμα. Δεν χρειάζεται να περιλάβει ότι έχει δημοσιευθεί γύρω από το θέμα. Ο συγγραφέας επιλέγει άρθρα με βάση τη σημασία που έχουν για το θέμα του (ή τα ειδικότερα ερωτήματα που τον απασχολούν). Μια απλή μορφή βιβλιογραφικής επισκόπησης είναι η επισκόπηση περιορισμένου αριθμού δημοσιευμάτων -άρθρων ή βιβλίων (Καζάκος, 2009). Συνεπώς και η εργασία αυτή ακολουθεί την μεθοδολογία αυτή, με σκοπό να εξετασθούν περαιτέρω οι εφαρμογές της οπτικής. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση της εργασίας περιλαμβάνει ελληνικά και ξενόγλωσσα δοκίμια, επιστημονικές δημοσιεύσεις και βιβλία, καθώς και αναφορές και εκθέσεις από επιστημονικούς οργανισμούς. Περιλαμβάνει επίσης αξιόπιστες πηγές από το διαδίκτυο και οι ακριβείς τους πληροφορίες δίνονται στην βιβλιογραφική λίστα που είναι στο τέλος της εργασίας.

## **Κεφάλαιο 2ο: Οι χρήσεις της οπτικής και η εξέλιξή της**

### **2.1 Τι είναι η οπτική;**

Η οπτική είναι ο κλάδος που μελετά τη διάδοση του φωτός και τα διάφορα φαινόμενα που διέπονται από αυτό, καθώς και την αλληλεπίδραση του με την ύλη. Η οπτική εξηγεί μια μεγάλη ποικιλία φαινομένων, όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και πόλωση του φωτός καθώς και την εφαρμογή της μέσω των φακών στην ανθρώπινη όραση. Επίσης, η οπτική έχει άμεση εφαρμογή στην τεχνολογία όπως για παράδειγμα στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και στη χρήση οπτικών ινών, στις οπτικές τεχνολογίες, τα λέιζερ, την πληροφορική και άλλες. Φαίνεται λοιπόν ότι η οπτική έχει επεκταθεί σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικού και τεχνολογικού ενδιαφέροντος καθώς καλύπτει διάφορους τομείς και συνεχώς εξελίσσεται. Ένας αρκετά νέος χώρος που βρίσκει σημαντική εφαρμογή η οπτική είναι οι νέες τεχνολογίες περιβάλλοντος και ενέργειας. Είναι επίσης πολύ σημαντικό να αναφερθεί ο αρκετά νέος κλάδος της περιβαλλοντικής οπτικής που ασχολείται με τη μελέτη περιβαλλοντικών φαινομένων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς και ο κλάδος της ατμοσφαιρικής οπτικής που ασχολείται με την μελέτη οπτικών φαινομένων όπως η σκέδαση, διάθλαση, απορρόφηση του φωτός που συμβαίνουν στην γήινη ατμόσφαιρα.

### **2.2 Οι τομείς της Οπτικής**

Οπτική ονομάζεται ο κλάδος της Φυσικής που μελετά τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες του φωτός, ενώ επιπλέον περιγράφει και τα φαινόμενα που διέπουν την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη. Η οπτική συνήθως περιγράφει την συμπεριφορά του ορατού, το υπέρυθρου και του υπεριώδους φωτός. Παρόλα αυτά, επειδή το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ανάλογα φαινόμενα εμφανίζουν οι ακτίνες Χ, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, όπως και άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Για αυτό η οπτική μπορεί να θεωρηθεί και ως ένα υποπεδίο του ηλεκτρομαγνητισμού ενώ η πλειονότητα των οπτικών φαινομένων μπορούν να περιγραφούν από τις εξισώσεις του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό. Επειδή όμως η ορατή αντίληψη του χώρου και της ύλης γίνεται με φακούς που βρίσκονται στα όργανα της όρασης, τους οφθαλμούς, κύριο αντικείμενο μελέτης της οπτικής είναι επίσης και τα οπτικά μέσα (κάτοπτρο, φακός, οπτική ίνα κλπ) και όργανα (κάμερα, μικροσκόπιο, τηλεσκόπιο, περισκόπιο κλπ) (Ζευγώλης, 2002).



Ανάλογα με το μοντέλο που υιοθετείται για τη φύση του φωτός, μπορούμε να διαχωρίζουμε τον κλάδο της Οπτικής στους παρακάτω τομείς:

Η Γεωμετρική Οπτική ασχολείται κυρίως με την περιγραφή των περισσότερων φαινομένων που έχουν σχέση με το φως και με τις ποσοτικές σχέσεις αυτών χωρίς να υπεισέρχεται στην ερμηνεία της φύσεως αυτών των φαινομένων. Δηλαδή θεωρεί το φως ως ένα σύνολο από φωτεινές ακτίνες που διαδίδονται σύμφωνα με την αρχή του ελαχίστου χρόνου, όπως την διατύπωσε το 1650 ο Γάλλος μαθηματικός Πιέρ ντε Φερμά. Σύμφωνα με αυτή την αρχή όταν το φως διαδίδεται από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο, ακολουθεί τη διαδρομή για την οποία απαιτείται ο ελάχιστος χρόνος. Συνέπεια της παραπάνω αρχής αποτελεί η διαπίστωση ότι μέσα σε κάθε ομοιογενές υλικό το φως ακολουθεί ευθύγραμμη πορεία διάδοσης που όμως είχε διατυπώσει πρώτος στην αρχαιότητα ο Ήρων. Φαινόμενα που ερμηνεύονται στα πλαίσια της Γεωμετρικής Οπτικής είναι η ανάκλαση και η διάθλαση του φωτός.

Η Κυματική Οπτική αντίθετα ασχολείται με την φύση των φαινομένων που έχουν σχέση με το φως διαπραγματεύοντάς το ως ένα κύμα. Αποδίδει δηλαδή στο φως χαρακτηριστικά ενός κύματος, όπως είναι η συχνότητα και το μήκος κύματος. Φαινόμενα που ερμηνεύονται στα πλαίσια της Κυματικής Οπτικής είναι η συμβολή, η πόλωση και η περίθλαση του φωτός. Ως κύμα διαπραγματεύεται το φως και ο ηλεκτρομαγνητισμός, θεωρώντας το ως ένα είδος ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Κάτω από αυτό το πρίσμα, πολλές φορές η Οπτική αντιμετωπίζεται ως υπό-πεδίο του Ηλεκτρομαγνητισμού.

Η Κβαντική Οπτική αποτελεί την εφαρμογή της Κβαντομηχανικής θεωρίας ειδικότερα στα φαινόμενα που σχετίζονται με το φως και την αλληλεπίδρασή του με την ύλη. Στα πλαίσια της Κβαντικής Οπτικής το φως αποτελείται από σωματίδια, γνωστά και ως κβάντα φωτός ή φωτόνια. Στα πλαίσια της κβαντικής οπτικής ερμηνεύεται και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η εκπομπή δηλαδή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια μετάλλων όταν σε αυτά προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, και τέλος, η Φυσιολογική οπτική που ασχολείται κυρίως με τη λειτουργία του οφθαλμού και τις κυριότερες βλάβες του.

Τέλος τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί σημαντικά και ένας νέος τομέας, η Ατμοσφαιρική Οπτική. Ο κλάδος αυτός μελετά τα φαινόμενα που αφορούν την διάδοση του φωτός μέσα στην ατμόσφαιρα και τα διάφορα φαινόμενα που αναπτύσσονται, και που αντιλαμβάνεται κάθε άνθρωπος, όπως π.χ. το ουράνιο τόξο, το γαλάζιο χρώμα του ουρανού και άλλα, όπως αυτά αναλύονται στο Κεφάλαιο 3. Εκτός από τα φαινόμενα αυτά που μελετά η ατμοσφαιρική οπτική που αφορά σαφώς περιβαλλοντικά φαινόμενα, η εργασία αυτή περιλαμβάνει ευρεία ανάλυση αυτών. Εν συνεχεία, ακολουθεί μια σημαντική αναφορά και κριτική επισκόπηση των εφαρμογών της οπτικής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα στην ηλιακή, καθώς σαν μορφή ενέργειας έχει άμεση σχέση με την διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Επίσης, τα τελευταία χρόνια ο κλάδος των εφαρμογών της οπτικής στο τομέα των ενεργειακών τεχνολογιών εξελίσσεται σημαντικά, καθώς έχει εφαρμογές στη χρήση αισθητήρων οπτικών ινών και στην εξέλιξη των 'έξυπνων' κτιρίων, τα οποία και αναλύονται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 4.

### 2.3 Οπτική και Οπτικές τεχνολογίες

Προτού γίνει αναφορά τεχνολογίες περιβάλλοντος και ενέργειας, είναι σημαντικό να γίνει η απαραίτητη ανασκόπηση της εξέλιξης της οπτικής και των εφαρμογών της σε διάφορους τομείς μέχρι σήμερα. Το γεγονός ότι οι οπτικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται ευρέως στις ψηφιακές μηχανές, στην ηλεκτρονική επεξεργασία μουσικής, στα οπτικά μέσα αποθήκευσης (CD, DVD), στη χρήση των σαρωτών δεδομένων, στα λέιζερ και σε πολλούς άλλους τομείς, δείχνει την σημαντικότητα της επιστήμης αυτής, τόσο στη καθημερινή ζωή του ανθρώπου όσο και στην εξέλιξη της τεχνολογίας.

### 2.4 Πληροφορική και Οπτική

Η χρήση της οπτικής στη πληροφορική είναι ευρέως γνωστή με την αποθήκευση δεδομένων, μέσω οπτικών μεθόδων, και τη γνωστή χρήση των CD. Ακολουθούν οι ψηφιακοί δίσκοι DVD, που διαθέτουν πολλαπλάσια δυνατότητα ψηφιακής απεικόνισης δεδομένων. Όπως είναι γνωστό σε ένα DVD μπορούμε να αποθηκεύσουμε εικόνες, βίντεο και γενικά οποιοδήποτε οπτικοακουστικό στοιχείο. Εν συνεχεία αυτού έρχεται η ολογραφική επεξεργασία εικόνας, ώστε να της αποδοθούν χαρακτηριστικά βάθους προκειμένου να γίνει προβολή της σε τρισδιάστατο χώρο (Ζευγώλης, 2012)



Εικόνα 1: Απεικόνιση δεδομένων

Επίσης, περιφερειακά συστήματα υπολογιστών, μέσω των εφαρμογών λέιζερ, δίνουν μεγαλύτερες και πιο αξιόπιστες αποδόσεις εικόνας, χρησιμοποιώντας οπτικά λέιζερ στα όρια του οπτικού φάσματος (ιώδες). Στο ίδιο πλαίσιο, πρέπει να αναφερθεί και η εμφάνιση δεδομένων στην οθόνη υπολογιστή και στην εξέλιξη των οθονών LCD, με εξελισσόμενες εφαρμογές, με επικρατέστερη την εφαρμογή του στην κινητή τηλεφωνία. Μια LCD ή οθόνη υγρών κρυστάλλων, είναι το είδος της οθόνης που χρησιμοποιείται σε πολλούς υπολογιστές, τηλεοράσεις και κινητά τηλέφωνα. Οι οθόνες LCD είναι πολύ λεπτές, αλλά στην πραγματικότητα αποτελούνται από πολλά στρώματα. Τα στρώματα περιλαμβάνουν δύο πολωμένα πάνελ, με ένα υγρό διάλυμα

κρυστάλλων μεταξύ τους. Το φως παραμένει μέσα στο στρώμα των υγρών κρυστάλλων και αλλάζουν χρώμα, το οποίο χρώμα είναι και αυτό που παράγει την ορατή εικόνα. Οι οθόνες υγρών κρυστάλλων δεν εκπέμπουν κανένα φως οι ίδιοι, απαιτούν οπίσθιο φωτισμό. Οι οθόνες LCD είναι λεπτές και φωτεινές, όμως, έχουν υψηλό κόστος να παραχθούν. Οι δύο τύποι των LCD κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται σε κινητά τηλέφωνα και είναι οι TFT (thin-film transistor) και οι IPS (σε επίπεδο μεταγωγής). Οι TFT LCD χρησιμοποιούν την thin-film τεχνολογία (τρανζίστορ) για να βελτιώσουν την ποιότητα της εικόνας, ενώ η IPS-LCD βελτιώνει την οπτική γωνία και την κατανάλωση ενέργειας των TFT LCD (LCD Panel Technology, 2012).

## **2.5 Ιατρική και Οπτική**

Οι οπτικές τεχνολογίες έχουν άμεση εφαρμογή στην ιατρική. Αρχικά είχαμε την ανάπτυξη των οπτικών οργάνων και συγκεκριμένα του οπτικού μικροσκοπίου. Το οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιείται ευρέως στην ενδοσκοπία και τις χειρουργικές επεμβάσεις σε σημεία του ανθρώπινου σώματος με δύσκολη πρόσβαση όπως π.χ. το εσωτερικό ενός οστού για τη χρήση χειρουργικών εργαλείων με καθοδήγηση οπτικών ινών. Πρόκειται δηλαδή για μια επέμβαση όπου ο χειρουργός καθοδηγείται εξολοκλήρου από την εικόνα που παίρνει από το μικροσκόπιο.

