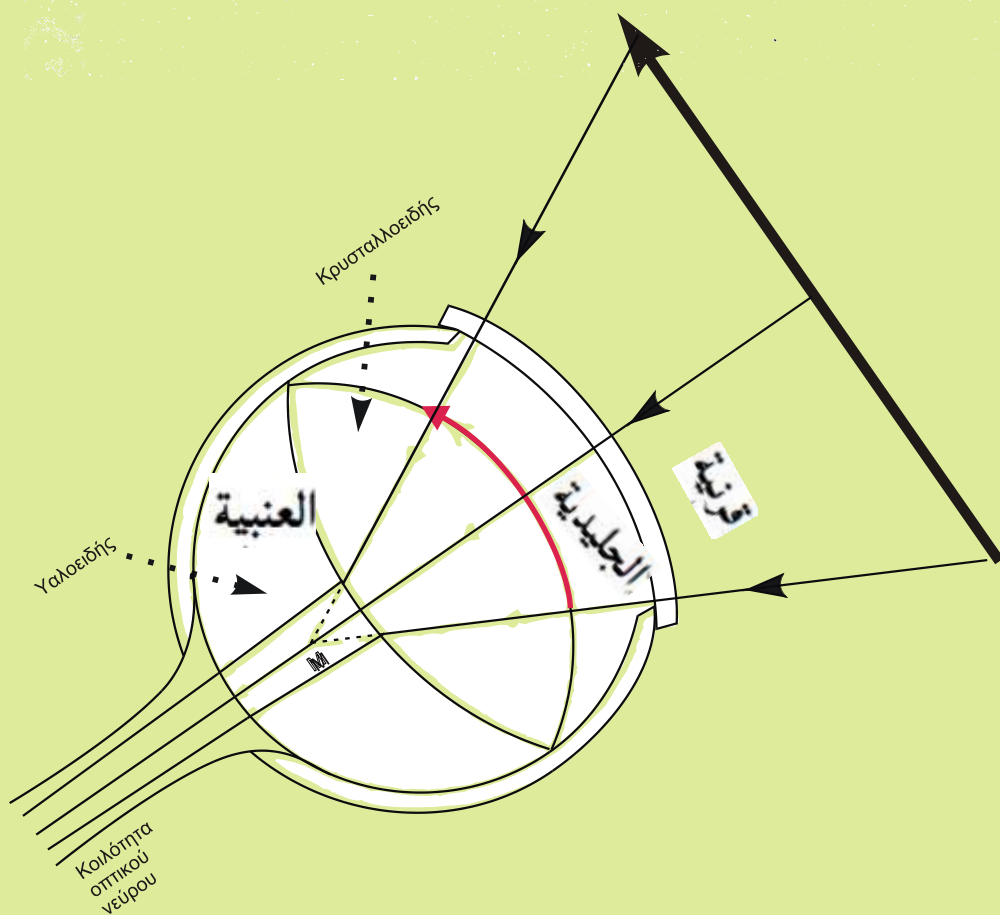


Με Τα Μάτια Του Μεσαίωνα



Η οπτική με βάση κυρίως τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ
και εφαρμογές στη Διδακτική

Παύλος Μίχας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	
Ιστορία της Οπτικής πριν από τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ	1
Πυθαγόρειοι	1
Εμπεδοκλής	1
Ατομικοί.....	1
Πλάτων	2
Αριστοτέλης	2
Αριστοτέλης και σχολιαστές (Φιλόπονος, Αλέξανδρος από Αφροδισιάδα).....	2
Επίκουρος	5
Στωικοί	5
Η νέα οργάνωση της Οπτικής	5
Ευκλείδης	6
Ήρων	7
Πτολεμαίος	9
Χρωματισμός.....	10
Αξία που αποδίδεται στην έννοια της ακτίνας όρασης.....	11
Προβλήματα με τις ακτίνες όρασης.....	11
Ανάκλαση και διάθλαση.....	14
Συμπεράσματα για τον Πτολεμαίο	15
Άλλοι ερευνητές της Οπτικής στους Ελληνιστικούς χρόνους.....	15
Αλ Κίντι	16
Η υπεράσπιση του Αλ Κίντι για την θεωρία εκπομπής (ακτινών από το μάτι)	16
Α. Υποθέσεις του Ευκλείδη.....	16
.....	17
Β. Η φύση της ακτινοβολίας όρασης.....	18
Γ. Μεταβολές στην ευαισθησία μέσα στον κώνο όρασης.....	19
Ιμπν Σαχλ.....	20
Βιογραφία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ	21
Ποιος ήταν ο Ιμπν Αλ Χαϊθάμ.....	21
Έργα του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ	23
Επικεφαλίδες των θεμάτων του βιβλίου του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ «Αλ Μαναζίρ».....	25
Έκταση της εξάπλωσης των ερευνών του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ στους Ισλαμιστές.....	27
Ιμπν Αλ Χαϊθάμ και Δυτικοί	29
Οι απόψεις του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το φωτιζόμενο σώμα και η σύγκριση τους με τις κυριαρχούσες απόψεις της εποχής του	31
Οι γενικές απόψεις του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το φως και ειδικά για την ευθύγραμμη διάδοση του	31
Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα φώτα από τα αυτόφωτα σώματα και τα περιστασιακά φώτα (φώτα από διάχυση)	32
Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα ανακλώμενα και τα περιστασιακά (διάχυτα) φώτα	33
Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αυγή και το λυκόφως.....	33
Κριτική του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τους οπαδούς της εκπομπής από το μάτι.....	33
Η άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα χρώματα στα αδιαφανή (συμπαγή) σώματα	34
Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα χρώματα των αυτόφωτων σωμάτων	35
Λάθη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάμειξη των χρωμάτων και στην άποψη του για τον ιριδισμό.....	35

Η άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το ότι η διάδοση του φωτός γίνεται σε πεπερασμένο χρόνο.

36

Η θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός 36

Η μηχανική πλευρά από τη θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός. 37

Διανυσματική θεώρηση της κίνησης: Το «γέρισμο» ή «στήριξη» 38

α) Ήρωνας και Πτολεμαίος..... 38

β) Ιμπν Αλ Χαϊθάμ..... 38

Το φως στην θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση. 39

Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη διάθλαση. 40

Ο στόχος του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ στις έρευνες του για την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός 41

Οι πειραματικές έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τις ιδιότητες του «αυτόνομου» φωτός. 41

Το πείραμα της ευθύγραμμης διάδοσης με το δίσκο και σωλήνα 43

Γενικά Πειράματα για τα «περιστασιακά (διάχυτα)» φώτα 43

Το πείραμα του σκοτεινού θαλάμου. 43

Πειράματα με το φως του Φεγγαριού..... 44

Πείραμα του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την απόδειξη ότι το φως της αυγής διαδίδεται σε

ευθείες γραμμές 44

Το πείραμα του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ευθύγραμμη διάδοση του περιστασιακού (διάχυτου)

φωτός (Ναζίφ 1942, Rashed 1992) 45

Α. Διαπίστωση ότι το διάχυτο φως διαδίδεται ευθύγραμμα..... 45

Β. Ένα πείραμα «μαύρου σώματος» 45

Διαπίστωση των καταστάσεων των φώτων που προέρχονται από ανάκλαση και από διάδοση

46

Η γνώμη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη μέθοδο διάδοσης του φωτός από τα αυτόφωτα

(αυτόνομου φωτός) 47

Εξήγηση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα φαινόμενα της σκιάς. Λάθη των προηγούμενων του 48

Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την κατανομή του φωτός στις σκιές..... 49

Εκλείψεις 49

Ο σκοτεινός θάλαμος..... 50

Όρος για να είναι καθαρό το είδωλο. 51

Εφαρμογή στο είδωλο της έκλειψης του Ήλιου 52

Σύγκριση της έκλειψης του Ήλιου με την έκλειψη της Σελήνης. 53

Συμπέρασμα 54

Η όραση 55

Περιγραφή του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα στρώματα του ματιού

και τα υγρά του 55

Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την όραση..... 57

Η φυσιολογική πλευρά της θεωρίας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την όραση..... 58

Προσαρμογή της θεωρίας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ αναφορικά με τις απαιτήσεις της διάθλασης.

59

Τα μερικά νοήματα της όρασης και τα σύνθετα νοήματα της όρασης. 62

Η γενική ιδέα που βάσισε ο Ιμπν Αλ Χαϊθάμ την έρευνα του για την αντίληψη. 62

Αντίληψη με γνώση και αντίληψη με σύγκριση και διάκριση..... 63

Δύναμη διάκρισης 63

Η θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τον τρόπο της αντίληψης με την όραση 63

Ανάλυση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αντίληψη των μερικών εννοιών 64

Τρόπος αντίληψη του φωτός και του χρώματος..... 64

Μερικά από αυτά που ανέφερε ο Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη μετάδοση της παρατήρησης με την

αίσθηση. 64

Τρόπος αντίληψης του σκότους..... 65

Ο τρόπος αντίληψης της απόστασης 65

Μέτριες και μη μέτριες αποστάσεις 66

Μονάδες μέτρησης αποστάσεων 67

Η κίνηση του ματιού στις εκτιμήσεις των αποστάσεων 67

Τρόπος αντίληψης της θέσης	67
Α. Παράγοντες για εκτίμηση της θέσης του «απέναντι»	67
Β. Θέση αντικειμένων το ένα ως προς το άλλο	68
Γ. Αντίληψη της θέσης των επιφανειών	68
Τρόπος αντίληψης του τρισδιάστατου σώματος (Αλ Ταγκάσουμ AnVN»Α)	68
Τρόπος αντίληψης του σχήματος	69
Τρόπος αντίληψης του μεγέθους	69
Τρόπος αισθητικής αντίληψης της ομορφιάς	70
Λεπτομέρειες των απόψεων του για την αίσθηση της όρασης	70
Αυθόρμητη αντίληψη και αντίληψη με συλλογισμό	71
Αντίληψη και προσοχή	71
Αντίληψη με θεώρηση όταν υπάρχει γνώση	71
Πρώτη προσέγγιση του Πτολεμαίου	72
Σύγχρονη θέση του προβλήματος	72
Το πρόβλημα στους αρχαίους	73
Το βασικό πείραμα	74
Η Δεύτερη προσέγγιση του	
Πτολεμαίου	75
Συμπέρασμα για τις προσεγγίσεις του Πτολεμαίου στο θέμα της όρασης	77
Προσέγγιση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την διοφθαλμική όραση	78
Πειραματική προσέγγιση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη διοφθαλμική όραση	79
Το «εύρος του μέτρου»	80
Σφάλματα της μέτρησης (Αλ Αγλάδ φι αλ κιάς ρΒΞ´»Α Ο — έ«άΑ)	80
Το σφάλμα στην αντίληψη της απόστασης, όταν αυτή είναι έξω από το «εύρος του μέτρου»	
82	
Τα σφάλματα στην αντίληψη του μεγέθους στην περίπτωση που	
η απόσταση ξεπερνά το «εύρος του μέτρου»	82
Αίτια απόκρυψης του αντικειμένου από το μάτι.	83
Το σφάλμα στην αντίληψη του μεγέθους λόγω του ότι είναι έξω από το «εύρος του μέτρου»	
στο πλησίον	83
Εξήγηση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αντίληψη των πλανητών ως μεγαλύτερων κοντά στον	
Ορίζοντα από ό,τι όταν είναι στο	
κέντρο του ουρανού	84
Συμπεράσματα	86
Πειραματική απόδειξη της ανάκλασης των δευτερευόντων φώτων, ασθενικών φώτων και	
χρωμάτων	87
Ανάκλαση	87
Πειραματική απόδειξη ότι η ανάκλαση στα ανακλαστικά σώματα δεν είναι πλήρης	88
Ο κανόνας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση	88
Απαιτήσεις του κανόνα	89
Συσκευή για την πειραματική απόδειξη του νόμου της ανάκλασης από τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ	
α) Περιγραφή και συναρμολόγηση	90
β) Άλλα επιπρόσθετα εξαρτήματα:	90
Τρόπος χρήσης του οργάνου	92
γ) Πειραματική απόδειξη του επιπέδου ανάκλασης	93
Χρήση της συσκευής σε μη επίπεδα κάτοπτρα	93
Διαπίστωση των διαφορών καταστάσεων ανάκλασης	93
Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για προσδιορισμό της συμμετρίας	94
Καθορισμός του τμήματος «που αντικρίζει το μάτι» για τα επτά είδη των κατόπτρων.	95
Καθορισμός της συμμετρίας για την ανάκλαση σε επίπεδο κάτοπτρο	96
Προσδιορισμός της συμμετρίας στην ανάκλαση σε σφαιρικό κάτοπτρο	96
Προσδιορισμός της συμμετρίας σε κυλινδρικό κάτοπτρο	97
Προσδιορισμός της συμμετρίας της ανάκλασης στην περίπτωση κωνικού κατόπτρου	97
Οι βασικοί κανόνες για το σημείο ανάκλασης σε κυρτή σφαιρική επιφάνεια	99

α) Ο πρώτος κανόνας.....	99
β) Δεύτερος κανόνας.....	100
γ) Τρίτος κανόνας.....	100
Ο τέταρτος κανόνας.....	101
Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός του Ηλίου από την επιφάνεια της Σελήνης προς ένα σημείο της επιφάνειας της Γης.	101
Προσδιορισμός των θέσεων.	102
Συνθήκη θέσεων κατά τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ.....	103
Προσδιορισμός του τμήματος της επιφάνειας της Σελήνης που επιτρέπει να ανακλά το φως του Ήλιου προς τη Γη.....	103
Προσδιορισμός του εύρους της περιοχής που επιτρέπει την ανάκλαση του φωτός.	103
Προσδιορισμός του μήκους της επιφάνειας που επιτρέπει να ανακλάται το φως....	105
Συμπεράσματα.....	105
Πως ανακλάται μια παράλληλη δέσμη σε μια κοίλη σφαιρική επιφάνεια.	107
Κοίλα Κάτοπτρα.....	107
Η έννοια της εστίας (μπουούρα ΡιΪ) ως ορίου για τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ.....	109
Προσδιορισμός της ακτίνας σφαιρικού δακτυλίου για εστίαση σε ένα ορισμένο σημείο.	109
Εξήγηση για τον τρόπο ανάμματος φωτιάς με τη βοήθεια του κοίλου κατόπτρου και εξαγωγή της έννοιας της καμπυλότητας.....	110
Πρώτη μέθοδος του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την κατασκευή του «καίοντος» κατόπτρου.....	111
Το σύνθετο σφαιρικό κάτοπτρο, τρόπος κατασκευής του.....	111
Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αμοιβαία ανάκλαση των δύο σημείων από την κοίλη σφαίρα.....	113
Ανάκλαση των δύο σημείων που βρίσκονται σε μία διάμετρο του σφαιρικού κατόπτρου ή σε προέκτασή της.	113
Ανάκλαση των σημείων που δε βρίσκονται στην ίδια διάμετρο αν έχουν ίση απόσταση από το κέντρο.	114
Ανάκλαση των δύο σημείων από τον απέναντι τομέα.	114
Σύνδεση των δύο σημείων σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο με ανάκλαση από σημείο που βρίσκεται στον πρώτο τομέα.....	114
Σύνδεση με ανάκλαση των δύο σημείων που δε βρίσκονται σε μία διάμετρο αν οι αποστάσεις τους από το κέντρο είναι διαφορετικές.....	115
Δυνατότητα για ανάκλαση από τον απέναντι τομέα.	115
Ανάκλαση από δύο σημεία που διαφέρουν σε απόσταση για τον πρώτο τομέα.....	116
Ο «ανακλαστικός διπλασιασμός».....	116
Η γενική άποψη με την οποία ξεκαθαρίζεται η σύνδεση με ανάκλαση των σημείων που έχουν διαφορετική απόσταση από το κέντρο στην επιφάνεια του κοίλου κατόπτρου.	116
Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός στο κοίλο μιας επιφάνειας από περιστροφή μιας παραβολής. (Αλ κιτάα αλ μακάφι Ο – Β'Εϊ»Α □Β'~»Α).....	117
Η απόδειξη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ ότι οι παράλληλες ακτίνες προς τον άξονα του παραβολοειδούς ανακλώνται στην εστία του.....	118
Περίπτωση επιφάνειας περιστροφής του παραβολοειδούς για παράλληλες ακτίνες.....	119
Το ελλειψοειδές κάτοπτρο του Ιμπν Σαχλ.....	119
Συμπεράσματα.....	120
Ο νόμος της διάθλασης στην Αρχαιότητα.....	121
Μελέτη του νόμου της διάθλασης.....	121
Η συσκευή του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη μελέτη της διάθλασης.....	124
Περιγραφή της συσκευής.....	124
Μέθοδος του πειράματος.....	126
Νόμοι του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη διάθλαση.....	130
Ο νόμος του Snell από τον Ιμπν Σαχλ.	131
Ο φακός του Ιμπν Σαχλ.....	132