Μια άλλη εξελιγμένη τεχνολογία της οπτικής στην ιατρική είναι η εφαρμογή των λέιζερ. Η χρήση των λέιζερ στην οφθαλμολογία είναι η συχνότερη εφαρμογή που συναντάται στον κλάδο. Η διαθλαστική χειρουργική έφερε την επανάσταση στη διόρθωση της μυωπίας, της υπερμετροπίας και του αστιγματισμού. Σήμερα διανύουμε ήδη την 3η δεκαετία της χρήσης των λέιζερ και πραγματικά παρατηρούμε ότι η ακρίβεια και η ασφάλεια είναι πλέον γεγονός. Με τη χρησιμοποίηση αυτής της αξιοθαύμαστης τεχνολογίας μπορούμε να εξαλείψουμε οριστικά την εξάρτηση από διορθωτικά γυαλιά ή φακούς επαφής (Κοντογιάννης, 2009). Υπάρχουν δύο μέθοδοι αποτελεσματικής διόρθωσης μικρών ή μεγάλων βαθμών μυωπίας, υπερμετροπίας και αστιγματισμού. Η μέθοδος PRK και η μέθοδος LASIK. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθόδους έγκειται στο γεγονός ότι στη μεν πρώτη η διόρθωση γίνεται στην επιφάνεια του κερατοειδούς ενώ στη δεύτερη στο εσωτερικό του. Στη μεν PRK έχουμε κάποιους μικροενοχλήσεις τις 2-3 πρώτες ημέρες, ενώ στη LASIK οι ενοχλήσεις

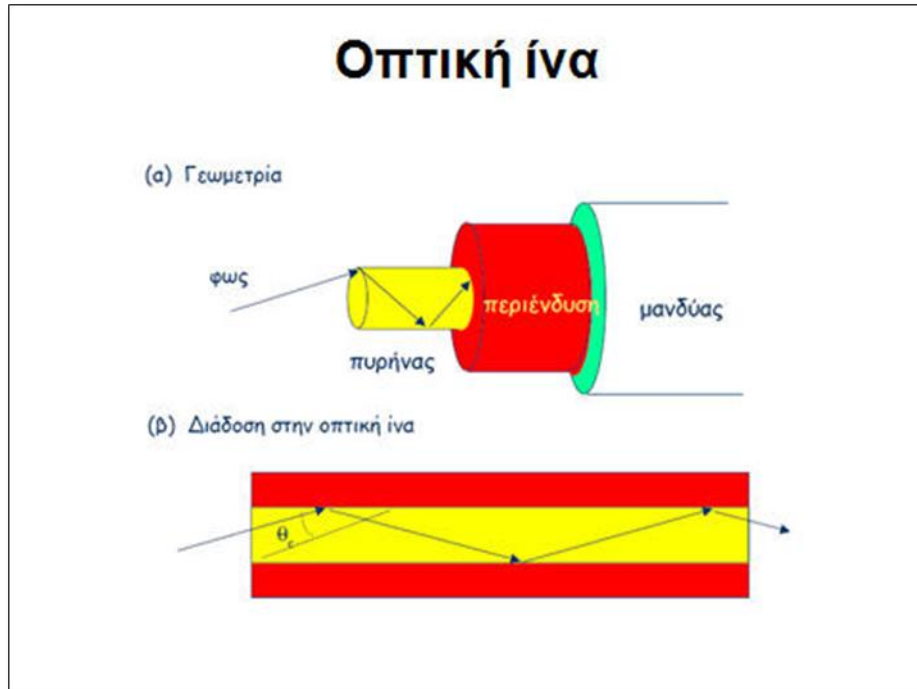
είναι μηδαμινές και η αποκατάσταση της όρασης του ασθενούς είναι άμεση από την ίδια κιόλας ημέρα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το ίδιο και στις δύο μεθόδους. (Κλινική Διαθλαστικής Χειρουργικής, 2007).

Εκτός όμως από την οφθαλμολογία, η εφαρμογή των λέιζερ είναι πολύ διαδεδομένη και στην δερματολογία. Διαφορετικοί τύποι λέιζερ χρησιμοποιούνται για να θεραπεύσουν ποικίλες καταστάσεις. Πολλές δερματικές παθήσεις αντιδρούν καλά στην επέμβαση με λέιζερ, όπως οι ευρυαγγείες, τα αιμαγγειώματα και τα σημάδια εκ γενετής. Τα λέιζερ είναι χρήσιμα για να εξαφανίσουμε ουλές, κρεατοελιές, μαύρους κύκλους στα μάτια, τατουάζ, τρίχες, ή τα καφέ σημάδια ηλικίας. Μπορούν να κόψουν ιστούς χωρίς να προκαλέσουν παρατεταμένη αιμορραγία, ενώ σε πολλές περιπτώσεις εισέρχονται σε εσωτερικές περιοχές του σώματος, πολύ πιο εύκολα από τη χειρουργική μέθοδο (Φιλίππου, 2009).

## **2.6 Οπτικές ίνες**

Οι οπτικές ίνες, είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, όπου από μέσα τους, μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα, υπό μορφή φωτός. Ένα καλώδιο οπτικών ινών, περιέχει μέσα του 10άδες ή και 100άδες πολύ λεπτές τέτοιες οπτικές ίνες, σε παρά πολύ μικρή διάμετρο. Οι ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων μέσω των οπτικών ινών, αφού τα δεδομένα ταξιδεύουν υπό μορφή φωτός, είναι τεράστια (όσο η ταχύτητα του φωτός). Στο ένα άκρο της οπτικής ίνας, υπάρχει ο πομπός και στο άλλο, ο δέκτης. Ο πομπός, μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα ενός υπολογιστή, σε ψηφιακά κύματα φωτός. Ο δέκτης, αποκωδικοποιεί τα ψηφιακά κύματα φωτός, σε ψηφιακά δεδομένα. Τα ψηφιακά κύματα φωτός, ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός μέσα από την οπτική ίνα, με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της οπτικής ίνας. Οι ανακλάσεις αυτές, γίνονται στα τοιχώματα, σε γωνία μικρότερη των 42 μοιρών, με αποτέλεσμα να λειτουργούν τα τοιχώματα σαν καθρέφτες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ολική ανάκλαση και είναι η αιτία που τα κύματα φωτός μένουνε μέσα στην οπτική ίνα, συνεχίζοντας το ταξίδι τους μέχρι το άλλο άκρο, χωρίς να βγαίνουν-χάνονται έξω από την ίνα. Σε αυτό συνεισφέρει και η δομή της. Το εσωτερικό μέρος της οπτικής ίνας, ονομάζεται πυρήνας και μέσω αυτού, ταξιδεύουν τα κύματα φωτός. Ο πυρήνας, είναι περιτυλιγμένος από μία άλλη στρώση πλαστικού - γυαλιού που ονομάζεται περίβλημα. Το περίβλημα από τις οπτικές ίνες, είναι έτσι κατασκευασμένο, ώστε να κρατάει τα κύματα φωτός, με ολικές ανακλάσεις, μέσα

στον πυρήνα και να συνεχίζουν το ταξίδι τους μέσω αυτού (του πυρήνα). Το περίβλημα το πετυχαίνει αυτό, λόγω της διαφορετικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο, σε σχέση με το υλικό του πυρήνα. Μια μορφή οπτικής ίνας φαίνεται και στην εικόνα 2.



Εικόνα 2: Μορφή Οπτικής ίνας

Υπάρχουν οι οπτικές ίνες απλού τύπου και οι πολλαπλού τύπου. Στις οπτικές ίνες απλού τύπου(single-mode), τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή και μπορούμε να στείλουμε δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις. Οι οπτικές ίνες πολλαπλού τύπου(multi-mode), είναι πιο "χοντρές" από τις απλού τύπου, αλλά μπορούν να στείλουν παράλληλα, σε ξεχωριστό μονοπάτι, πολλά κύματα φωτός. Το κάθε κύμα φωτός, εισέρχεται στην οπτική ίνα υπό ελαφρώς διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα, και ακολουθεί το δικό του μονοπάτι μέσα της, μέσω των διαδοχικών ανακλάσεων στο περίβλημα. Αυτό συμβαίνει παράλληλα με πολλά κύματα φωτός (όλα σε διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα) κι έτσι μπορούμε να στείλουμε παράλληλα, τεράστιο όγκο δεδομένων (Ζευγώλης, 2002).

## 2.7 Αισθητήρες οπτικών ινών

Η ραγδαία κι εκτεταμένη ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από την επαφή μας με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, μεταβάλλει και το περιβάλλον μας, σε προσωπικό αλλά και μακροσκοπικό επίπεδο. Πλέον με όλο κι αυξανόμενη συχνότητα συναντάμε πολύπλοκα συστήματα ελέγχου και λήψεως αποφάσεων, όχι μόνον στη βιομηχανία, όπου οι αυτοματισμοί αποτελούν νευραλγικό γρανάτζι στη σύγχρονη παραγωγική μηχανή, αλλά και στην απλή καθημερινότητά μας.

Για την υλοποίηση των αυτοματισμών απαιτείται ένα κύκλωμα ελέγχου (Control Unit) το οποίο λαμβάνει δεδομένα από τον εξωτερικό χώρο (περιβάλλον), τα επεξεργάζεται και προβαίνει σε κατάλληλες ενέργειες, ανάλογα με τον προγραμματισμό του (Ζευγώλης, 2002). Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο κύκλωμα ελέγχου σαν στοιχεία του προγραμματισμού του, είτε συλλέγονται αυτόνομα. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε απλά μια μηχανή η οποία εκτελεί μια αλληλουχία συγκεκριμένων βημάτων, ενώ στη δεύτερη έχουμε ένα αυτόματο σύστημα ικανό να δράσει αυτόνομα, σύμφωνα με τα δεδομένα που επικρατούν στο περιβάλλον του. Ο αυτοματισμός θα πρέπει να κατασκευαστεί με όσο το δυνατόν μικρότερες ανοχές ώστε να μην παρεκκλίνει από την αλληλουχία των βημάτων του, ενώ το αυτόματο σύστημα έχει την ικανότητα να ελέγχει και να προβαίνει σε διορθώσεις. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον ενός αυτόματου συστήματος είναι η παρουσία ενός ορισμένου πλήθους αισθητήρων (Sensors) (Ζευγώλης, 2002).

Αισθητήρας είναι μια συσκευή η οποία ανιχνεύει ένα μακροσκοπικό φυσικό μέγεθος και το μετατρέπει σε ένα μετρήσιμο μέγεθος συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Είναι η συσκευή που συνδέει τον κόσμο των ηλεκτρονικών με το φυσικό περιβάλλον (Bramley, 2005). Σε αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί η εξέλιξη και η χρήση των αισθητήρων οπτικών ινών σε κτίρια με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όπως αναλύονται εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 4.

## 2.8 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό δίνει μια γενική εικόνα για τις μέχρι τώρα χρήσεις και εφαρμογές της οπτικής σε διάφορους τομείς. Η οπτική δίνει εξήγηση σε φαινόμενα, όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και πόλωση του φωτός καθώς και την εφαρμογή της μέσω των φακών στην ανθρώπινη όραση. Εν συνεχεία, αναφέρεται η άμεση εφαρμογή της οπτικής στην τεχνολογία όπως για παράδειγμα στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και στη χρήση οπτικών ινών, στις οπτικές τεχνολογίες, τα λέιζερ, την πληροφορική και άλλες. Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη του κλάδου της οπτικής βρίσκει πολλές εφαρμογές στην ιατρική, με τις εφαρμογές των λέιζερ στην οπτική και τη βελτίωση όρασης καθώς και εφαρμογές στην δερματολογία. Ευρεία είναι και η εξέλιξη του κλάδου στην πληροφορική ξεκινώντας με την αποθήκευση δεδομένων, μέσω οπτικών μεθόδων, και τη γνωστή χρήση των CD και των ψηφιακών δίσκων DVD, που διαθέτουν πολλαπλάσια δυνατότητα ψηφιακής απεικόνισης δεδομένων. Σαν εξέλιξη αυτού έρχεται η ολογραφική επεξεργασία εικόνας, ώστε να της αποδοθούν χαρακτηριστικά βάθους προκειμένου να γίνει προβολή της εικόνας σε τρισδιάστατο χώρο. Επίσης γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των οπτικών ινών και των εφαρμογών στη διάδοση πληροφοριών. Τέλος ακολουθεί η εξέλιξη των εφαρμογών των οπτικών ινών και στους αισθητήρες οπτικών ινών με χρήση αυτοματισμών για την λήψη και αντίληψη ερεθισμάτων. Όπως αναλύεται και στο Κεφάλαιο 4, η χρήση των οπτικών ινών και των αισθητήρων, έχουν μια νέα εφαρμογή ιδιαίτερα διαδεδομένη πλέον στον κλάδο της διαχείρισης ενέργειας κτηρίων για τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας και βελτίωσης χρήσης τους, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος.



## Κεφάλαιο 3ο: Οπτική και Περιβάλλον

### 3.1 Ατμοσφαιρική Οπτική

Όλα τα οπτικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα της γης οφείλονται στην αλληλεπίδραση των ακτινών του ήλιου με την ύλη-σωματίδια-που βρίσκονται και αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Οι ακτίνες που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις κατά τη διαδρομή τους μέσα από την ατμόσφαιρα και, λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων των αερίων στρωμάτων και συνεπώς και του δείκτη διάθλασής τους. Οι συνεχείς διαθλάσεις προκαλούν τελικά μια καμπυλόγραμμη τροχιά της φωτεινής δέσμης, με αποτέλεσμα το φωτεινό σώμα να παρατηρείται στον ουράνιο θόλο σε μια φαινόμενη θέση και όχι στην πραγματική του θέση.

Για να περιγραφεί κάθε μια από αυτές τις διαθλάσεις και συνεπώς οι οπτικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας, γίνεται η χρήση του δείκτη διάθλασης ως μιγαδικού αριθμού, καθώς μέσα στην ατμόσφαιρα λαμβάνουν χώρα φαινόμενα διασποράς και απορρόφησης. Σε αυτά τα φαινόμενα προκειμένου για την εξήγησή τους χρησιμοποιούμε το μιγαδικό μέρος του δείκτη διάθλασης. Αυτό έχει σαν συνέπεια λόγω των διάφορων συστατικών και συστάσεων της ατμόσφαιρας να εμφανίζονται διάφορα φαινόμενα όπως διάθλαση στην ατμόσφαιρα, αντικατοπτρισμός, χρώμα ουρανού και ουράνιο τόξο. Συνεπώς η ατμοσφαιρική οπτική ασχολείται με το πώς οι οπτικές ιδιότητες της γήινης ατμόσφαιρας προκαλούν ένα ευρύ φάσμα των οπτικών φαινομένων. Το μπλε χρώμα του ουρανού είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα της σκέδασης Rayleigh (§ 3.14) που ανακατευθύνει σε υψηλότερη συχνότητα (μπλε), το φως του ήλιου πίσω στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Επειδή το μπλε φως σκεδάζεται πιο εύκολα από το κόκκινο φως, ο ήλιος παίρνει ένα κοκκινωπό χρώμα όταν παρατηρείται από πιο 'παχιά' σημεία της ατμόσφαιρα, όπως κατά τη διάρκεια μιας ανατολή ή δύση του ηλίου. Επιπρόσθετα σωματίδια στον ουρανό μπορούν να προκαλέσουν σκέδαση σε διαφορετικά χρώματα και σε διαφορετικές γωνίες δημιουργώντας πιο λαμπερό ουρανό το σούρουπο και την αυγή (Ahrens (1994).

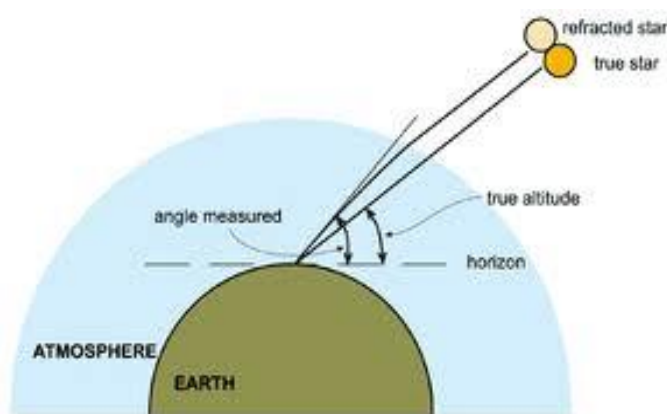
Αντικατοπτρισμοί είναι τα οπτικά φαινόμενα στα οποία οι ακτίνες του φωτός κάμπτονται λόγω θερμικών διακυμάνσεων του δείκτη διάθλασης του αέρα, παράγοντας σε μεγάλο βαθμό εκτοπισμένες ή διαστρεβλωμένες εικόνες των μακρινών αντικειμένων. Άλλα οπτικά φαινόμενα που σχετίζονται με αυτό περιλαμβάνουν την επίδραση Novaya Zemlya, όπου ο ήλιος φαίνεται να ανατέλλει

νωρίτερα ή αργότερα από ό, τι προβλέφθηκε. Μια θεαματική μορφή της διάθλασης γίνεται με αναστροφή θερμοκρασίας που ονομάζεται Fata Morgana (Young, 1992) που εξηγείται στην παράγραφο 3.1.2.

Ουράνια τόξα είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού της εσωτερικής ανάκλασης και διάθλασης του φωτός διασποράς σε σταγόνες βροχής. Επειδή ουράνια τόξα φαίνονται στην αντίθετη πλευρά του ουρανού, όπως ο ήλιος, τα ουράνια τόξα είναι πιο έντονα όσο πιο κοντά είναι ο ήλιος στον ορίζοντα λόγω της μεγαλύτερης μεταξύ τους απόσταση (Young, 1992). Τα πιο πάνω φαινόμενα αναλύονται λεπτομερώς στις πιο κάτω παραγράφους.

### 3.1.1 Διάθλαση στην ατμόσφαιρα

Για τη μελέτη του φαινομένου διάθλασης στην ατμόσφαιρα, θεωρούμε την ατμόσφαιρα σαν ένα ομογενές στρώμα που απέχει από την επιφάνεια της θάλασσας 8χλμ. Σε αυτή τη περίπτωση έχουμε μόνο μια διάθλαση, η οποία συμβαίνει στην διαχωριστική επιφάνεια με το απόλυτο κενό (Young, 1992). Η γωνία διάθλασης εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και κυμαίνεται από το ζενίθ μέχρι τον ορίζοντα. Σε μια ατμόσφαιρα με ίσο-κατανεμημένη θερμοκρασία για το βαρυτικό πεδίο της γης, η πυκνότητα του αέρα μειώνεται εκθετικά από την επιφάνεια της γης και το ίδιο συμβαίνει και στον δείκτη διάθλασης του αέρα. Σαν αποτέλεσμα των συνεχών μεταβολών του δείκτη διάθλασης σε μια φωτεινή ακτίνα διερχόμενη από μακρινό αστέρα, υφίσταται διαδοχικές διαθλάσεις προτού φτάσει στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 3: Διάθλαση στην ατμόσφαιρα

Η φωτεινή ακτίνα ακολουθεί καμπυλόγραμμη τροχιά και ένας παρατηρητής βλέπει στην ακτίνα την προέκταση του αστέρα. Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της φαινόμενης και της πραγματικής θέσης του αστέρα, στην αστρονομία καλείται διαθλαστική γωνία της ατμόσφαιρας (Ζευγώλης, 2002). Η μελέτη της διάθλασης της

ατμόσφαιρας είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στις ατμοσφαιρικές οπτικές και είναι πάρα πολύ σημαντικό για την αστρονομία.

### 3.1.2 Αντικατοπτρισμός

Ένα επίσης πού σημαντικό φαινόμενο που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική οπτική και την αλληλεπίδρασή της με το φως, είναι το φαινόμενο του αντικατοπτρισμού. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε περιοχές όπου οι φωτεινές ακτίνες διέρχονται μέσα από στρώματα με διαφορετικές πυκνότητες. Τέτοιες μεταβολές εμφανίζονται στα στρώματα της ατμόσφαιρας κοντά στην γήινη επιφάνεια και συνήθως τις ημέρες του καλοκαιριού. Στα σημεία αυτά ο αέρας θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά η θερμοκρασία μειώνεται δραστικά με το ύψος, οπότε αυξάνεται η πυκνότητα και ο δείκτης διάθλασης. Εξαιτίας αυτού, ο παρατηρητής βλέπει ένα μακρινό αντικείμενο σε ανεστραμμένη θέση λόγω της καμπύλωσης των φωτεινών ακτινών (Young, 2002).



Εικόνα 4: Φαινόμενο Αντικατοπτρισμού

Τις καλοκαιρινές μέρες και κατά τη διάρκεια του μεσημεριού με συνθήκες άπνοιας το οδόστρωμα φαίνεται εσφαλμένο βέβαια, σαν μια υδάτινη επιφάνεια, δίνοντας την εντύπωση ότι ο δρόμος έχει βραχεί. Το φαινόμενο αυτό προέρχεται από τον αντικατοπτρισμό του ουρανού. Το φως προέρχεται από υψηλότερα σημεία (π.χ. ήλιος), καμπυλώνεται μόλις εισέλθει σε στρώμα αραιού και θερμού αέρα και τελικά καταλήγει μέσα από διάθλαση στον παρατηρητή, που βλέπει το είδωλο του ήλιου ανεστραμμένο στην προέκταση των ακτινών. Όμως μπορεί να παρατηρηθεί και το αντίστροφο φαινόμενο, όταν σε ένα ψυχρό στρώμα επικάθεται ένα θερμό στρώμα αέρος, λόγω της θέρμανσης των στρωμάτων που είναι πολύ μακριά από το έδαφος (Ahren, 1994). Η ονομασία του φαινομένου είναι Φάτα Μοργκάνα (αποτελεί ιταλική μετάφραση του ονόματος της Μόργκαν λε Φέι, της μάγισσας και ετεροθαλούς αδελφής του Βασιλιά Αρθούρου). Ο όρος χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει ένα ιδιαίτερο είδος αντικατοπτρισμού, ένα οπτικό φαινόμενο, που οφείλεται σε

θερμοκρασιακή αναστροφή. Τα αντικείμενα στον ορίζοντα, όπως νησιά, κρημνοί, πλοία ή παγόβουνα, εμφανίζονται σύνθετα, δηλαδή δύο είδωλα ίδιου αντικειμένου ενωμένα αντίστροφα κατά κορυφή. Όταν ο καιρός είναι ήπιος, η απρόσκοπτη αλληλεπίδραση μεταξύ του ζεστού υπερκείμενου αέρα και του πυκνότερου ψυχρού αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να δράσει ως διαθλαστικός φακός, δημιουργώντας ένα κατακόρυφα αντεστραμμένο είδωλο, επί του οποίου φαίνεται να αιωρείται το απομακρυσμένο ευθύ είδωλο.

Η Φάτα Μοργκάνα παρατηρείται συνήθως τις πρωινές ώρες μετά από μια ψυχρή νύχτα που έχει ως αποτέλεσμα τη διαφυγή θερμότητας από ακτινοβολίας στο διάστημα.



Εικόνα 5: Το φαινόμενο Φάτα Μοργκάνα

Η πρώτη αναφορά στη "Φάτα μοργκάνα" στα αγγλικά, το 1818, αφορούσε έναν παρόμοιο αντικατοπτρισμό που παρατηρήθηκε στο Στενό της Μεσσίνας, ανάμεσα στην Καλαβρία και τη Σικελία. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο στις κοιλάδες των ψηλών βουνών, όπως η κοιλάδα Σαν Λούις του Κολοράντο όπου το φαινόμενο μεγεθύνεται εξαιτίας της καμπύλωσης του πυθμένα της κοιλάδας που αντισταθμίζει την καμπυλότητα της Γης. Είναι πιθανό να παρατηρηθεί στις Αρκτικές θάλασσες σε πολύ γαλήνια πρωινά, ή συχνά στις καλυμμένες με πάγο κρηπίδες της Ανταρκτικής. Η "Φάτα Μοργκάνα" υπάγεται στους ανώτερους αντικατοπτρισμούς (superior mirage), που διακρίνονται από τους πιο συνηθισμένους κατώτερους αντικατοπτρισμούς (inferior mirage), οι οποίοι δημιουργούν την οφθαλμαπάτη μακρινών νερόλακκων στην έρημο και "υγρού οδοστρώματος" στους πολύ ζεστούς δρόμους (Ζευγώλης, 2002).

### 3.1.3 Ουράνιο τόξο

Η πρώτη σωστή ερμηνεία για το ουράνιο τόξο δόθηκε από τον Καρτέσιο (1637). Η ερμηνεία βασίστηκε στην μελέτη της γεωμετρικής πορείας των ακτινών του ήλιου και εν συνεχεία στη διάθλαση των ακτινών και την ανάλυσή τους καθώς διαπερνούν της βρόχο-σταγόνες. Η εμφάνιση του ουράνιου τόξου βασίζεται στην σύνθεση δυο φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά την πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών στις σταγόνες: ολική ανάκλαση και στη διάθλαση και αποτελεί το πιο ενδεικτικό παράδειγμα ανάλυσης του ηλιακού φάσματος. Για τη παρατήρηση του ουράνιου τόξου απαιτείται συγκεκριμένη γεωμετρική θέση του παρατηρητή με τον ήλιο και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες να επιτρέπουν την πρόσπτωση των ακτινών επί των νεφών. Το κάθε χρώμα (δηλαδή κάθε μήκος κύματος) διαθλάται υπό διαφορετική γωνία μέσα στα σταγονίδια (που δρουν σαν μικρά πρίσματα), παθαίνει διαφορετική εκτροπή κι έτσι το ορατό λευκό φως αναλύεται στα διάφορα χρώματα που το συνθέτουν, δηλαδή στο φάσμα του



Εικόνα 6: Ουράνιο Τόξο.

Έτσι εμφανίζεται το φάσμα του ηλιακού φωτός ως ένα πολύχρωμο τόξο, με το κόκκινο χρώμα να κυριαρχεί στην εξωτερική του πλευρά, και το βιολετί στην εσωτερική. Η διαφορετικότητα της γωνίας του κάθε μήκους κύματος (χρώματος) και του σχήματος των σταγονιδίων εξηγεί και το τοξοειδές σχήμα του φαινομένου. Αν και τα ουράνια τόξα εμφανίζουν μια ευρεία γκάμα χρωμάτων, τα πιο ευδιάκριτα είναι το κόκκινο, το κίτρινο, το μπλε, δηλαδή τα βασικά χρώματα και το γαλάζιο, το βιολετί και το πορτοκαλί. Ας σημειωθεί όμως ότι το ουράνιο τόξο στην πραγματικότητα είναι συνεχές φάσμα και εμφανίζονται και όλες οι ενδιάμεσες αποχρώσεις των παραπάνω χρωμάτων (Ζευγώλης, 2002).

### 3.1.4 Σκέδαση Rayleigh

Ένα πολύ γνωστό φαινόμενο που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα είναι η σκέδαση Rayleigh. Πήρε το όνομά της από τον Βρετανό φυσικό λόρδο Rayleigh. Η σκέδαση αυτή περιγράφει την ελαστική σκέδαση του φωτός ή άλλων ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών από σωματίδια πολύ μικρότερα από το μήκος κύματος του φωτός. Τα σωματίδια μπορεί να είναι μεμονωμένα άτομα ή μόρια. Μπορεί να συμβεί όταν το φως ταξιδεύει μέσα από διαφανή στερεά και υγρά, αλλά είναι πιο εμφανές σε αέρια. Η σκέδαση Rayleigh εξαρτάται από τη ηλεκτρική πόλωση των σωματιδίων. Η σκέδαση Rayleigh του ηλιακού φωτός στην ατμόσφαιρα προκαλεί διάχυτη ακτινοβολία του ουρανού, η οποία είναι ο λόγος για το μπλε χρώμα του ουρανού και το κίτρινο τόνο του ήλιου αντίστοιχα (Young, 1992). Σκέδαση από σωματίδια παρόμοια με ή μεγαλύτερα από το μήκος κύματος του φωτός ερμηνεύεται με τη θεωρία Mie, το και άλλες υπολογιστικές τεχνικές (Van de Hulst, 1957). Η σκέδαση Rayleigh ισχύει για σωματίδια που είναι μικρά σε σχέση με μήκη κύματος του φωτός, που είναι και οπτικά "μαλακά" (δηλαδή με δείκτη διάθλασης κοντά στο 1).

## 3.2 Οπτική και Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι ίσως η μόνη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που έχει άμεση σχέση με τις εφαρμογές τις οπτικές και κάποιες πολύ βασικές αρχές της γεωμετρικής οπτικής. Η χρήση της ξεκινά από πολλούς αιώνες πριν και μέχρι σήμερα έχει διάφορες μορφές εξέλιξης.

### 3.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η αρχική εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας ήταν με την μορφή της φωτιάς. Οι πρώτες γνωστές πρακτικές εφαρμογές ήταν στην ξήρανση για τη συντήρηση των τροφίμων. Η παλαιότερη εγκατάσταση που αφορούσε την ξήρανση των τροφίμων με την ηλιακή ακτινοβολία βρέθηκε στη νότια Γαλλία και χρονολογείται σε 8000 π.χ. Η παλιότερη σε μεγάλη κλίμακα πιθανή εφαρμογή, είναι η καύση του Ρωμαϊκού στόλου από τον Αρχιμήδη, τον Έλληνα μαθηματικό και φιλόσοφο ( 287-212 π.χ.), ο οποίος χρησιμοποίησε επίπεδους καθρέπτες για την συγκέντρωση των ακτινών του ηλίου σε ένα συγκεκριμένο σημείο επάνω στα πλοία. Πολλοί συγγραφείς, από το 100 π.χ. μέχρι το 1100 μ.Χ., έκαναν αναφορές σε αυτό το γεγονός, το οποίο αργότερα χαρακτηρίστηκε ως μύθος διότι δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογία για να κατασκευαστούν καθρέπτες. Δεν είναι γνωστό, εάν το γεγονός έγινε πραγματικά, αλλά ο Αρχιμήδης είναι επίσης συγγραφέας ενός βιβλίου με τον τίτλο «Καθρέπτες», το οποίο δεν έχει διασωθεί, αλλά πολλοί συγγραφείς αρχαιοτήτων αναφέρονται σε αυτό. Αυτό το πείραμα επαναλήφθηκε από τον Πρόκλους κατά την διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου όταν έκαψε τον πολεμικό στόλο των εχθρών που πολιορκούσαν το Βυζάντιο (Delyannis, 2003).