Συμπεράσματα	133
Το ουράνιο τόξο	135
Εισαγωγή	135
Προσέγγιση του Αριστοτέλη	135
Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το ουράνιο τόξο	137
Κριτική της θεωρίας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ από τον Αλ Φαρίσι	139
Απόψεις του Αβικέννα για το ουράνιο τόξο	140
Προσέγγιση του Αλ Φαρίσι	141
Μοντέλο του Αλ Φαρίσι	142
Πειράματα του Αλ Φαρίσι	143
Δύο ανακλάσεις	145
Σκοτεινός θάλαμος	146
Εξήγηση των χρωμάτων από τον Αλ Φαρίσι	146
Συμπέρασμα	149
Ιστορία και Διδακτική	151
Εισαγωγή	151
α) Σχηματισμός σκιάς	151
β) Σκοτεινός θάλαμος	152
δ) Διάθλαση φωτός	153
ε) Ιδιότητες των φακών	153
στ) Σχηματισμός φανταστικών ειδώλων από κάτοπτρα και φακούς	154
Ρόλος της Φύσης της επιστήμης στην εκπαίδευση	154
Διδακτική της Οπτικής και Ιστορία	155
Εφαρμογές της ιστορικής μεθόδου στην Οπτική	156
Δυσκολίες των Φοιτητών:	157
Α) Για τη διάδοση του φωτός	157
Α. Πηγές φωτός	159
Β. Σκιές:	161
Γ. Διαφράγματα με σχισμές -Σκοτεινός θάλαμος	161
Ανάκλαση	162
Ανάκλαση και αντιστροφή της εικόνας	162
Ανάκλαση και αρχή του ελάχιστου δρόμου	164
Καμπύλα κάτοπτρα	164
α) Εστία του κατόπτρου	164
β) Σύνθετο σφαιρικό κάτοπτρο	165
γ) Αριθμός σημείων που μπορούν να συνδέουν δύο δεδομένα σημεία με ανάκλαση	165
Διάχυτη ανάκλαση	166
Εισαγωγή	169
Νόμοι της Διάθλασης	169
Αρχαίοι Έλληνες και Μεσαίωνα	169
Ένα λογισμικό για τη μελέτη του νόμου της διάθλασης σε	
 συνδυασμό με Ιστορικά δεδομένα	169
Νόμος του Κέπλερ	170
Νόμος του Snell	170
Ερμηνείες του νόμου του Snell	170
Χρήση του Λογισμικού για τη μελέτη των δεδομένων του μαθητή και των ιστορικών αναφορών	171
Ιστορικές σημειώσεις - Ιστορικές μετρήσεις	172
Επίδραση της γνώσης του νόμου:	173
Ερμηνεία του νόμου	173
Μερική ανάκλαση	174
Μελέτη των πειραματικών σφαλμάτων	174

<i>Συστηματικά σφάλματα.....</i>	<i>175</i>
<i>Μελέτη της επίδρασης του μεγέθους του ημικυκλίου στο σφάλμα.....</i>	<i>176</i>
Άλλες επιλογές	177
Συμπεράσματα	177
Φακοί	179
Φακοί, Όραση και Διδακτική της διόφθαλμης όρασης	179
Παρατήρηση ειδώλων.....	182
Λειτουργία του ματιού	184
<i>Διόφθαλμη όραση</i>	<i>184</i>
<i>Όρια της όρασης.....</i>	<i>186</i>

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα ερωτήματα που αποτέλεσαν τη βάση για ν' ασχοληθώ με τη σχέση ιστορία της Φυσικής και Διδακτικής, δημιουργήθηκαν μέσα από τα εργαστήρια που διοργάνωνα και διεξήγαγα με τους φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. του Δ.Π.Θ. στην Αλεξανδρούπολη στα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα. Τότε άρχισε να με απασχολεί το θέμα του νοήματος των δεδομένων. Πολλά από τα πειράματα που ήταν σχεδιασμένα επαγωγικά, υποτίθεται ότι θα οδηγούσαν σε μία γενίκευση η οποία θα έδινε ένα νόμο της φυσικής. Υπήρχαν πολλά απλά πειράματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν γι' αυτό το σκοπό. Ένα τέτοιο πείραμα το οποίο φαίνεται πολύ απλό στη διάταξη του και στην εκτέλεσή του, είναι το πείραμα της μέτρησης του δείκτη διάθλασης με το ημικύκλιο. Σύμφωνα με τις οδηγίες που βρίσκονται σε διάφορες «εγκυκλοπαίδειες» πειραμάτων έπρεπε ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης να είναι σταθερός (ή περίπου σταθερός) και ίσος με το δείκτη διάθλασης. Παρ' όλες τις προσπάθειες για ακριβή τοποθέτηση του ημικυκλίου στο «γωνιομετρικό» κύκλο και της ευθυγράμμισης της φωτεινής πηγής, ποτέ δεν εμφανιζόταν αυτή η σταθερότητα. Αυτό προξενούσε ερωτήματα στους φοιτητές για την εγκυρότητα του πειράματος ή για τις συσκευές. Πολλές φορές αποδιδόταν η αποτυχία σε κατασκευαστικά σφάλματα των παρεχομένων σχολικών συσκευών ή στο ότι οι περισσότεροι φοιτητές ήταν τρίτης δέσμης, οπότε δεν τα κατάφερναν στη φυσική, γι' αυτό και είχαν τόσα σφάλματα. Η προσπάθεια για την αντιμετώπιση της κατάστασης γινόταν μέσα στα πλαίσια της αντιμετώπισης των σφαλμάτων με κατάλληλα προγράμματα που επέτρεπαν στους φοιτητές να βρίσκουν ποιες τιμές ήταν πολύ έξω από τις αναμενόμενες με βάση ένα γνωστό νόμο. Σε μερικά πειράματα ήταν δυνατόν να γίνει μια «ανακάλυψη» του νόμου, ιδιαίτερα αν η σχέση ήταν μια απλή αναλογία, όμως για το νόμο της διάθλασης δεν μπορούσε να γίνει αυτό. Έτσι δημιουργήθηκαν ερωτήματα μερικά από τα οποία είχαν μια επιστημολογική χροιά:

Πώς ανακαλύφθηκαν οι νόμοι της φυσικής; Είχαν τόσο μεγάλη ακρίβεια τα πειράματα των αρχαίων, του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης ώστε να είναι σίγουροι για τους νόμους; Ήξεραν να κάνουν ανάλυση σφαλμάτων οι φυσικοί αυτών των εποχών;

Όταν το 1998 βρέθηκα με εκπαιδευτική άδεια στην Αμερική είχα την ευκαιρία να βρω στη βιβλιοθήκη του πανεπιστημίου του Ohio μια συλλογή βιβλίων που αναφερόταν στην ιστορία της Οπτικής. Ένα παλιό βιβλίο σε μορφή microfilm ήταν το βιβλίο του Wilde (1838) που έδινε τους