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας επανελήφθη κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα πρώτα από το Γάλλο φυσιογνώστη Bouffon το 1747 και το 1748, ο οποίος πειραματίστηκε με διάφορες ανακλώμενες συσκευές που αποκαλούντο από τον ίδιο "καυτοί καθρέπτες που καίνε σε μεγάλη απόσταση." Μια από τις πρώτες μεγάλης κλίμακας εφαρμογές ήταν ο ηλιακός φούρνος που χτίστηκε από το γνωστό Γάλλο φαρμακοποιό Lavoisier ο οποίος το 1774 κατασκεύασε ισχυρούς φακούς για να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτοί οι δύο επιστήμονες προώθησαν πολύ την έρευνα και την εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας. Η πραγματική όμως επανάσταση της ηλιακής ενέργειας ξεκίνησε στο μέσον του 19ου αιώνα. Στην Ευρώπη και στην Αμερική, διάφοροι ερευνητές πειραματιστήκαν με τις ηλιακές

μηχανές που χρησιμοποιηθήκαν για συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η χρήση τους ήταν κυρίως στην άντληση νερού για άρδευση. Αυτοί ήταν οι πρώτοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και συγκεντρωτές με τον Schuman να φτιάχνει τον πρώτο επίπεδο συγκεντρωτή. Από το 1866 μέχρι το 1956 μικρές ηλιακές εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία. Μεταξύ 1866 και 1878 ο Γάλλος μηχανικός Mouchot, κατασκεύασε διάφορους συγκεντρωτικούς συλλέκτες στην Ευρώπη και τη βόρεια Αφρική. Οι προσπάθειες συνεχίστηκαν στις ΗΠΑ όπου ο John Ericsson, ανέπτυξε την πρώτη μηχανή ατμού, οδηγούμενη άμεσα από την ηλιακή ενέργεια (Belessiotis and Delyannis, 2000).

Στην αρχή του 20ού αιώνα, η δραματική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από τη βιομηχανία, αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον για τη χρήση ηλιακής ενέργειας για μεγάλης κλίμακας πρακτικές εφαρμογές. Ο Eneas το 1901 κατασκεύασε έναν μεγάλο ηλιακό συγκεντρωτή στη Πασαντένα της Καλιφόρνια. Ήταν ένας κώλουρος κώνος που είχε μια ηλιακή έκταση συλλογής 59,64 m<sup>2</sup> και χρησιμοποίησε το νερό ως μέσο λειτουργίας. Το 1901 μια ομάδα μηχανικών κατασκεύασε έναν συγκεντρωτή παρόμοιο με αυτόν του Eneas που η εσωτερική πλευρά του επενδύθηκε με 1788 επιπέδους καθρέφτες και λειτουργούσε δεξιόστροφα για να επαναρυθμίζεται η εστίαση κάθε 20 min. Χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού για άρδευση.

Εγκαταστάθηκε επίσης στη Πασαντένα, και ήταν γνωστός ως "μονάδα παραγωγής ηλιακής ενέργειας, Πασαντένα" (Belessiotis and Delyannis, 2000). Το 1910 ο Harrington δημιούργησε την πρώτη ηλιακή συσκευή αποθήκευσης χωρητικότητας 19m<sup>3</sup>. Μια ηλιακά οδηγούμενη αντλία χρησιμοποιήθηκε για να αντλήσει το νερό σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία ήταν 6 m υψηλότερα. Το 1913, ο Harrington συνεργάστηκε με τους Boys να εγκαταστήσει τις μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας που έγιναν στο Meadi, στην Αίγυπτο. Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού για άρδευση από τον ποταμό Νείλο. Αποτελείτο από κύλινδρο-παραβολικά κάτοπτρα με προσανατολισμό βορρά-νότο που στρέφονταν αυτόματα κατά την διάρκεια της ημέρας και το σύστημα παρήγαγε 50 KW για να θέτουν σε κίνηση τις αντλίες. Το μέσον λειτουργίας ήταν ο ατμός. Οι επόμενες μεγάλες ηλιακές μονάδες δεν θα εγκαθίσταντο για τα επόμενα 63 έτη. Μια από τις πρώτες μεγάλης κλίμακας πειραματικές μονάδες ηλιακής ενεργείας κατασκευάστηκε από τον Francia (Delyannis, 2003) και εγκαταστάθηκε κοντά στη Γένοβα. Οι συγκεντρωτές ήταν κυκλικοί με επεξεργασμένη επιφάνεια καθρέφτες ανακλώντας την ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε έναν κεντρικό λέβητα, παραγωγής



ατμού. Οι μονάδες αποτελούντο από 270 ηλιοστάτες με παραγωγή 50 kW. Βασισμένη στο ίδιο σχεδιασμό, πιλοτική ηλιακή μονάδα εγκαταστάθηκε το 1977 στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Ατλάντα. Ο συλλέκτης αποτελείτο από έναν οκταγωνικό σχηματισμένο πεδίο καθρεπτών που περιείχε 550 γυάλινες επιφάνειες καθρεπτών. Το πεδίο ήταν εστιασμένο στο ηλιακό φως και η συνολική δύναμη μέσα στην εστιακή ζώνη ήταν περίπου 400 kW. Σήμερα υπάρχουν πολλές μεγάλες μονάδες ηλιακές ενέργειας με παραγωγή στο εύρος του MW, αντί του kW, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Οι πρώτες εμπορικές μονάδες ηλιακής ενέργειας εγκαταστάθηκαν στις ΗΠΑ, το 1979. Η πρώτη αποτελείτο από 220 ηλιοστάτες και είχε μια παραγωγή 5 MW ενώ η δεύτερη είχε συνολική θερμική παραγωγή 35 MW. Οι περισσότερες από τις μονάδες ηλιακής ενέργειας εγκαταστάσεις παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ή/και επεξεργάζονται το νερό για τη βιομηχανική χρήση και παρέχουν τον υπέρθερμο ατμό 673 K (400 0C). Κατά συνέπεια, μπορούν να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια ή/και τον ατμό για να κινήσουν π.χ μικρής απόδοσης συμβατικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης εξαρτώμενες από θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια.

### 3.2.2 Τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια που συλλέγει η γη κατά την διάρκεια ενός χρόνου είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από τις συνολικές πηγές φυσικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των αποθεμάτων που δεν έχουν ανακαλυφθεί ή εξερευνηθεί και που δεν είναι ανανεώσιμα. Ο ήλιος καθώς στέλνει στην γη ενέργεια ισχύος 150.109 MW. Από την ενέργεια αυτή το 30% ανακλάται στο διάστημα από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το 46% φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου μετατρέπεται σε θερμότητα και ανακλάται με θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από το υπόλοιπο 24% το 23% δαπανάται για την εξάτμιση του νερού των θαλασσών και το εναπομένον 1% για την αιολική ενέργεια, την ενέργεια των κυμάτων, καθώς και την φωτοσύνθεση. Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας με την παραγωγή και εγκατάσταση συσκευών αποτέλεσε καινοτομία στην ενεργειακή εξέλιξη του ανθρώπου. Ενώ η έμμεση ηλιακή ενεργεία επιδρά με φυσικές διαδικασίες στο νερό, τον αέρα και την φωτοσύνθεση, η άμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί ειδικά σχεδιασμένα και εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα προκειμένου να απορροφούν και να μετατρέπουν την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια.

Τα συστήματα συλλογής και μετατροπής της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- i) Συστήματα απευθείας μετατροπής της ενέργειας σε θερμότητα. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει με ενεργητικά συστήματα όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ηλιακές λίμνες, ή με παθητική συλλογή από το ίδιο το κτίριο, τα θερμοκήπια κλπ.
- ii) Συστήματα μετατροπής με ενδιάμεσο θερμό-δυναμικό μετασχηματισμό, όπου η θερμότητα χρησιμοποιείται για την δημιουργία ατμού, παραγωγή έργου και τελικά ηλεκτρισμό.
- iii) Συστήματα απευθείας μετατροπής σε ηλεκτρισμό, με πιο διαδεδομένο τα φωτοβολταϊκά κύτταρα στα οποία γίνεται η φωτοβολταϊκή μετατροπή.
- iv) Συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια, όπως η παραγωγή βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης, η παραγωγή H<sub>2</sub> με φωτοηλεκτρόλυση κ.α

### 3.2.3 Συστήματα συλλογής ηλιακής ενέργειας

#### Επίπεδοι συλλέκτες

Είναι οι πιο διαδεδομένοι όσον αφορά την θέρμανση νερού και την θέρμανση χώρων και είναι η σπουδαιότερη κατηγορία συσκευών συλλογής της ηλιακής ενέργειας από πλευράς εφαρμογών. Ένας τυπικός επίπεδος συλλέκτης (flat plate collector) αποτελείται από ένα μεταλλικό πλαίσιο στο πάνω μέρος του οποίου τοποθετείται κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, στο εσωτερικό του τοποθετείται απορροφητική επιφάνεια μαύρου χρώματος ενώ τα πλαϊνά και η κάτω πλευρά του συλλέκτη είναι μονωμένα για να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές απώλειες. Η λειτουργία του συλλέκτη είναι απλή.

Το μεγαλύτερο ποσοστό από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από την εσωτερική επιφάνεια που συμπεριφέρεται ως "μέλαν" σώμα στην ηλιακή ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος από την ενέργεια που απορροφάται, μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται.



Εικόνα 7: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης σε θερμοσίφωνα

Η θερμότητα που παράγεται από το ρευστό, είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και ή αποθηκεύεται, ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο. Η πιο γνωστή και συνήθης εφαρμογή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι αυτή του ηλιακού θερμοσίφωνα (Εικόνα 7). Άλλα ηλιακά θερμικά συστήματα είναι ο ολοκληρωμένος ηλιακός συλλέκτης, ο σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτικός συλλέκτης (CPC) και ο κύλινδρο-παραβολικός συλλέκτης.

## **Φωτοβολταϊκό σύστημα (PV)**

Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με την χρήση ηλιακών κυψελών, διαδικασία γνωστή ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διαδικασία αυτή εξαρτάται από την θέρμανση του κυττάρου αφού η απόδοση των φωτοβολταϊκών μειώνεται καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας τους αυξάνει. Τα ηλιακά κύτταρα πλεονεκτούν στο ότι εφαρμόζονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μικρή έκθεση στον ήλιο ανά μονάδα επιφάνειας. Στην περίπτωση που επικρατεί συννεφιά τα φ/β λειτουργούν με την ίδια απόδοση εν αντιθέσει με τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω θερμοδυναμικής μετατροπής με πολύ χαμηλές αποδόσεις λόγω της συλλογής μόνο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.



**Εικόνα 8: Φωτοβολταϊκό σύστημα**

Τα βασικά χαρακτηριστικά των φ/β συστημάτων είναι η απευθείας παραγωγή ενέργειας με μηδενικές εκπομπές ρύπων, η αθόρυβη λειτουργία, οι ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης και η μεγάλη διάρκεια ζωής.

Στο φ/β φαινόμενο δεν χρησιμοποιείται όλη η περιοχή του φάσματος αλλά μέρος αυτής. Ο συντελεστής απόδοσης ενός φ/β δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρική απόδοση του φ/β εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία λειτουργίας του, καθώς και την κλίση του συλλέκτη και την ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής. Συγκεκριμένα αύξηση της θερμοκρασίας αυτής κατά 10 0C οδηγεί σε μείωση της ηλεκτρικής του απόδοσης κατά 15%. Σκόπιμη λοιπόν είναι η λειτουργία ενός φ/β συστήματος σε όσο το δυνατόν χαμηλότερη θερμοκρασία ώστε η λειτουργία τους να είναι πιο αποδοτική. Η ηλεκτρική απόδοση του φ/β κυμαίνεται από 5%-15% ανάλογα με τον τύπο τους και τις δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, που είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου.

### **Υβριδικό Φωτοβολταϊκό/θερμικό (PV/T) σύστημα**

Το σύστημα αυτό είναι συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλαισίων με θερμικές μονάδες. Είναι υβριδικό και σχεδιάζεται έτσι ώστε να πετυχαίνεται εκτός από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και απολαβή θερμότητας από το φωτοβολταϊκό μέσω της φυσικής η εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ενός ρευστού (αέρας η νερό). Σε αυτό οδήγησε το γεγονός ότι τα μέρη στα οποία θα μπορούσαν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά (κτίρια, θερμοκήπια κλπ) δεν έχουν ανάγκη μόνο σε ηλεκτρισμό αλλά και σε θερμική ενέργεια. Τα υβριδικό φωτοβολταϊκό/θερμικό σύστημα (PV/T) αποτελείται από δυο επιμέρους μονάδες, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και τον θερμικό συλλέκτη, με τις οποίες επιδιώκεται η πλέον αποδοτική αξιοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη. Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού λειτουργεί ως απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας τόσο για το φωτοβολταϊκό όσο και για τον συλλέκτη. Ένα μικρό ποσοστό της απορροφούμενης ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό, περίπου 70% μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι το φωτοβολταϊκό μπορεί να διατηρείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας, ενώ παράλληλα η απαγόμενη θερμότητα καλύπτει θερμικές ανάγκες. Η απόδοση ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού είναι περίπου 10% σε ηλεκτρισμό και 30% σε θερμότητα. Η μελέτη των υβριδικών PV/T ξεκίνησε από τους Kern and Russell (1978), και μέχρι σήμερα υπάρχουν αρκετές μελέτες που επικεντρώθηκαν στην θεωρητική και πειραματική μελέτη των συστημάτων με σκοπό την βελτίωση της θερμικής και ηλεκτρικής τους απόδοσης (Cox and Raghuraman 1985, Huang et al 2001).

### 3.2.4 Συγκέντρωση ηλιακής ενέργειας

Έχουν μελετηθεί και δοκιμαστεί αρκετοί τύποι ηλιακών συγκεντρωτικών συσκευών, συστημάτων και διατάξεων που περιλαμβάνουν κάτοπτρα, φακούς η συνδυασμό τους, και συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε επίπεδους, κυλινδρικούς, σφαιρικούς η και σύνθετους απορροφητές. Η διαφορά στον τρόπο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας διαχωρίζει αυτά τα ηλιακά συστήματα σε τρεις γενικές κατηγορίες:

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν συνήθως κάτοπτρα, που ενισχύουν λίγο την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην απορροφητική επιφάνεια. Στα συστήματα αυτά η συγκέντρωση που μπορεί να επιτευχθεί είναι αρκετά μικρή και η συνεισφορά των κάτοπτρων έγκειται στην μείωση του κόστους του ηλιακού συστήματος και στην βελτίωση της αποδοτικής της λειτουργίας, η οποία συνήθως δεν υπερβαίνει τα όρια των χαμηλών θερμοκρασιών. Στα συστήματα αυτά αξιοποιείται η άμεση και μεγάλο μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας (επίπεδα κάτοπτρα).

Στην δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τα γραμμικής η κυκλικής γεωμετρίας ηλιακά συγκεντρωτικά συστήματα, στα οποία τα συγκεντρωτικά μέσα που διαθέτουν συγκεντρώνουν την προσπίπτουσα παράλληλη δέσμη ηλιακών ακτίνων σε ευθεία γραμμή ή σε σημείο αντίστοιχα στο επίπεδο εστίασης τους, επιτυγχάνοντας σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του απορροφητή και δίνοντας έτσι την δυνατότητα αποδοτικής λειτουργίας σε περιοχές μέσων και υψηλών θερμοκρασιών αντίστοιχα. Στα συστήματα αυτά συλλέγεται κύρια η άμεση ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα την αναγκαιότητα ενός μηχανισμού προσανατολισμού μέρους η όλης της συσκευής για παρακολούθηση του ήλιου (φακοί Fresnel, παραβολοειδές κάτοπτρο).

Στην τρίτη κατηγορία τέλος εντάσσονται τα συστήματα, στα οποία η συγκέντρωση επιτυγχάνεται με πολλά επίπεδα κάτοπτρα που συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε απορροφητή στην κορυφή ενός πύργου (ηλιακοί πύργοι) για τελική χρήση στην παραγωγή ηλεκτρισμού και ο συνδυασμός επίπεδων κατόπτρων και παραβολικών κατόπτρων για την επίτευξη πολύ υψηλής συγκέντρωσης και θερμοκρασίας για την επεξεργασία υλικών (ηλιακός φούρνος).

### 3.2.5 Φακοί Fresnel

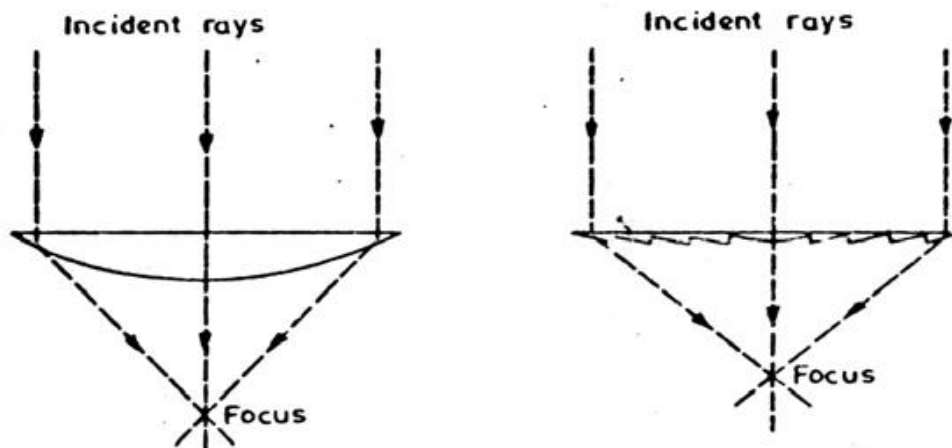
Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας πριν την απορρόφηση και η μετέπειτα μετατροπή της σε χρήσιμη ενέργεια γίνεται όλο και πιο σημαντική για τις πρακτικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας. Οι κύριες αιτίες για συγκέντρωση φωτός είναι δύο: το υψηλό κόστος των μετατροπέων της ηλιακής ενέργειας κάνει προτιμότερη την συλλογή φωτός χρησιμοποιώντας ένα οπτικό στοιχείο χαμηλού κόστους και μεγάλου διαμετρήματος και συγκέντρωση του φωτός πάνω σε έναν μετατροπέα μικρότερης επιφάνειας και δεύτερον σε πολλές περιπτώσεις η αποδοτικότητα της διαδικασίας μετατροπής αυξάνει όταν μεγαλώνει η πυκνότητα της ακτινοβολίας του προσπίπτοντας φωτός πάνω στον μετατροπέα. Στην προηγούμενη παράγραφο έγινε διάκριση των ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι φακοί Fresnel ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων που είναι γραμμικά στοιχεία και που συγκλίνουν μια προσπίπτουσα παράλληλη δέσμη ηλιακών ακτινών σε μια ευθεία γραμμή ή ζώνη στο επίπεδο εστίασης τους. Οι γραμμικοί συγκεντρωτές είναι φτιαγμένοι από ανακλαστικά ή διαθλαστικά υλικά και είναι συχνά προτιμότεροι έναντι των στοιχείων κυκλικής γεωμετρίας, εξαιτίας της απλότητας τους και των χαμηλών απαιτήσεων ευθυγράμμισης.

Στα συγκεντρωτικά συστήματα ηλιακής ενέργειας η πηγή ακτινοβολίας διαδίδεται κατά μήκος ενός μονοπατιού στο εγκάρσιο επίπεδο ενός γραμμικού άξονα. Η ανάλυση συνεπώς απλοποιείται στον δισδιάστατο χώρο αυτού του επιπέδου. Σ' αυτήν την περίπτωση, ο λόγος συγκέντρωσης  $C(\theta_0)$  ορίζεται ως:  $C(\theta_0) = A/a$  όπου  $A$  είναι το πλάτος του διαμετρήματος εισόδου του απορροφητή και  $a$  αναπαριστά το εξερχόμενο διαμέτρημα ή το πλάτος του μετατροπέα στον οποίο η ακτινοβολία συγκεντρώνεται. Το μέγιστο δυνατό όριο της συγκέντρωσης γίνεται όταν:  $C(\theta_0) \leq 1/\sin\theta_0$

Όπου  $\theta_0$  είναι το μισό της γωνίας υποδοχής της εισερχόμενης ακτινοβολίας.

## Φακοί Fresnel

Ο φακός **Fresnel** ο οποίος συμπεριφέρεται όπως ο συμβατικός σφαιρικός φακός είναι φτιαγμένος από ένα λεπτό επίπεδο φύλλο από διαφανές υλικό έχοντας ομόκεντρα πρισματικά αυλάκια χαραγμένα στην μια η και στις δυο πλευρές.



Εικόνα 9: Συμβατικός φακός και φακός Fresnel

Είναι δύσκολη η διαμόρφωση ενός φακού Fresnel από γυαλί, διότι η υψηλή έκταση της επιφανείας του γυαλιού εμποδίζει τη συμβατότητα και στην παραμικρή λεπτομέρεια της κατασκευής. Έτσι η εντατική ανάπτυξη και εξάπλωση της χρήσης των φακών **Fresnel** άρχισε μόλις το 1949 με την ανακάλυψη των οπτικών πλαστικών τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν σε φακούς Fresnel, ιδανικοί για δημιουργία ειδώλου, έχοντας περισσότερα από 20 αυλάκια ανά mm. Τα πλαστικά είναι ιδιαίτερος χρήσιμα διότι ένα φύλλο μπορεί να πιεσθεί θερμικά η να εκχυθεί υπό πίεση σε εκμαγείο έχοντας γυαλισμένες-λείες πλευρές. Εξαιτίας των πολλών και ελκυστικών χαρακτηριστικών, του μικρού όγκου και βάρους, της σχετικά μεγάλης διαμέτρου, της μικρής εστιακής απόστασης  $f$  και του χαμηλού κόστους, οι φακοί Fresnel έχουν επεκταθεί για πολλές εφαρμογές. Εντούτοις με λίγες εξαιρέσεις, ο σχεδιασμός των φακών Fresnel δίνει έμφαση σε εφαρμογές εστίασης και προβολής. Αυτό οφείλεται στις συγκεντρωτικές του ικανότητες που είναι πολύ σημαντικές στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας. Όταν ο φακός χρησιμοποιείται ως συγκεντρωτής με τα αυλάκια προς τα πάνω (δηλ. προς την μεριά του ήλιου) η απώλεια είναι μεγάλη εξαιτίας του "blocking" αποτέλεσμα της κάθετης πλευράς των αυλακών και λόγω της σκόνης που συσσωρεύεται γρήγορα σε τέτοιο ανάγλυφο επίπεδο. Από την άλλη



πλευρά αν τα αυλάκια είναι στραμμένα προς τα κάτω, σοβαρές παρεκκλίσεις εκτός αξόνων συμβαίνουν, εμποδίζοντας καλή συγκέντρωση εκτός από πολύ μικρές γωνίες πρόσπτωσης (Kritchman et al, 1979a). Εν συνεχεία όμως ο σχεδιασμός των φακών βελτιώθηκε διότι οι Kritchman et al (1979b) έφτιαξαν ένα συμμετρικό φακό που αποφεύγει αυτά τα προβλήματα. Αυτός ο νέος φακός Fresnel αν και είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να έχει τα αυλάκια στραμμένα προς τα κάτω για να εμποδίζεται το "blocking", διαχειρίζεται παρόλα αυτά την διατήρηση υψηλής συγκέντρωσης ακόμα και για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης. Ο σχεδιασμός μοιάζει στα ιδανικά συγκεντρωτικά κάτοπτρα του R. Winston. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δισδιάστατη περίπτωση των γραμμικών συγκεντρωτικών στοιχείων.

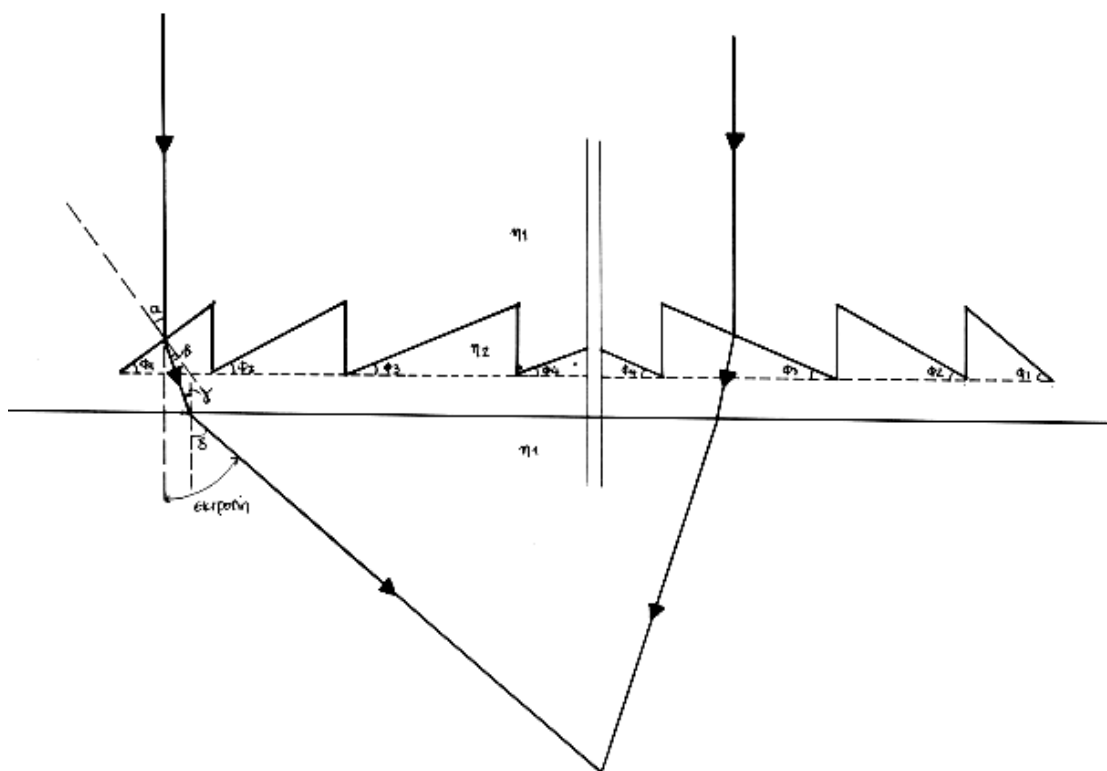
### **Ιστορική Αναδρομή: Φακοί Fresnel.**

Η προέλευση των φακών Fresnel (Miller et al, 1951) χρονολογείται από τις αρχές του 18ου αιώνα όταν ο Abbe Rochon κατασκεύασε ένα φακό με ομόκεντρα αυλάκια. Η πραγματική ανάπτυξη ενός «συγκεντρωτικού κλιμακωτού» τύπου φακών δεν έπιασε μέχρι που ο Fresnel συνέλαβε την ιδέα να κατασκευάσει τέτοιους φακούς και έφτιαξε μεγάλο αριθμό για την χρήση ως φανοστάτες. Το όνομα φακός Fresnel δόθηκε σε αυτό τον τύπο φακού και έχει παραμείνει από εκείνη την περίοδο. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή αυτών των φακών ήταν το γυαλί και στοιχεία εκμαγείου γυαλιού, εμφάνιζε όμως δυσκολίες στη διαμόρφωσή του σε καλούπι ώστε να προσαρμόζεται σε τέλειο πρότυπο αυλακιών σε σχηματισμό φακού μεγάλης διαμέτρου. Οι φακοί Fresnel χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου οι γυάλινοι συμπαγείς φακοί μεγάλου διαμετρήματος δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαιτίας του βάρους, του όγκου και του κόστους. Οι βελτιωμένες τεχνικές παραγωγής έχουν αναδείξει χρήσεις για αυτούς τους φακούς από απλούς συγκεντρωτές σε μεγάλου διαμετρήματος τηλεσκόπια, έως συλλέκτες ηλιακής ενέργειας σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές για παραγωγή ενέργειας.

## Θεωρία των Φακών Fresnel

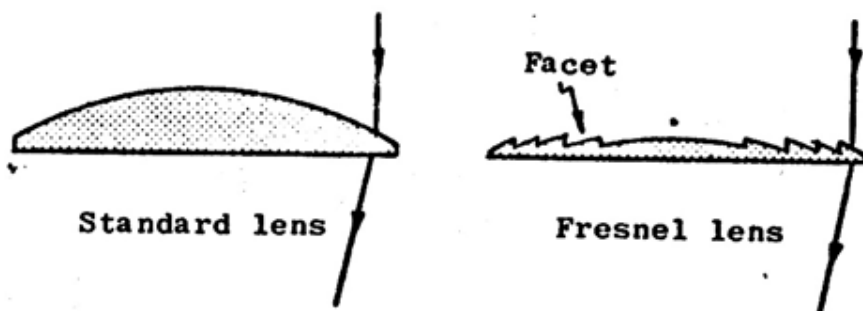
Οι φακοί Fresnel είναι απλά μια ακολουθία πρισμάτων που η μεταξύ τους απόσταση μπορεί να είναι τόσο μικρή όσο λίγα δέκατα του χιλιοστού και να εκτείνονται σε μήκος αρκετών εκατοστών. Η γωνία κάθε πρίσματος είναι φτιαγμένη έτσι ώστε κάθε ένα να διαθλά το φως με την ίδια γωνιακή ποσότητα όπως ένας κανονικός σφαιρικός φακός του ίδιου εστιακού μήκους. Στην αρχή και οι δυο πλευρές του φακού Fresnel μπορούν να αυλακωθούν, αλλά πρακτικά μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει τους φακούς κρατώντας την μια επιφάνεια λεία. Οι φακοί Fresnel μπορούν επίσης να χρησιμοποιούνται με δυο τρόπους- με τα αυλάκια στην πίσω πλευρά ή με τα αυλάκια στην μπροστινή πλευρά.