καταλόγους των αποτελεσμάτων των Πτολεμαίου, Αλ Χαϊθάμ και Witello. Η αναφορά στον Αλ Χαϊθάμ με οδήγησε στο βιβλίο του Ναζίφ «Al Hassan ibn al Haytham buhuthuhu wa kuchufuhu al basariyya» Vol.1 (Ο Αλ Χάσαν Ιμπν Αλ Χαϊθάμ, οι έρευνες του και οι ανακαλύψεις του στην Οπτική). Μελετώντας το βιβλίο αυτό και άλλα βιβλία, είδα ότι πολλές ιδέες του Αλ Χαϊθάμ μπορούν να εφαρμοστούν στη Διδακτική της Φυσικής. Αυτό οδήγησε σε μια σειρά από προγράμματα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή που χρησιμοποίησαν τις ιδέες του Αλ Χαϊθάμ σε αντιπαραβολή με σύγχρονες διδασκαλίες. Κατά τη διδασκαλία των μαθημάτων χρησιμοποιήθηκαν αυτά τα προγράμματα είτε για επίδειξη είτε από τους ίδιους τους φοιτητές. Οι φοιτητές είχαν την ευκαιρία να κάνουν προβλέψεις, στη συνέχεια να ελέγξουν την ακρίβεια αυτών των προβλέψεων στον Η/Υ και παράλληλα να κάνουν πειράματα με απλά μέσα. Τέτοιες εφαρμογές στηρίζονται σ' αυτά που αναπτύσσονται στο 3ο κεφάλαιο. Η θεωρία του Αλ Χαϊθάμ για την όραση παρουσιάζεται στο 4ο κεφάλαιο. Παρόλο που είναι λανθασμένη, θεωρείται ως η πρώτη ολοκληρωμένη θεωρία (Ronchi 1991).

Η μελέτη του Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση (5ο και 6ο κεφάλαιο) έδωσε πειραματικές διατάξεις ακριβείας, η λανθασμένη θεωρία του όμως για την όραση δεν του επέτρεψε να φθάσει στους γνωστούς σε μας νόμους του σχηματισμού των ειδώλων. Αντί για τους γνωστούς μας νόμους έδωσε μια σειρά «θεμάτων» και διάφορους κανόνες. Οι αποδείξεις για τους κανόνες αυτούς είναι γεωμετρικές. Μερικές φορές είναι αρκετά περίπλοκες. Για λόγους συντομίας οι πιο πολλές παραλήφθηκαν από το βιβλίο αυτό. Η σημασία τους όμως είναι ότι ο Αλ Χαϊθάμ είχε ξεπεράσει το νοητικό εμπόδιο, δηλαδή ότι οι μαθηματικές επιστήμες εξετάζουν μόνο αφηρημένες ποσότητες ενώ η φυσική εξετάζει τις μεταβολές που συνδέονται με την ύλη. Η μελέτη του Αλ Χαϊθάμ για τις ιδιότητες της επιφάνειας της Σελήνης που αναπτύσσεται στο 5ο κεφάλαιο, δίνει μια μαθηματική εφαρμογή αυτών των ιδεών και ταυτόχρονα ένα πολύ σημαντικό παράδειγμα διάχυτης ανάκλασης.

Ένα άλλο θέμα που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι η σχέση των κανόνων και της έννοιας του ειδώλου στη σύγχρονη διδασκαλία της φυσικής. Είναι γνωστό ότι οι παραξονικές ακτίνες μόνο κατά προσέγγιση τέμνονται σε ένα σημείο, συνήθως όμως αυτό ξεχνιέται, καθώς δίνεται έμφαση στην τομή όλων των ακτινών που ξεκινούν από ένα σημείο μετά την επίδραση του οπτικού οργάνου. Η προσέγγιση του Αλ Χαϊθάμ σ' αυτό το θέμα (στο 6ο κεφάλαιο) σε συνδυασμό με τις σύγχρονες απόψεις δείχνει τον προσεγγιστικό χαρακτήρα της σύγχρονης φυσικής.

Ένα άλλο θέμα που προσέγγισε ο Αλ Χαϊθάμ ήταν η διάθλαση για την οποία έδωσε νέες πειραματικές διατάξεις (7ο κεφάλαιο). Ο Αλ Χαϊθάμ και εδώ έδωσε κανόνες. Οι κανόνες αυτοί τηρούνται μόνο για τις τιμές που έλαβε υπόψη του ο Αλ Χαϊθάμ, πράγμα που μπορεί να γίνει φανερό με τη χρήση προγράμματος Η/Υ. Αυτή η παρατήρηση δίνει την ευκαιρία για συζήτηση με τους φοιτητές όσον αφορά τη φύση της φυσικής. Μπορούμε να δούμε τον προσωρινό χαρακτήρα των θεωριών της φυσικής.

Η «επανάσταση» του Αλ Χαϊθάμ είχε καρπούς. Ένας καρπός της ήταν η θεωρία του ουράνιου τόξου από τον Αλ Φαρίσι που εξετάζεται στο 8ο κεφάλαιο. Αυτή η θεωρία ήταν η πρώτη μαθηματική θεωρία του ουράνιου

τόξου πριν από τον Καρτέσιο και το Νεύτωνα (Roshdi 1992).

Για τη διδακτική της Οπτικής δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα κεφάλαια 9,10 και 11.

Στο 9ο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά οι δυσκολίες όσον αφορά τη διδασκαλία της Οπτικής. Εξετάζεται σε συντομία η σχέση ιστορίας και διδακτικής. Μια από τις εφαρμογές είναι η χρήση κειμένων και εικόνων που δείχνουν διάφορες απόψεις επιστημόνων του παρελθόντος. Παρουσιάζονται θέματα που εξετάστηκαν στο Π.Τ.Δ.Ε. με τη βοήθεια αυτών των ιστορικών αναφορών. Ο συνδυασμός εργαστηριακών ασκήσεων και εφαρμογών στον ηλεκτρονικό υπολογιστή σχετικά με την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός αποτελεί το τελευταίο τμήμα του κεφαλαίου αυτού.

Στο 10ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα λογισμικό που αφορά τη διάθλαση και στο 11ο κεφάλαιο παρουσιάζονται θέματα διδασκαλίας φακών από ιστορική άποψη, καθώς και θέματα που αφορούν τη διδακτική της όρασης.

Ιστορία της Οπτικής πριν από τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

1- Οι διάφορες απόψεις των Ελλήνων στην Κλασσική Εποχή

Πυθαγόρειοι

Οι Πυθαγόρειοι πίστευαν ότι το σώμα που βλέπομε εκπέμπει σωματίδια όπως στη θεωρία του Newton, σύμφωνα με την άποψη του Ναζίφ. Σύμφωνα όμως με τον Vasco Ronchi, οι Πυθαγόρειοι υποστήριζαν την αντίθετη άποψη όπως ο Αρχύτας που κάνει λόγο για ένα είδος φωτιάς που εξέρχεται από το μάτι και εγγίζει όλα τα αντικείμενα.

Εμπεδοκλής

Ο Εμπεδοκλής μιλάει για φιλότητα και νείκος. Κατά την όραση κάτι βγαίνει από το μάτι και πλησιάζει αυτό που εκπέμπεται από το αντικείμενο και με τη συνένωση αυτή γίνεται η σύνδεση (φιλότητα) και από αυτήν η όραση. Οι αισθήσεις παράγονται όταν τα σωματίδια που εκπέμπονται από τα σώματα, διαπερνούν τους πόρους του αισθητηρίου οργάνου. Ο Εμπεδοκλής μιλά για το φως που φθάνει στο μάτι όπως φθάνει ο ήχος στο αυτί. Όμως για αυτή την εξωτερική δράση ο Εμπεδοκλής θεωρεί ως αναγκαία την ύπαρξη της εκπομπής από το μάτι. Έτσι ο Εμπεδοκλής θεωρεί ότι υπάρχουν δύο ροές: η εξωτερική που έχει σωματιδιακό χαρακτήρα και μεταφέρει την τάξη, τη μορφή και τα χρώματα, ενώ είναι απαραίτητες οι ακτίνες από το μάτι. Οι απόψεις του Εμπεδοκλή μελετήθηκαν αργότερα από τον Αβικένα (ابن سينا) και τον Al Shahr Stani (الشهرستاني).