Η συγκεντρωτική λειτουργία των Fresnel φαίνεται στο σχήμα 10 και βασίζεται στον νόμο του Snell :  $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ ,  $n_2 \sin \gamma = n_1 \sin \delta$ ,  $n_1, n_2$ , δείκτες διάθλασης αέρος και γυαλιού αντίστοιχα και  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots$  οι αντιστοιχούσες θλαστικές γωνίες έκαστου πρίσματος με συνθήκη  $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3 > \dots$



Εικόνα 10: Σχηματική διάταξη Γραμμικών Φακών Fresnel

Γενικά η οπτική συμπεριφορά ενός φακού Fresnel είναι σχεδόν ισοδύναμη με έναν συνηθισμένο φακό Fresnel με τη διαφορά στην καθαρότητα του ειδώλου. Γι' αυτό οι φακοί Fresnel χαρακτηρίζονται ως φακοί μη ευκρινούς ειδώλου (non imaging) . Η σχέση φαίνεται καθαρά στο ακόλουθο σχήμα



Εικόνα 11:Σχεδιασμός των αυλακιών σε σχέση με έναν συμβατικό φακό

Καθένα από τα αυλάκια ενός επιπεδόκυρτου φακού έχει την γωνία και την καμπυλότητα του αντιστοίχου τμήματος του διαμετρήματος ενός συμβατικού φακού. Στον σχεδιασμό ενός φακού Fresnel η γωνία  $\alpha$  του αυλακιού υπολογίζεται ως συνάρτηση ανεξαρτήτων μεταβλητών: της ακτίνας  $r$  μέχρι το κέντρο του αυλακιού, της εστιακής απόστασης  $f$ , του πάχους του φακού  $t$ , του πλάτους  $w$  του αυλακιού και του δείκτη διάθλασης  $n$  του υλικού ως προς τον αέρα.

Στον Fresnel οι έδρες του αυλακιού δεν χρειάζεται να είναι καμπυλωμένες αλλά μόνο κεκλιμένες κατά την σωστή γωνία προκειμένου να διαθλούν την ακτίνα του φωτός στην εστία, επειδή το μέγεθος της απορροφούσας επιφάνειας είναι γενικά πολύ μεγαλύτερο από το πλάτος της Fresnel ζώνης του φακού. Τα αυλάκια ενός φακού Fresnel δημιουργούν κάποιο σφάλμα στην ακρίβεια της εστίασης. Κατά κανόνα υπάρχει κάποια στρογγύλευση των κορυφών η οποία διαχέει το φως έξω από την ζώνη ειδώλου. Επιπλέον για λοξές γωνίες από τον ήλιο έως τους φακούς κάποιο φως θα προσπέσει στην κατακόρυφη πλευρά των αυλακιών του φακού και θα διαθλασθεί έξω από την ζώνη σχηματισμού ειδώλου.

### **Γραμμικοί Φακοί Fresnel (LFLs)**

Οι Γραμμικοί φακοί Fresnel (Linear Fresnel Lenses, LFLs) είναι ηλιακοί συγκεντρωτές με γραμμικά στοιχεία που μετατρέπουν μια προσπίπτουσα παράλληλη δέσμη ηλιακών ακτινών σε μια ευθεία γραμμή ή ζώνη στο επίπεδο εστίασης τους. Οι Nelson et al (1975) έχουν αναλυτικά μελετήσει την συμπεριφορά ενός εποχιακά ρυθμιζόμενου ή ευθυγραμμισμένου ως προς ένα άξονα γραμμικού φακού Fresnel συγκεντρωτή, με τον κύριο άξονα του στην διεύθυνση Ανατολή-Δύση. Ο φακός θεωρείται προσανατολισμένος στην διεύθυνση Α-Δ και κανονικός ως προς την διεύθυνση των ακτινών του ηλίου το μεσημέρι. Έχει παρατηρηθεί ότι καθώς ο χρόνος προχωρά μετά το μεσημέρι, η διαθλώμενη εικόνα μετακινείται και κατά την διεύθυνση του άξονα του φακού και κάθετα προς αυτήν. Ακόμα και στις ισημερίες που το ποσό ακτινοβολίας είναι σταθερό όλη μέρα, η διαθλώμενη εικόνα μετακινείται κατά μήκος του άξονα της και επεκτείνεται κατά πλάτος καθώς ο ήλιος απομακρύνεται από την μεσημεριανή του θέση. Αυτή η επίδραση μεγαλώνει τις άλλες ημέρες. Εξαιτίας αυτής της επίδρασης ο αριθμός των χρήσιμων για συλλογή ωρών  $h$ , σε έναν τέτοιο φακό γίνεται μικρότερος. Συνεπώς για να συλλέξουμε περισσότερη ακτινοβολία και για περισσότερες ώρες, το πλάτος του απορροφητή μπορεί να αυξηθεί αλλά στην περίπτωση αυτή ο λόγος της συγκέντρωσης μειώνεται. Δυο εναλλακτικές μέθοδοι για τον σχεδιασμό του πλάτους και της θέσης του απορροφητή (receiver) προτείνονται από τους Nelson et al (1975). Στην πρώτη μέθοδο τα αυλάκια σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε το μεσημέρι η διαθλώμενη ακτινοβολία από την αριστερή πλευρά του φακού να είναι προσπίπτουσα στην αριστερή εξωτερική πλευρά του απορροφητή και η διαθλώμενη ακτινοβολία από την δεξιά πλευρά του φακού να είναι προσπίπτουσα στην δεξιά εξωτερική πλευρά του απορροφητή. Στην δεύτερη μέθοδο τα αυλάκια σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε στο ηλιακό μεσημέρι όλες οι διαθλώμενες ακτίνες να πέφτουν στο κέντρο του απορροφητή. Κατά τον πρώτο σχεδιασμό η διαθλώμενη εικόνα μετακινείται κάθετα στον απορροφητή καθώς περνάει ο χρόνος μετά το μεσημέρι στις ισημερίες και είναι πιο ωφέλιμη (πλεονεκτική) σε τέτοιες μέρες. Η δεύτερη μέθοδος είναι καλύτερη στις ημέρες ηλιοστάσιου διότι αν θεωρήσουμε τη συνδυασμένη επίδραση της μεταβολής

του ηλιακού ύψους με τον ήλιο, η διαθλώμενη εικόνα παραμένει περισσότερο στον απορροφητή. Συνιστάται ότι σε περίπτωση ευθυγράμμισης ως προς ένα άξονα η πρώτη μέθοδος δίνει καλύτερη συμπεριφορά.

Στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας δυο τύποι γραμμικών φακών Fresnel είναι περισσότερο γνωστοί. Ο πρώτος είναι ένας επίπεδος φακός με τα αυλάκια προς τα πάνω (προς τον ήλιο) και την λεία επιφάνεια προς τα κάτω με τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης. Ως αποτέλεσμα αυτών των δυσκολιών οι σχεδιαστές κατέφευγαν σε έναν φακό με το αυλακωμένο μέρος να είναι προς τα κάτω και την καθαρή επιφάνεια προς τα πάνω. Έναν τέτοιο φακό όμως, υποφέρει από σχετικά υψηλές επιφανειακές ανακλάσεις και από μεγάλες εκτός αξόνων παρεκκλίσεις. Οι απώλειες ανάκλασης οδηγούν σε χαμηλή αποδοτικότητα και οι εκτός αξόνων παρεκκλίσεις καταλήγουν σε έναν χαμηλό λόγο συγκέντρωσης. Για να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα οι Kritchman et al (1979b) και οι Kaminar and Curchod (1990) θεώρησαν έναν κυρτό γραμμικό φακό Fresnel.

## Κυρτοί Γραμμικοί Φακοί Fresnel

Η οπτική συμπεριφορά ενός γραμμικού φακού Fresnel μπορεί να βελτιωθεί εάν η λεία επιφάνεια του είναι ελαφρώς κυρτωμένη παρά επίπεδη. Αυτή η καμπυλότητα εισάγει μια δεύτερη ενεργή επιφάνεια για την διάθλαση και αναδιεύθυνση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Σε έναν επίπεδο φακό η μείωση της εστιακής απόστασης  $f$  υποβαθμίζει την οπτική συμπεριφορά του φακού, ενώ σε ένα κυρτωμένο φακό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερη εστιακή απόσταση  $f$  χωρίς καμία υποβάθμιση των οπτικών ιδιοτήτων, συνεπώς μειώνοντας την δομική υποστήριξη και το μέγεθος και το κόστος του μηχανισμού ευθυγράμμισης. Για έναν αποδοτικό και πρακτικό φακό Fresnel για την συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας, οι δυο βασικές συνθήκες που πρέπει να πληρούνται είναι οι εξής:

Πρώτον, η εστιακή απόσταση  $f$  πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη και δεύτερον, τα αυλάκια πρέπει να είναι στραμμένα προς τα κάτω για να μειώνεται το πρόβλημα του "Blocking". (Leutz et al, 1999) Σ' αυτόν τον σχεδιασμό (ο οποίος εξαρτάται από το δοθέν πεδίο της γωνίας πρόσπτωσης  $\pm\theta$  υπό την οποία το φως προσπίπτει) για ένα κυρτό δισδιάστατο φακό Fresnel, που συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ένας "ιδανικός" συγκεντρωτής τα ακόλουθα χαρακτηριστικά που τον καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλο για συγκέντρωση ηλιακής ενέργειας είναι:

- Η εξωτερική επιφάνεια είναι λεία
- Για ένα δεδομένο οπτικό πεδίο  $\pm\theta$  η συγκέντρωση πλησιάζει την μέγιστη επιτρεπτή σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής, δηλ. επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή γεωμετρική συγκέντρωση.
- Η γωνία ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτίνα και την πρώτη επιφάνεια είναι πολύ κοντά στην γωνία ανάμεσα στην μεταδιδόμενη ακτίνα και την επιφάνεια με τους αύλακες και ως εκ τούτου ελαχιστοποιούνται οι απώλειες λόγω ανάκλασης.
- Το κοίλο-καμπύλο σχήμα προσθέτει υψηλή μηχανική ευστάθεια και δύναμη στον φακό.
- Παρόλο που οι ιδιότητες συγκέντρωσης και μετάδοσης φθίνουν καθώς η απόκλιση του ήλιου παρεκτρέπεται-παρεκκλίνει από το επίπεδο της εγκάρσιας διατομής του φακού, η μείωση αυτή δεν είναι τόσο σοβαρή όσο στην περίπτωση των επίπεδων φακών Fresnel.

### 3.3 Συμπεράσματα

Είναι λοιπόν εμφανές ότι η οπτική έχει πολλές εφαρμογές σε φαινόμενα που αφορούν το περιβάλλον όπως αυτά αναφέρθηκαν στην παράγραφο της ατμοσφαιρικής οπτικής, εξηγώντας κάποια πολύ σημαντικά φαινόμενα που παρατηρούνται στην καθημερινή μας ζωή. Όπως διαπιστώθηκε κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση των φαινομένων, η οπτική βασιζόμενη στις γενικές αρχές της γεωμετρικής οπτικής και της αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη, εξηγεί κάποια πολύ σημαντικά φαινόμενα όπως το χρώμα του ουρανού, ο αντικατοπτρισμός και το είδωλο που παίρνουμε με την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμές επιφάνειες όπως δρόμοι, καθώς και η σκέδαση του φωτός κατά τη διέλευση της στην ατμόσφαιρα με διάφορα σωματίδια μικρού ή μεγαλύτερου μεγέθους. Στη συνέχεια γίνεται μια λεπτομερής αναφορά της χρήσης της ηλιακής ενέργειας και της άμεσης σχέσης που έχει με την γεωμετρική οπτική. Η σχέση αυτή εκφράζεται άμεσα με την εφαρμογή και χρήση των φακών Fresnel. Οι φακοί Fresnel είναι απλά μια ακολουθία πρισμάτων που η μεταξύ τους απόσταση μπορεί να είναι τόσο μικρή όσο λίγα δέκατα του χιλιοστού και να εκτείνονται σε μήκος αρκετών εκατοστών. Η γωνία κάθε πρίσματος είναι φτιαγμένη έτσι ώστε κάθε ένα να διαθλά το φως με την ίδια γωνιακή ποσότητα όπως ένας κανονικός σφαιρικός φακός του ίδιου εστιακού μήκους. Στην αρχή και οι δυο πλευρές του φακού Fresnel μπορούν να αυλακωθούν, αλλά πρακτικά μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει τους φακούς κρατώντας την μια επιφάνεια λεία. Η επεξεργασία και η χρήση των φακών Fresnel έχει άμεση εφαρμογή στα φωτοβολταικά συστήματα για φωτισμό και παροχή θέρμανσης σε κτίρια. Οι εφαρμογές των φακών Fresnel σε φωτοβολταικά αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο. Επίσης στο Κεφάλαιο 4, γίνεται και μια αναφορά της χρήσης της οπτικής σε κτίρια, δείχνοντας τη σημασία του κλάδου αυτού στην εξέλιξη των έξυπνων κτιρίων και στη μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από την κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων.

## Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογές και Συμπεράσματα

### 4.1 Εφαρμογή των φακών Fresnel στα Φ/Β συστήματα

Στοχεύοντας στον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας των κτιρίων επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα και ενεργειακό κέρδος από το πλεόνασμα της ηλιακής ακτινοβολίας εξετάζεται η εφαρμογή των γραμμικών φακών Fresnel ως υλικό κάλυψης επιφανειών ενός κτιρίου. Οι γραμμικοί φακοί Fresnel, συνδυάζονται με γραμμικούς πολύ-χρηστικούς απορροφητές που μετατρέπουν την συγκεντρωθείσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, ηλεκτρισμό η και τα δύο. Σε χαμηλή ένταση ακτινοβολίας, λόγω της θέσης του ηλίου σχετικά με την οροφή του κτιρίου (χαμηλό ύψους κτίριο) ή εξαιτίας σύννεφων, οι απορροφητές μπορούν να τεθούν εκτός της ζώνης εστίασης, αφήνοντας το φως να εισέλθει στον εσωτερικό χώρο και να διατηρήσει τον φωτισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Κατά την θερμική μετατροπή με τη χρήση θερμικών συλλεκτών (TC) η μέγιστη απόδοσή του συστήματος κυμαίνεται μεταξύ 60% και 70%. Η συγκεντρωθείσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται και αυξάνει την θερμοκρασία ενός απορροφητή τύπου σωλήνα ή απορροφητή πτερυγίου με σωλήνα. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ενός κυκλοφορούντος ρευστού, που συνήθως είναι το νερό και το υδραυλικό σύστημα συνδέεται με αποθήκη για μετέπειτα χρήση. Όταν εφαρμόζεται αυτό το σύστημα, θεωρούμε ότι η θέρμανση του νερού γίνεται κυρίως το μεσημέρι, που υπάρχει πλεόνασμα ηλιακής ακτινοβολίας.

Το αποθηκευμένο ζεστό νερό δύναται να κυκλοφορεί διαμέσου των σωλήνων του απορροφητή στην διάρκεια της νύχτας συνεισφέροντας στις θερμικές ανάγκες του κτιρίου και διατηρώντας την θερμοκρασία του αέρα σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Στην περίπτωση της χρήσης φωτοβολταϊκών ως απορροφητές, η απόδοση είναι 5%- 15% ανάλογα με τον τύπο του φ/β και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τις ηλεκτρικές ανάγκες του κτιρίου, να μεταφερθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο ή να αποθηκευτεί σε μπαταρίες.

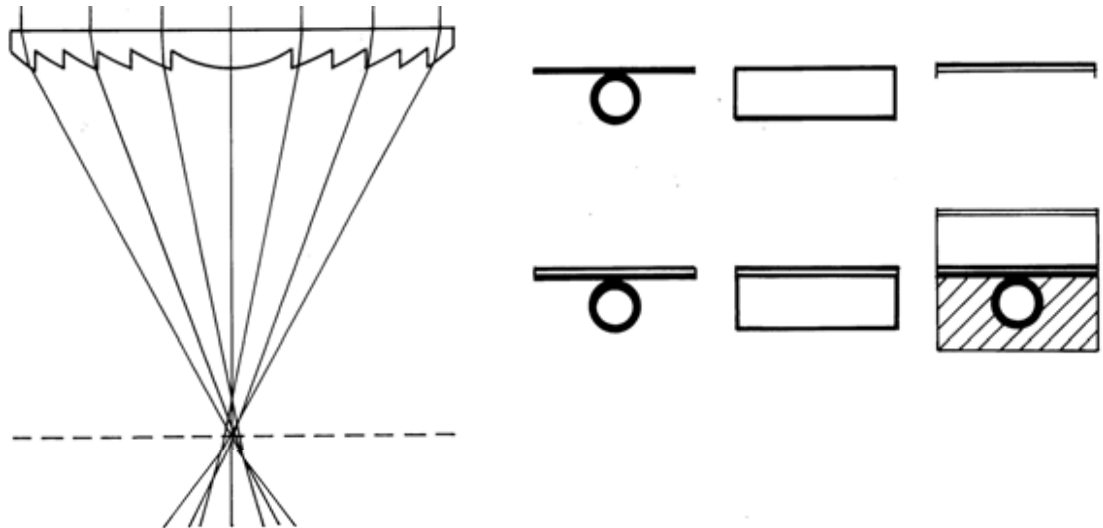
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (PV) μετατρέπουν ένα μικρό μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, με το μεγαλύτερο μέρος αυτής να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτό το γεγονός αυξάνει την θερμοκρασία τους, με αποτέλεσμα η αποδοτικότητα τους να μειώνεται. Φωτοβολταϊκά και θερμικά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν σε μια μονάδα αποτελώντας το υβριδικό PVT σύστημα, το οποίο



παρέχει ταυτόχρονα ηλεκτρισμό (απόδοση 10% για pc-Si) και θερμότητα (απόδοση 30% για 50 0C) και μπορεί να διατηρήσει την απόδοση του PV σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο (Tripanagnostopoulos et al, 2001, 2002, 2005). Στις εφαρμογές PVT συστημάτων και θεωρώντας ότι ο ηλεκτρισμός είναι η προτεραιότητα τους, η λειτουργία των PV στοιχείων σε χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η ηλεκτρική αποδοτικότητα των PV στοιχείων σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Αυτή η απαίτηση περιορίζει το λειτουργικό εύρος της θερμικής μονάδας του PVT συστήματος σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και η εξαγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμικές ανάγκες χαμηλότερης θερμοκρασίας. Θεωρώντας την ενσωμάτωση των φακών Fresnel-PVT συστημάτων στην οροφή του κτιρίου είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε την χρήσιμα παραγομένη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μαζί με τα οφέλη στον έλεγχο φωτισμού και στο κέρδος αερισμού για να επιτευχθεί τελικά αποδοτικό κόστος εγκατάστασης.

Στην εικόνα 12 παρουσιάζεται η σχεδιαστική αρχή ενός φακού Fresnel, ο οποίος είναι μη ευκρινούς ειδώλου συγκεντρωτής και επομένως οι διαθλώμενες ακτίνες σχηματίζουν ένα διαχεόμενο είδωλο του ηλίου στην εστιακή απόσταση. Στην ίδια εικόνα, παρουσιάζονται έξι τύποι των δυνατών απορροφητών ηλιακής ακτινοβολίας, όπου στην πρώτη γραμμή είναι ο απορροφητής τύπου σωλήνα και απορροφητής πτερυγίου με σωλήνα για θέρμανση νερού, ο αγωγός αέρα για θέρμανση αέρα και ο φωτοβολταϊκού τύπου απορροφητής.

Στην δεύτερη γραμμή υπάρχουν οι υβριδικού τύπου PVT απορροφητές, για θέρμανση νερού, για θέρμανση αέρα και επίσης για θέρμανση νερού με επιπλέον γυάλινο κάλυμμα και θερμική μόνωση (Tripanagnostopoulos et al, 2004).



Εικόνα 12:Φακός Fresnel και εναλλακτικοί τύποι φωτοβολταϊκού (PV) και υβριδικού φωτοβολταϊκού (PVT) τύπου.

## 4.2 Χρήση εφαρμογών της οπτικής σε κτίρια

Η παράγραφος αυτή μελετά τις εφαρμογές της οπτικής στην διαχείρισης ενέργειας κτιρίων, δείχνοντας τον τρόπο χρήσης για μείωση κατανάλωσης ενέργειας.

### 4.2.1 Φως Και Κτίρια: Σκοπός Μείωσης Κατανάλωσης Ενέργειας

Η αποτελεσματική ενσωμάτωση ενός τεχνητού συστήματος φωτισμού και το φως της ημέρας στα κτίρια συμβαίνει μόνο όταν το σύστημα τεχνητού φωτισμού μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί ανάλογα με τα επίπεδα της ημέρας φθάνοντας την επιφάνεια εργασίας των χώρων. Πολλές έρευνες στο εξωτερικό έχουν εξετάσει την τεχνολογία από τις οπτικές ίνες ως μέσο για τη συμπλήρωση του φωτός της ημέρας, η οποία προέρχεται από το πίσω μέρος των δωματίων με σκοπό την και τη βελτίωση του φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας με τη χρήση ενός ελεγχόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού. Μια τέτοια προσέγγιση θα συμβάλει όχι μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα από επτά πόλεις στη Βραζιλία και μία στο Ηνωμένο Βασίλειο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την αποτελεσματική ένταξη και χρήση του φωτός της ημέρας από τα παράθυρα των κτιρίων με το σύστημα τεχνητού φωτισμού, η εξοικονόμηση ενέργειας κυμαίνεται από 17,7% έως και 92,0% για τις επτά πόλεις στη Βραζιλία, ενώ για το Ηνωμένο Βασίλειο η εξοικονόμηση θα μπορούσε να κυμανθεί από 10,8% έως 44,0%. Με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας οπτικών ινών στο σύστημα, οι δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό βρέθηκε να κυμαίνεται από 8,0% έως 82,3% για τις πόλεις στη Βραζιλία και από 56,0% έως 89,2% στο Ηνωμένο Βασίλειο. Για το Ηνωμένο Βασίλειο, είναι δυνατό επίσης ότι θα υπάρξει μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από 122 kg/m<sup>2</sup> από την επιφάνεια της κατασκευής ανά έτος, και ότι αυτό θα αυξηθεί σε 138 kg/m<sup>2</sup> ανά έτος εάν οπτικές ίνες επρόκειτο να εγκατασταθεί. Ο ρόλος των οπτικών ινών είναι να μπορέσει να δεσμεύσει το προσπίπτον φως από τα παράθυρα ακόμα και αν αυτό είναι πολύ ασθενές όπως θα συνέβαινε στο Ηνωμένο Βασίλειο όπου η ηλιοφάνεια είναι πολύ χαμηλή, και στη συνέχεια να μεταφερθεί και να ενισχυθεί από τις οπτικές ίνες. Το ενισχυμένο αυτό σήμα θα επαναδοθεί στο εσωτερικό του κτιρίου, αποφεύγοντας

την περαιτέρω χρήση του φωτισμού από το ηλεκτρικό δίκτυο, κάτι που γινόταν έως τώρα.

#### **4.2.2 Αισθητήρες Οπτικών Ινών και Έξυπνα Κτίρια**

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά σε ένα τομέα πολύ σύγχρονο που αφορά την εξέλιξη των 'έξυπνων' κτιρίων. Ένα έξυπνο κτίριο είναι αφορά την ένταξη, της τεχνολογίας και ενεργειακών συστημάτων που μπορεί να περιλαμβάνουν τη δημιουργία αυτοματισμών, ασφάλεια ζωής, τηλεπικοινωνίες, συστήματα διευκόλυνσης των χρηστών και τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας των εγκαταστάσεων. Τα Έξυπνα κτίρια παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το κτίριο ή χώρο εντός ενός κτιρίου για να επιτραπεί η ανέγερση ιδιοκτήτη ή τον ένοικο για τη διαχείριση του κτιρίου ή χώρου. Έξυπνα κτίρια παρέχουν την πιο αποδοτική προσέγγιση για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη των συστημάτων των κτιρίων της τεχνολογίας. Ο παραδοσιακός τρόπος για να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένα κτήριο είναι ο σχεδιασμός, εγκατάσταση, λειτουργία κάθε συστήματος χωριστά.

Ένα έξυπνο κτίριο περιλαμβάνει μια διαφορετική προσέγγιση και ενσωματώνει το σχεδιασμό και την εγκατάσταση των διαφόρων συστημάτων. Αυτή διαδικασία μειώνει τις ελλείψεις στη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής, εξοικονομώντας χρόνο και χρήματα. Ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα ελέγχου αυτοματισμού στα έξυπνα κτίρια είναι οι αισθητήρες φωτός εντός των κτιρίων.

Οι αισθητήρες φωτός ανιχνεύουν το επίπεδο φωτισμού σε ένα χώρο και τον αμυδρό τεχνητό φωτισμό κατά περίπτωση, είτε αυτοτελώς, είτε με ένα περιβαλλοντικό σύστημα ελέγχου (EMCS), ώστε να διατηρεί αυτόματα τον φωτισμό σε επιθυμητά επίπεδα σε ένα χώρο. Μπορούν να κάνουν εξοικονόμηση ενέργειας όταν χρησιμοποιούνται από τεχνητό φωτισμό όταν παρατηρούνται υψηλότερα επίπεδα φωτός στο χώρο που προκύπτουν από το φυσικό φως. Σε πολύ φωτεινούς χώρους, οι αισθητήρες φωτός μετρούν τη συνολική ποσότητα του φωτός σε ένα χώρο (τόσο τεχνητό όσο και φυσικό), και προσπαθεί να μειώσει τη χρήση του τεχνητού φωτισμού όταν υπάρχει αύξηση στο φυσικό φως, διατηρώντας πάντα τα επίπεδα φωτισμού του σχεδιασμού του χώρου. Αν και οι αισθητήρες φωτός για τον έλεγχο φωτισμού έχουν βγει στην αγορά τουλάχιστον εδώ και δέκα χρόνια (NEMA 1992), μέχρι σήμερα έχουν επιτύχει σχετικά μικρή διείσδυση στην αγορά (Smart Buildings, 2012).

### 4.3 Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους και κεφάλαια, η οπτική είναι ένας κλάδος που έχει εφαρμογές σε πάρα πολλούς τομείς. Το θέμα της εργασίας αποτελεί μια διαφορετική προσέγγιση του κλάδου τη Οπτικής το οποίο προσπαθεί να παραθέσει τη σημαντικότητα του κλάδου και σε άλλους σύγχρονους τομείς όπως αυτόν των ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιστημών. Το θέμα αυτό είχε σαν σκοπό την διεύρυνση της γνώσης στο τομέα της οπτικής με μια τελείως διαφορετική προσέγγιση, βασιζόμενη όμως πάντα στις πολύ σημαντικές γνώσεις τις φυσικής που αποκτήθηκαν στα χρόνια φοίτησης.

Σκοπός της εργασίας ήταν η εξέταση της χρήσης και εφαρμογών της οπτικής πέραν της μέχρι τώρα καθιερωμένης γνώσης που αποκτήθηκε από τα χρόνια σπουδών στο τμήμα. Η εργασία εξηγεί μια άλλη όψη των εφαρμογών της οπτικής σε τομείς όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιστήμες. Σκοπός της πτυχιακή εργασίας ήταν να εμβαθύνει σε ένα επίκαιρο θέμα εφαρμοσμένης έρευνας ή σε γνωστικό αντικείμενο που έχει άμεση ή έμμεση σχέση με τις μέχρι τώρα σπουδές του τμήματος οπτικής και οπτομετρίας. Γι αυτό και η εργασία αυτή αναλύει την μέχρι τώρα εξέλιξη της οπτικής καθώς και τις τεχνολογίες που ευνόησε, καθώς επίσης και την σχέση της οπτικής με το περιβάλλον και τις αντίστοιχες τεχνολογίες. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνεται η διεύρυνση των γνώσεων της οπτικής σε έναν τομέα διαφορετικό από ότι έχει μελετηθεί έως τώρα. Επίσης, η εργασία αυτή έχει ως στόχο να δείξει την σημαντικότητα της οπτικής όχι μόνο στον τομέα της υγείας, που έχουμε μάθει ως τώρα αλλά και την αξία της, σε έναν ακόμα τομέα, όπως αυτός που εξετάζεται στη παρούσα εργασία. Η μεθοδολογία έρευνας που χρησιμοποιήθηκε είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση, με κριτική ανάλυση και έκθεση συμπερασμάτων, βασισμένα σε κατάλληλες εφαρμογές.