Ατομικοί

Ο Λεύκιππος μίλησε για σωματίδια που έρχονται στο μάτι. Κάθε μεταβολή παράγε-ται εξ αιτίας μίας επαφής, όλες μας οι αντιλήψεις είναι αντιλήψεις λόγω επαφής, όλες μας οι αισθήσεις είναι ένα είδος αφής. Καθώς η ψυχή μας δεν εξέρχεται για να αγγίξει τα αντικείμενα θα πρέπει τα αντικείμενα να έλθουν να αγγίξουν την ψυχή μας περνώντας μέσα από τα αισθητήρια όργανα μας. Δεν βλέπουμε ενεργητικά τα αντικείμενα αλλά κάθε αντικείμενο πρέπει να στείλει στην ψυχή μας κάτι που να τα αναπαριστά τα «είδωλα».

Ο Δημόκριτος θεωρεί ότι ο αέρας που είναι ανάμεσα στο μάτι και στο αντικείμενο, δέχεται μια αποτύπωση λόγω της πίεσης που ασκείται πάνω του από το μάτι και το αντικείμενο. Από κάθε αντικείμενο εξέρχεται μια συνεχής εκπομπή.

Πλάτων

Στον διάλογο «Μένων» ο Γοργίας ορίζει το φως σύμφωνα με τη θεωρία του Εμπεδοκλή: «το χρώμα είναι η εκροή από το σώμα που αντιλαμβανόμαστε στην όραση». Στον Τίμαιο κάνει λόγο για ένα είδος φωτιάς που εξέρχεται από το μάτι και εγγίζει όλα τα αντικείμενα. Αυτό το είδος της φωτιάς δε μπορεί να κάψει αλλά μόνο να δώσει ένα γλυκό φως. Κάνει λόγο στον Τίμαιο επίσης για το θείο φως και το φως του σώματος που δίνουν την ακτίνα.

Σύμφωνα με το Vasco Ronchi (1956), αυτό που θέλει κυρίως να αναπτύξει ο Πλάτωνας είναι η ψυχολογική πλευρά της όρασης.

Αριστοτέλης

Ο Αριστοτέλης δε δέχεται την άποψη του Εμπεδοκλή ότι το μάτι εκπέμπει φως. Το φως είναι ποιότητα όχι οντότητα, είναι ιδιότητα του διαφανούς. Η άποψη του δεν κατανοείται αλλά φαίνεται ότι έχει κάποια αλήθεια που μας θυμίζει την κυματική θεωρία. Στα «Μετεωρολογικά» όμως μιλά για τις όψεις που αντανακλούνται στα σύννεφα και δίνουν το ουράνιο τόξο οπότε επανέρχεται στην άποψη της εκπομπής από το μάτι.

Αριστοτέλης και σχολιαστές (Φιλόπονος, Αλέξανδρος από Αφροδισιάδα)

Ο Αριστοτέλης εξετάζει το φως στο «περί ζώων» μέσα στα πλαίσια των αισθήσεων.

Κάθε αίσθηση ενεργοποιείται όταν ενεργεί ένα αισθητό αντικείμενο που είναι ειδικό για αυτή την αίσθηση. Το αντικείμενο που επιδρά στην όραση είναι το χρώμα. Όμως για να γίνει ορατό το χρώμα, χρειάζεται κάτι άλλο και αυτό είναι η παρουσία του φωτός. Ο Αριστοτέλης θεώρησε το φως μόνο σε σχέση με το ρόλο του όσον αφορά την αίσθηση της όρασης. Όρισε το φως ως ένα χαρακτηριστικό που υπάρχει πάντα ως δυνατότητα στο μέσο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι η διαφάνεια. Το χρώμα ενός ορατού αντικειμένου προκαλεί την έναρξη μιας κίνησης στο διαφανές μέσο το οποίο με τη σειρά του επιδρά στο μάτι. Τότε ενεργοποιείται η όραση και ο άνθρωπος βλέπει το αντικείμενο.

Η θεωρία του Αριστοτέλη είχε ένα πλεονέκτημα σε σχέση με αντίπαλες θεωρίες. Το φως, όπως είπε, δεν είναι ένα σώμα, αλλά ένα χαρακτηριστικό του μέσου, το οποίο είναι ένα σώμα. Κατά συνέπεια το φως μπορεί να συνυπάρχει με το μέσο αφού δεν είναι δυνατό δύο σώματα να συνυπάρχουν στην ίδια θέση την ίδια στιγμή. Ο Φιλόπονος χρησιμοποίησε αυτή την ιδιότητα των σωμάτων για να απορρίψει την υπόθεση των ακτινών όρασης.

Ο Φιλόπονος αναρωτήθηκε: πώς θα μπορούσαν οι ακτίνες να διασχίσουν ένα μέσο αν ήταν σώματα; Η ακτίνα όρασης είτε θα περνούσε μέσα από το μέσο είτε θα το διέσχιζε. Η πρώτη εναλλακτική λύση δεν έχει νόημα, γιατί ένα σώμα δε μπορεί να περάσει μέσα από ένα άλλο σώμα, ενώ η δεύτερη εναλλακτική λύση - η διάσχιση - θα έπρεπε να γίνει στην κυριολεξία οπότε το μάτι θα έσπαζε και θα χυνόντουσαν τα υγρά του!

Το μάτι θα μπορούσε να εκπέμπει ακτίνες όρασης μόνο αν είχε πόρους και δεν υπήρχαν σώματα που να τις εμποδίζουν να βγουν από τους πόρους. Τότε δε θα μπορούσαμε να βλέπουμε τα αντικείμενα ως συνεχή. Για το φως εφαρμόσε τις ίδιες ιδέες. Αν το φως είναι σωματικό, τότε είτε περνά μέσα από τον αέρα είτε τον διασχίζει είτε περνά μέσα από τους πόρους του αέρα. Αν όμως το φως διέσχιζε τον αέρα περνώντας μέσα από τους πόρους του, τότε σε ορισμένα μέρη θα υπάρχει μόνο φως και σε άλλα μέρη μόνο αέρας. Δηλαδή μόνο ορισμένα μέρη του μέσου θα φωτίζονταν. Αν φυσούσε, τότε θα σκοτεινίαζε διότι ο αέρας θα έδιωχνε το φως.

Τα ίδια επιχειρήματα παρουσιάζει ο Αλέξανδρος από την Αφροδισιάδα (De Groot 1991) που αναρωτιέται πώς είναι δυνατόν οι ακτίνες να διασχίσουν ένα μέσο αφού ένα σώμα δε μπορεί να διαπεράσει ένα άλλο μέσο. Αν το σώμα έχει πόρους, τότε θα υπάρχει η δυνατότητα για ένα κενό που θα μπορεί να είναι κάτι το χωριστό από τα σώματα, αλλιώς οι πόροι θα πρέπει να γεμίζουν με αέρα ή με κάποιο άλλο μέσο οπότε οι ακτίνες θα πρέπει να διασχίσουν το σώμα. Αν το σώμα έχει πόρους τότε ένα διαφανές σώμα δεν θα εμφανίζεται συνεχές αλλά σαν ένα κόσκινο. Τα ορατά αντικείμενα θα πρέπει να έχουν κηλίδες από σκιές. Αν οι ακτίνες όρασης εξέρχονται από την κόρη του ματιού, είτε θα δίνουν ένα συνεχή κώνο είτε θα χωρίζονται σε διάφορα μέρη. Αν είναι συνεχής κώνος τότε η κόρη θα πρέπει να έχει μια μεγάλη τρύπα. Αν οι ακτίνες βγαίνουν χωρισμένες η μία από την άλλη τότε θα πρέπει είτε να συνενώνονται μετά την έξοδο από το μάτι ή να μένουν χωριστές. Στη δεύτερη περίπτωση πολλά πράγματα που θα βρίσκονται μέσα στον κώνο της όρασης θα παραμένουν αόρατα καθώς θα υπάρχει μια απόσταση μεταξύ των ακτινών. Έδωσε τις ίδιες εναλλαγές με το Φιλόπονο για το ότι το φως δεν είναι σώμα.

Ο Αλέξανδρος και ο Φιλόπονος πίστευαν πως αν η όραση συμβαίνει με εκπομπή από το μάτι η εκπομπή αυτή θα πρέπει να έχει σωματική φύση.