Αρχικά έγινε αναφορά στην άμεση εφαρμογή της οπτικής στην τεχνολογία όπως για παράδειγμα στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και στη χρήση οπτικών ινών, στις οπτικές τεχνολογίες, τα λέιζερ, την πληροφορική και άλλες. Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη του κλάδου της οπτικής βρίσκει πολλές εφαρμογές στην ιατρική, με τις εφαρμογές των λέιζερ στην οπτική και τη βελτίωση όρασης καθώς και εφαρμογές στην δερματολογία. Ευρεία είναι και η εξέλιξη του κλάδου στην πληροφορική ξεκινώντας με την αποθήκευση δεδομένων, μέσω οπτικών μεθόδων, και τη γνωστή

χρήση των CD και των ψηφιακών δίσκων DVD, που διαθέτουν πολλαπλάσια δυνατότητα ψηφιακής απεικόνισης δεδομένων. Σαν εξέλιξη αυτού έρχεται η ολογραφική επεξεργασία εικόνας, ώστε να της αποδοθούν χαρακτηριστικά βάθους προκειμένου να γίνει προβολή της εικόνας σε τρισδιάστατο χώρο. Επίσης γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των οπτικών ινών και των εφαρμογών στη διάδοση πληροφοριών. Ακολουθεί η εξέλιξη των εφαρμογών των οπτικών ινών και στους αισθητήρες οπτικών ινών με χρήση αυτοματισμών για την λήψη και αντίληψη ερεθισμάτων, με σκοπό τη μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και βελτίωση απόδοσης ενεργειακής κατανάλωσης.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας αναφέρονται τα οπτικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα της γης. Αναλύεται πώς δημιουργούνται και εξηγείται ότι οφείλονται στην αλληλεπίδραση των ακτινών του ήλιου με την ύλη-σωματίδια-που βρίσκονται και αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Οι ακτίνες που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις κατά τη διαδρομή τους μέσα από την ατμόσφαιρα και, λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων των αερίων στρωμάτων και συνεπώς και του δείκτη διάθλασής τους. Οι συνεχείς διαθλάσεις προκαλούν τελικά μια καμπυλόγραμμη τροχιά της φωτεινής δέσμης, με αποτέλεσμα το φωτεινό σώμα να παρατηρείται στον ουράνιο θόλο σε μια φαινόμενη θέση και όχι στην πραγματική του θέση.

Επίσης αναλύεται ότι για να περιγραφεί κάθε μια από αυτές τις διαθλάσεις και συνεπώς οι οπτικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας, γίνεται η χρήση του δείκτη διάθλασης ως μιγαδικού αριθμού, καθώς μέσα στην ατμόσφαιρα λαμβάνουν χώρα φαινόμενα διασποράς και απορρόφησης. Σε αυτά τα φαινόμενα προκειμένου για την εξήγησή τους χρησιμοποιούμε το μιγαδικό μέρος του δείκτη διάθλασης. Αυτό έχει σαν συνέπεια λόγω των διάφορων συστατικών και συστάσεων της ατμόσφαιρας να εμφανίζονται διάφορα φαινόμενα όπως διάθλαση στην ατμόσφαιρα, αντικατοπτρισμός, χρώμα ουρανού και ουράνιο τόξο. Συνεπώς η ατμοσφαιρική οπτική ασχολείται με το πώς οι οπτικές ιδιότητες της γήινης ατμόσφαιρας προκαλούν ένα ευρύ φάσμα των οπτικών φαινομένων. Το μπλε χρώμα του ουρανού είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα της σκέδασης Rayleigh που αναλύεται στο ίδιο κεφάλαιο. Επειδή το μπλε φως σκεδάζεται πιο εύκολα από το κόκκινο φως, ο ήλιος παίρνει ένα κοκκινωπό χρώμα όταν παρατηρείται από πιο 'παχιά' σημεία της ατμόσφαιρα, όπως κατά τη διάρκεια μιας ανατολή ή δύση του ηλίου. Επιπρόσθετα σωματίδια στον ουράνιο μπορούν να προκαλέσουν σκέδαση σε διαφορετικά χρώματα και σε

διαφορετικές γωνίες δημιουργώντας πιο λαμπερό ουρανό το σούρουπο και την αυγή (Ahrens (1994).

Στη συνέχεια αναφέρεται το φαινόμενο του αντικατοπτρισμού. Αντικατοπτρισμοί είναι τα οπτικά φαινόμενα στα οποία οι ακτίνες του φωτός κάμπτονται λόγω θερμικών διακυμάνσεων του δείκτη διάθλασης του αέρα, παράγοντας σε μεγάλο βαθμό εκτοπισμένες ή διαστρεβλωμένες εικόνες των μακρινών αντικειμένων. Άλλα οπτικά φαινόμενα που σχετίζονται με αυτό περιλαμβάνουν την επίδραση Novaya Zemlya, όπου ο ήλιος φαίνεται να ανατέλλει νωρίτερα ή αργότερα από ό, τι προβλέφθηκε. Μια θεαματική μορφή της διάθλασης γίνεται με αναστροφή θερμοκρασίας που ονομάζεται Fata Morgana (Young, 1992). Στη συνέχεια εξηγείται το πώς δημιουργείται το ουράνιο τόξο. Το ουράνιο τόξο είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού της εσωτερικής ανάκλασης και διάθλασης του φωτός διασποράς σε σταγόνες βροχής. Επειδή τα ουράνια τόξα φαίνονται στην αντίθετη πλευρά του ουρανού, όπως ο ήλιος, τα ουράνια τόξα είναι πιο έντονα όσο πιο κοντά είναι ο ήλιος στον ορίζοντα λόγω της μεγαλύτερης μεταξύ τους απόστασης (Young, 1992). Ακολουθεί η ανάλυση της χρήσης της οπτικής στην ηλιακή ενέργεια και την πολύ σημαντική χρήση των Φακών Fresnel. Τέλος στο κεφάλαιο 4 δίδονται κάποιες εφαρμογές της οπτικής που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας και τη χρήση των φακών Fresnel. Επίσης αναφέρονται κάποιες χρήσεις της οπτικής στην κατανάλωση ενέργειας μέσω αισθητήρων οπτικών ινών προκειμένου να ανιχνεύεται η ανθρώπινη παρουσία. Τα συστήματα αυτά κλείνουν τα ηλεκτρικά συστήματα τα οποία λειτουργούν μέσα στο κτίριο ακόμα και αν δεν υπάρχει λόγος λειτουργίας, εξοικονομώντας έτσι κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές διοξειδίου άνθρακα.

## Βιβλιογραφία

### Ξένη Βιβλιογραφία

Belessiotis V., Delyannis E., (2000). The History of Renewable energies for Water Desalination. *Desalination*, Vol. 128, pp. 147-159

Briggs, Katharine (1978). "Morgan le Fay." In *Encyclopedia of Fairies: Hobgoblins, Brownies, Boogies, and Other Supernatural Creatures*, p. 303. New York: Pantheon. ISBN 0-394-73467-X.

Collins BL. In: *Windows and people: a literature survey. Psychological reaction to environments with and without windows.* NBS Buildings Science Series, Vol. 70. Washington, DC: NBS, 1975.

Cox C.H. III and Ranghuraman P., (1985). Design considerations for flat-plate photovoltaic/thermal collectors. *Solar Energy*, Vol. 35, pp. 227-241

David K. Lynch, William Charles Livingston (2001). *Color and light in nature.* Cambridge University Press. p. 31. ISBN 9780521775045. <http://books.google.com/?id=4Abp5FdhsKAC&pg=PA31&dq=distant+clouds+snow+covered+mountains+appear+yellow+book#v=onepage&q=distant%20clouds%20snow%20covered%20mountains%20appear%20yellow%20book&f=false>. Retrieved 2011-04-02.

Delyannis E., (2003). Historic Background of Desalination and Renewable energies. *Solar Energy*, Vol. 75, pp. 357-366

Francis de Winter, *Solar Collectors, Energy Storage, and Materials*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1990

Huang B.J. Lin T.H. Hung W.C. and Sun F.S. (2001). Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. *Solar Energy* 70: 443-448

H. D. Young (1992). *University Physics* 8e. Addison-Wesley. ISBN 0201529815. Chapter 34

Kern E. C. and Russel M.C., (1978). Combined Photovoltaics and Thermal Hybrid Collector Systems. Proc. of the 13th IEEE Photovoltaic Specialists, Washington DC, USA, 1978, pp. 1153-1157

Kritchman M. E., Friesem A. A., Yekutieli G., (1979a). Highly Concentrating Fresnel Lenses, *Applied Optics*, Vol.18, pp.2688-2695

Kritchman M. E., Friesem A. A., Yekutieli G., (1979b). Efficient Fresnel Lens for Solar Concentration, *Solar Energy* Vol.22, pp.119-123

LCD Panel Technology Explained, (2012), <http://www.pchardwarehelp.com/guides/lcd-panel-types.php>



Leslie RP, Kroner WM, Givoni B. Light=ventilation wells for large oKce buildings. In: 1986 International Daylighting Conference Proceedings II. Atlanta, GA: ASHRAE, 1989. p. 304–13.

Leslie RP. Core daylighting: building code issues. In: 1986 International Daylighting Conference Proceedings II. Atlanta, GA: ASHRAE, 1989. p. 314–24.

Lighthouses, Illuminants, Lenses Engineering and Augustin Fresnel, An Historical Bibliography, United States Coast Guard.

Miller E. O., Mcleod H. J., Sherwood T. W., (1951). Thin Sheet Plastic Fresnel Lenses of High Aperture, Optical Society of America, Vol.41, pp. 807-8157

Nelson T. D., Evans L. D., Bansal K. R., (1975). Linear Fresnel Lens Concentrators, Solar Energy, Vol. 17, pp.285-289

Pettigrew, John D. (2003) "The Min Min light and the Fata Morgana: An optical account of a mysterious Australian phenomenon", Clinical and Experimental Optometry, V86#2 P. 109–120

Puri V. M. and Zuritz C. M., (1985). Feasibility of Subsurface Latent Heat Storage for Plant Root Zone and Greenhouse Heating. ASAE Paper No. 85, pp. 40-45

Rabl Ari., *Active Solar Collectors and Their Applications*, Oxford University Press, 1985.

Serway A. R., *Physics*, Saunders College Publishing, 1990

Smart Buildings, Technology Experts, Innovative solutions, internet.  
<http://www.smart-buildings.com/> Accessed 8/4/2012

"The Fresnel Lens." The Keeper's Log (Winter 1985), pp. 12–14.

Tripanagnostopoulos Y., Tzavellas D., Zoulia I. and Chortatou M. 2001. Hybrid PV/T systems with dual heat extraction operation. In Proc. 17th PV Solar Energy Conference, Munich, 22-26 Oct: 2515-2518.

Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M. and Yianoulis P. (2002). Hybrid Photovoltaic/Thermal solar systems. Solar Energy 72: 217-234.

Tselepis S. and Tripanagnostopoulos Y., (2002). Economics Analysis of Hybrid Photovoltaic/thermal Solar Systems and Comparison with Standard PV Modules. Proc. of the International Conference on PV in Europe 7-11 October, Rome, Italy, pp. 856-859

Van de Braak N. J., (1988). New Methods of Greenhouses Heating. Engineering and Economics Aspects. Acta Horticulturae, Vol. 245, pp. 149-157

Van de Huls, (1957), Light scattering by small particles, New York, John Wiley and Sons.

West S. Improving the sustainable development of building stock by the implementation of energy efficient, climate control technologies. *Building and Environment* 2001;36(3):281–9.

Young, A. "An Introduction to Mirages".  
<http://mintaka.sdsu.edu/GF/mirages/mirintro.html>.

Yu Timofeev and A. V. Vasil'ev (2008-05-01). *Theoretical Fundamentals of Atmospheric Optics*. Cambridge International Science Publishing. p. 174. ISBN 9781904602255.<http://books.google.com/books?id=2x4CAQMEKigC&pg=PA205&dq=molecular+scattering+aerosol+in+atmosphere&hl=en&sa=X&ei=WfVGT-LIFMre0gGpyvH5DQ&ved=0CDYQ6AEwAQ#v=onepage&q=molecular%20scattering%20aerosol%20in%20atmosphere&f=false>. Retrieved 2012-02-23.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- Γιαννούλης Π., Νέες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001
- Καπλάνης Σ., Συναρμολόγηση, Κατασκευή και Έλεγχος Λειτουργίας Ηλιακών Συλλεκτών, ΤΕΙ Πατρών, 1985
- Καπλάνης Σ., *Συναρμολόγηση, Κατασκευή και Έλεγχος Λειτουργίας Ηλιακών Συλλεκτών*, ΤΕΙ Πατρών, 1985
- Κεντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Ενσωμάτωση Τεχνολογιών ΑΠΕ & ΕΞΕ στον Οικιακό Τομέα, 2009, Αθήνα
- Κοπιδάκης Μ., *Ήπιες-Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πρακτικές Εφαρμογές της Ηλικής Ενέργειας στην Αγροτική Οικονομία-Θερμοκήπια*, ΤΕΙ Ηρακλείου, 1990
- Μπαμπαλής Σ., Μαθιουλάκης Ε. και Μπελεσιώτης Β., (2002). Διερεύνηση της χρήσης ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη μέρους των θερμικών αναγκών κατά την μηχανική ξήρανση αγροτικών προϊόντων. 7ο Εθνικό Συνέδριο ΙΗΤ, Πάτρα 6-8 Νοεμβρίου 2002, τόμος Β', 259-268
- Μπελεσιώτης Β. και Δεληγιάννη Ε., Μέθοδοι και Συστήματα Ξήρανσης – Αρχές Διεργασιών Ξήρανσης, 2002
- Κοντογιάννης, Θ. (2009), *Τα λειζερ στην αισθητική ιατρική*, Ιστοσελίδα, [http://www.iatronet.gr/article.asp?art\\_id=4664](http://www.iatronet.gr/article.asp?art_id=4664)
- Κουκούλη, Μ. (2008). "Σκέδαση στην Ατμόσφαιρα-Θεωρητική Προσέγγιση". Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. <http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/AtmosphericOptics04-12-2007-Scattering.pdf>. Ανακτήθηκε την 2012-04-8.
- Σγουρός, Γ. (2006). "ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΑΣΗ". Ινστιτούτο Οπτικής και Όρασης του Πανεπιστημίου Κρήτης. [http://www.ivo.gr/files/items/1/103/j\\_sgouros.pdf](http://www.ivo.gr/files/items/1/103/j_sgouros.pdf). Ανακτήθηκε την 2011-04-18.
- Τρυπαναγνωστόπουλος Ι., *Εργαστηριακές Ασκήσεις Περιβαλλοντικής Φυσικής*, Πανεπιστήμιο Πατρών 2000