Ο Φιλόπονος έδωσε ένα επιχειρήμα για του ότι οι ακτίνες όρασης δεν μπορούν να έχουν «ασώματη» φύση. Μια ασώματη οντότητα θα πρέπει να έχει ένα όχημα, ή ένα υλικό υπόστρωμα. Αν η ασώματη ακτίνα περνά από το μάτι με τη βοήθεια του οχήματος της τότε περνά ως σώμα. Αν είναι χωριστή από το υλικό της υπόστρωμα τότε πρέπει να κάνει χρήση του μέσου. Το πρόβλημα που υπάρχει στην δεύτερη περίπτωση είναι ότι η ασώματη ακτίνα είναι μία δύναμη που δίνει τη δυνατότητα για αντίληψη («αισθητική δύναμις») και άρα είναι ζωντανή. Αυτή η ζώσα δύναμη που έρχεται στο μέσο το κάνει και αυτό ζωντανό αλλιώς το ζωντανό θα υπάρχει σε κάτι το μη ζωντανό. Αυτές τις δύο απόψεις τις θεωρεί γελοίες και αδύνατες. Κατά συνέπεια οι ακτίνες όρασης δε μπορεί να είναι ασώματες. Επομένως αν κάποιος θέλει να κρατήσει τις ακτίνες όρασης, θα πρέπει να τις θεωρήσει ως σωματικές.

Ο Αριστοτέλης θεωρούσε την ενέργεια της διαφάνειας και του φωτός ταυτόσημες, ενώ ο Φιλόπονος θεωρούσε το φως ως κάτι που το μέσο μπορεί να δεχτεί και να μεταδώσει, αν το μέσο έχει το χαρακτηριστικό

της διαφάνειας. Όταν το φως «επιγίνεται» τότε μπορούμε να δούμε μέσα από ένα διαφανές μέσο. Με το να ταξινομεί το φως με το χρώμα και να το διαχωρίζει από τη διαφάνεια, χαρακτηρίζει τη διαφάνεια με βάση την ικανότητα της να ενεργεί ως φορέας του φωτός και του χρώματος. Ο αέρας δεν επηρεάζεται από τα χρώματα που περνάνε από μέσα του γι' αυτό μπορούν οι θεατές να βλέπουν σε διάφορες διευθύνσεις μέσα από το ίδιο τμήμα αέρα και να βλέπουν τα αντικείμενα χωρίς το ένα να καταστρέφει την όραση του άλλου. Ο αέρας μπορεί να μεταφέρει έναν απεριόριστο αριθμό χρωμάτων. Ο αέρας είναι ένα εργαλείο.

Ο Φιλόπονος συνέκρινε τη διάδοση του φωτός και του χρώματος στον αέρα με τον τρόπο που μας ζεσταίνει η φωτιά ακόμη και αν βρίσκεται μακριά. Η φωτιά ζεσταίνει τον γειτονικό της αέρα και αυτός ο αέρας ζεσταίνει με τη σειρά του το γειτονικό αέρα. Έτσι ο Φιλόπονος μιλά για την «Φωτιστική Δύναμη» που βγαίνει από τον Ήλιο η οποία ενεργεί άμεσα στο σώμα που είναι γειτονικό του και σε επαφή μαζί του και το κάνει διαφανές, και αυτό αφού γίνεται διαφανές έχει την δύναμη να ενεργήσει στα γειτονικά του σώματα (De Anima 330.8 -14).

Σύμφωνα με αυτή την εξήγηση το φως διαδίδεται όχι με μία κίνηση από τόπο σε τόπο αλλά με μια διαδοχή αποτελεσμάτων. Ο Φιλόπονος ισχυρίστηκε ότι αυτή η διάδοση γίνεται στιγμιαία χωρίς να χρειάζεται χρόνος (άχρονος).

Με αυτή τη θεωρία ο Φιλόπονος συμφιλιώνει τη γεωμετρική οπτική με την θεωρία της όρασης δια της εισόδου της «φωτιστικής δύναμης» στο μάτι.

Το φως και το χρώμα κινούνται ευθύγραμμα από τις πηγές τους. Ο Φιλόπονος έκανε τις αρχές της γεωμετρικής οπτικής ανεξάρτητες από την υπόθεση των ακτινών όρασης.

Για τους μελετητές υπάρχει πρόβλημα με την ερμηνεία της «άχρονης» διάδοσης φωτός. Ο Φιλόπονος ακολουθώντας τον Αριστοτέλη δεν πίστευε ότι η αλλαγή μπορεί να γίνει στιγμιαία. Ο Αριστοτέλης δεν πίστευε ότι η κίνηση μπορεί να γίνει στιγμιαία. Όμως ο Αριστοτέλης διαβεβαίωνε ότι φως «γίνεται» ταυτόχρονα σε όλα τα τμήματα του μέσου, αλλά αρνίσταν ότι το φως διασχίζει το μέσο σε απεριόριστα μικρή χρονική περίοδο. Το ότι η κίνηση του φωτός φαίνεται ότι δε χρειάζεται χρόνο μπορεί να ισχύει για μικρά χρονικά διαστήματα αλλά θα ήταν διαφορετική η κατάσταση για μεγάλες αποστάσεις.

Αναφέρεται στον Εμπεδοκλή που λέει ότι το φως από τον Ήλιο φτάνει πρώτα σε ένα ενδιάμεσο σημείο πριν να φτάσει στη γη. Ο Αριστοτέλης έκανε ξεκάθαρη τη σχέση μεταξύ κίνησης μέσα σε ένα μέσο και χρόνο. Πίστευε ότι ο ήχος και οι οσμές φτάνουν σε ένα ενδιάμεσο σημείο πριν να φτάσουν στο αισθητήριο όργανο. Όμως απέρριπτε αυτή την εξήγηση για το φως που κινείται από την πηγή στο μάτι. Το φως δεν κινείται στο μέσο ούτε χρειάζεται χρόνο. Για τον Αριστοτέλη το φως κάνει την παρουσία του ταυτόχρονα σε όλο το μέσο. Συνέκρινε την πραγμάτωση του φωτός στο μέσο με το πάγωμα. Όπως το πάγωμα, έτσι και το φως δε χρειάζεται να φτάσει στο μέσο πριν να φτάσει στο σκοπό. Συμβαίνει σε όλο το μέσο ταυτόχρονα. Βέβαια το πάγωμα χρειάζεται χρόνο.

Ο Φιλόπονος πήρε τη διατύπωση του Αριστοτέλη ότι το φως δεν είναι

είδος κίνησης ως μία ένδειξη ότι το φως είναι μια ενέργεια σε αντίθεση με την κίνηση. Γι αυτό δε χρειάζεται χρόνο για να γίνει ενεργό σε όλο το μέσο. Η διάκριση μεταξύ *ενέργειας* και *κίνησης* αρχίζει στα Μεταφυσικά Θ.6 όπου ο Αριστοτέλης διέκρινε μεταξύ πράξεων που έχουν ένα όριο και αυτών που δεν έχουν. Μια πράξη με όριο δείχνει ότι τείνει προς ένα στόχο. Όταν φτάσει στο στόχο η δράση σταματά. Μια τέτοια δράση (ενέργεια) είναι μία κίνηση γιατί η ίδια δεν είναι αυτή για την οποία αναλαμβάνεται η δράση. Υπάρχουν όμως άλλες πράξεις που περιέχουν το στόχο τους μέσα στην ίδια την πράξη.

Επίκουρος

Ο Επίκουρος έκανε λόγο για εκπομπή «ειδώλων» από τα αντικείμενα. Οι θεωρίες του Επικούρου και του Αριστοτέλη παρόλο που βρίσκονται σε αντίθεση ήταν ταυτόχρονα δεκτές από πολλούς όπως τον Αβικένα που είδε ότι η όραση είναι «εκπομπή του ειδώλου του σώματος» που έρχεται χωρίς εξαναγκασμό στο μάτι, χωρίς να εξέρχεται από το σώμα κάτι.

Στωικοί

Από τους Στωικούς ο Ζήνων ο Κιτιεύς έδωσε τη θεωρία για εκπομπή σωματιδίων - ακτι-νών από το μάτι, που δίνουν τον κώνο της όρασης με κορυφή το μάτι και βάση το σώμα.

Παρόμοιες ιδέες είχαν οι Ινδοί. Αργότερα ο Αλ Χαϊθάμ ονομάζει αυτούς που πίστευαν στην εκπομπή ακτίνων απ' το μάτι «οπαδούς των ακτινών» (*asḥāḥ al shua* أصحاب الشعاع).

2-Ελληνιστική εποχή

Η νέα οργάνωση της Οπτικής

Κατά την Ελληνιστική εποχή εμφανίζεται μια ενιαία αντιμετώπιση με βάση την εκπομπή φωτός από το μάτι.

Η Οπτική υποδιαιρείται:

α) Οπτική της παρατήρησης των σωμάτων στο ίδιο μέσο. Ο Αλ Χαϊθάμ ονομάζει το περιεχόμενο της ως «τρόπος με τον οποίο φτάνει η εικόνα του σώματος με ευθύγραμμη διάδοση». Ο Ελληνικός όρος Οπτική (από το ὄψεις = ακτίνες όρασης) μεταφράστηκε σε «Ορώμενα *Al Manaẓir المناظر*»

Η Οπτική ασχολείται με τη μεταβολή του μεγέθους και της απόστασης, θέμα που σήμερα απασχολεί την προοπτική. Στους Έλληνες ήταν γνωστή ως «Σκηνογραφία».

β)Κατοπτρική. Ο Αλ Χαϊθάμ περιγράφει ως θέμα της «την αντίληψη του ειδώλου του ανακλώμενου».

γ)Διοπτρική. Η Διοπτρική μελετά τα φαινόμενα όταν το σώμα και το μάτι δε βρίσκονται στο ίδιο διαφανές μέσο. Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί ως θέμα της «την αντίληψη του ειδώλου του σώματος με διάθλαση».

Ενώ στους Ευρωπαίους επικράτησε ο όρος «Οπτική» στους Άραβες επικρατούσε ο όρος «Μελέτη των ορατών». Η Οπτική της Ελληνιστικής εποχής δεν ασχολείται με την διάδοση του φωτός αλλά με τις ακτίνες από το μάτι. Για το θέμα της εστίασης του φωτός του Ήλιου με κοίλα κάτοπτρα («καίοντα κάτοπτρα») ασχολούνται σε ειδικά έργα.

Ευκλείδης

Το έργο της Οπτικής του Ευκλείδη έγινε γνωστό όταν μεταφράσθηκε από την Αραβική μετάφραση στα Λατινικά. Το έργο του Ευκλείδη το εξέδωσε ο Θέων (πατέρας της Υπατείας) τον 4ο αιώνα μ. Χ, προσθέτοντας και δικά του στοιχεία. Στη συνέχεια μεταφράστηκε στα αραβικά από τον Αλ Τούσι. Ο Ευκλείδης για τους Άραβες ήταν γνωστός ως Ευκλείδης ο Σύριος. Οι Άραβες μετέφρασαν πάνω από μία φορά τον Ευκλείδη και έκαναν αρκετές διορθώσεις στα θεωρήματα του.

Ο Ευκλείδης στο έργο του *Οπτική* ξεκινά με αξιώματα όπως και στη Γεωμετρία:

1. Οι ακτίνες που εκπέμπονται από το μάτι, διαδίδονται ευθύγραμμα.
2. Οι ακτίνες σχηματίζουν ένα κώνο που η κορυφή του είναι στο μάτι και η βάση στα όρια των παρατηρούμενων αντικειμένων.
3. Βλέπουμε τα αντικείμενα πάνω στα οποία προσπίπτουν οι ακτίνες όρασης.
4. Δεν βλέπουμε τα αντικείμενα πάνω στα οποία δεν προσπίπτουν οι ακτίνες όρασης.
5. Τα αντικείμενα που βλέπουμε με μεγαλύτερη γωνία φαίνονται πιο μεγάλα.
6. Τα αντικείμενα που βλέπουμε με μικρότερη γωνία φαίνονται πιο μικρά.
7. Τα αντικείμενα που βλέπουμε σε ίσες γωνίες φαίνονται ίσα.
8. Τα αντικείμενα που βλέπουμε με υψηλότερη γωνία φαίνονται πιο ψηλά.
9. Τα αντικείμενα που βλέπουμε με χαμηλότερη γωνία φαίνονται πιο χαμηλά.
10. Τα αντικείμενα που βλέπουμε με ακτίνες που κατευθύνονται στα δεξιά φαίνονται δεξιά.
11. Τα αντικείμενα που βλέπουμε με ακτίνες που κατευθύνονται στα αριστερά φαίνονται αριστερά.
12. Τα αντικείμενα που τα βλέπουμε μέσα από περισσότερες γωνίες διακρίνονται πιο καθαρά.
13. Όλες οι ακτίνες έχουν την ίδια ταχύτητα.
14. Δεν μπορούμε να δούμε τα αντικείμενα υπό οποιοδήποτε γωνία.

Το έργο του Ευκλείδη *Κατοπτρική* αποδίδεται από το Lejeune (1948) στο Θέοντα.

Ο Αλεξανδρινός Θέων τον τέταρτο αιώνα δίδασκε τον Ευκλείδη και ξεκάθαρα διατύπωσε ότι η διάδοση του φωτός γίνεται σε ευθείες γραμμές. Την ιδιότητα αυτή την είχαν και οι φωτεινές ακτίνες και οι ακτίνες όρασης. Δεν έβλεπε οι φωτεινές ακτίνες να έχουν καμία σημασία για την όραση. Επιπλέον έδωσε επιχειρήματα εναντίον αυτών που πίστευαν ότι η οπτική αντίληψη οφείλεται σε κάτι που εκπέμπεται από τα ορατά αντικείμενα και που το δέχεται το μάτι. Είπε ότι αν η όραση οφείλεται στην εισροή μιας οντότητας που εκπέμπεται από το αντικείμενο, τότε πως εξηγείται το γεγονός ότι πολλές φορές δεν αντιλαμβανόμαστε κάτι που είναι μέσα στο οπτικό μας πεδίο;

Οι αναφορές του σε ακτίνες όρασης και ακτίνες φωτός, δείχνουν ότι συμεριζόταν τις απόψεις του Πλάτωνα που εκφράζονται στον Τίμαιο.

Ἡρων

Δεν είναι γνωστό ακριβώς πότε έζησε ο Ἡρων. Ο εκδότης του έργου του Ἡρωνος Schmidt θεωρεί ότι έζησε τον πρώτο αιώνα μ.Χ. στην Αλεξάνδρεια.

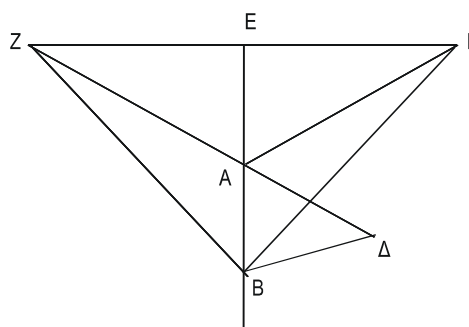
Ο Ἡρων θεωρεί ότι ο άνθρωπος κατά τον Πλάτωνα φθάνει στην αλήθεια με δύο αισθήσεις: την όραση και την ακοή.

Η θεωρία τις όρασης αναλύεται στην Οπτική, την Διοπτρική και την Κατοπτρική.

Ο Ἡρων διακρίνεται για την τάση να προκαλέσει το θαυμασμό στους αναγνώστες του. Για την κατοπτρική αναφέρει ότι μπορεί να μας δώσει την εικόνα του εαυτού μας ανεστραμμένη «με το κεφάλι προς τα κάτω, με τρία μάτια και δύο μύτες. Όμως δεν είναι μόνο για αξιοπερίεργα αλλά έχει και πρακτική χρησιμότητα.» Π.χ. μια χρησιμότητα είναι αν σταθεί κάποιος στο δρόμο να δει ποιοι είναι μέσα στο σπίτι.

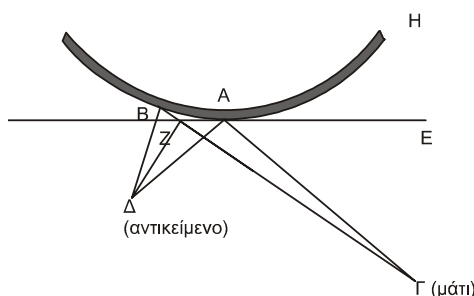
Δίνει εξηγήσεις για τη βάση με την οποία οι «ακτίνες της όρασης ανακλώνται στα κάτοπτρα» και δίνουν ανάκλαση σε ίσες γωνίες. Λέγει: «Εμείς βλέπομε με τις ακτίνες που φεύγουν από τα μάτια μας και κινούνται ευθύγραμμα, και θα το δείξουμε ως ακολούθως. Όλα αυτά που κινούνται με άπειρη ταχύτητα κινούνται ευθύγραμμα. Αυτό συμβαίνει και στα βέλη που φεύγουν από ένα τόξο. Εξαιτίας της δύναμης, το κινούμενο αντικείμενο αναζητά να κινηθεί σε μία ευθεία που δίνει την ελάχιστη διαδρομή και δεν έχει χρόνο σε μια πιο αργή κίνηση να κινηθεί σε μία γραμμή που δίνει μεγαλύτερη μετατόπιση. Αυτό δεν το επιτρέπει η δύναμη. Είναι προφανές ότι η ταχύτητα με την οποία θέλει να φτάσει το αντικείμενο, το κάνει να επιθυμεί να κινηθεί στον πιο σύντομο δρόμο. Η ευθεία είναι η πιο σύντομη από όλες τις γραμμές (καμπύλες) που έχουν τα ίδια άκρα.

Το ότι οι ακτίνες όρασης που φεύγουν από εμάς κινούνται με άπειρη ταχύτητα, μπορούμε να το δούμε από τα ακόλουθα. Αν κλείσουμε τα μάτια μας, και ξανακοιτάξουμε τον ουρανό, οι ακτίνες φτάνουν αμέσως χωρίς να μεσολαβεί κάποιο χρονικό



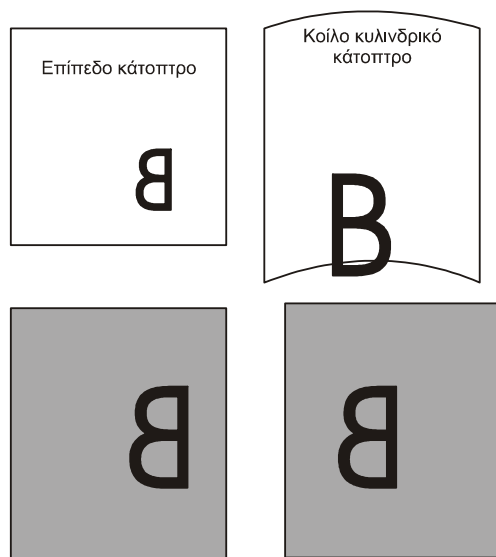
AB:το κάτοπτρο, ΓΑ :η ακτίνα όρασης (προσπίπτει στο κάτοπτρο.) Συνδέει το μάτι Γ με το σημείο Δ έτσι που $\angle EAG = \angle BAD$. Η αρχή του Ἡρωνα είναι ότι:
 $GA + GD < GB + BD$.
Έστω το Z συμμετρικό του Γ ως προς την AB και με την ισότητα $\angle BAD = \angle ZAE$ (κατά κορυφή) και $\angle ZAE = \angle EAG$ άρα $ZA = AG$, $ZB = BG$ και $ZA + AD < ZB + BD$ οπότε $GA + AD < GB + BD$

Εικόνα 1: Απόδειξη της αρχής ελάχιστου δρόμου



ΑΔ και ΓΑ σχηματίζουν ίσες γωνίες με το κάτοπτρο στο Α όμως οι ΒΔ και ΒΓ δεν έχουν ίσες γωνίες με το κάτοπτρο. Φέρουμε την εφαπτόμενη στο Α, σύμφωνα με την απόδειξη για τα επίπεδα, $GA + AD < GZ + ZD$, όμως $GZ + ZD < GB + BD$ άρα $GA + AD < GB + BD$

Εικόνα 2: Απόδειξη της αρχής του ελάχιστου δρόμου για κυλινδρικά κάτοπτρα



Διαφορά της συμπεριφοράς επίπεδου κατόπτρου και κοίλου κυλινδρικού κατόπτρου κατά τον Ήρωνα:
 α) Στο επίπεδο κάτοπτρο αν βάλουμε μπροστά του μία επιγραφή θα δούμε τα γράμματα ανάποδα.
 β) Στο κοίλο κυλινδρικό κάτοπτρο (λόγω του σχηματιζόμενου πραγματικού ειδώλου) είναι δυνατό να δούμε την επιγραφή μη ανεστραμμένη.

Εικόνα 3: Διαφορά στη συμπεριφορά επίπεδων και κυλινδρικών κατόπτρων

ένα συμπαγές σώμα. Από τα λεγόμενα του φαίνεται να πιστεύει σε ένα είδος «εμφυτευμένης δύναμης (impetus)» όπως αργότερα εκφράστηκε από τον Buridan. Λέγει: «όταν μία πέτρα πέσει πάνω σε σκληρό σώμα όπως σε ένα ξύλο ή τοίχο ανακλάται, ενώ αν πέσει σε ένα μαλακό σώμα όπως σε μαλλί, τότε μένει εκεί γιατί η δύναμη της εκτόξευσης τη συνοδεύει και σε ένα σκληρό σώμα την επιστρέφει πίσω και δεν είναι σε θέση να την προχωρήσει μπροστά, ενώ όταν προσκρούσει σε κάτι μαλακό, σταματά και αποχωρίζεται από την πέτρα. Το ίδιο συμβαίνει και με τις ακτίνες όρασης, οι οποίες όπως δείχθηκε από εμάς, φεύγουν από εμάς με μεγάλη ταχύτητα και ανακλώνται όταν πέφτουν πάνω σε συμπαγή στρώματα. Όμως στην επιφάνεια του νερού και στις γυάλινες πλάκες δεν ανακλώνται όλες οι ακτίνες, γιατί τα δύο υλικά έχουν πόρους και αποτελούνται από μικρά σωματίδια και στερεά υλικά που είναι συνενωμένα. Μέσα από το γυαλί και το νερό βλέπουμε αφενός τον εαυτό μας και τα αντικείμενα που είναι πίσω τους.»

Η θεωρία των πόρων στα υλικά αναπτύσσεται περισσότερο στα «Πνευματικά» όπου εξετάζει θέματα υδροδυναμικής.

Θεωρεί ότι η ανάκλαση υπακούει τους ίδιους νόμους - δηλ. ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης - στα επίπεδα και στα σφαιρικά κάτοπτρα. Με την ισότητα των γωνιών πρόσπτωσης και ανάκλασης δίνει την αρχή του ελάχιστου δρόμου για τα επίπεδα κάτοπτρα, (εικόνα 1) καθώς και για τα κυρτά κάτοπτρα (εικόνα 2).

Εξετάζει διάφορες ιδιότητες των κατόπτρων.

Για τα επίπεδα και τα κυρτά κάτοπτρα αποδεικνύει ότι οι ακτίνες δεν μπορούν να συγκλίνουν ούτε να είναι παράλληλες μετά την ανάκλαση.

διάστημα στον ουρανό. Την ίδια στιγμή που κοιτάζουμε προς τα πάνω βλέπουμε τα άστρα, αν και κατά κάποιο τρόπο η απόστασή τους είναι άπειρη. Και αν η απόσταση αυτή ήταν ακόμη μεγαλύτερη και επαναλαμβανόταν αυτή η διαδικασία, πάλι οι ακτίνες που φεύγουν από εμάς εκπέμπονται με άπειρη ταχύτητα. Επίσης με την εκπομπή τους δεν παθαίνουν καμία διακοπή στην κίνηση τους, ούτε αλλάζουν πορεία, αλλά κινούνται στην πιο μικρή πορεία δηλαδή στην ευθεία».

Για τα κατοπτρικά σώματα λέγει ότι είναι συμπαγή. Τα κάτοπτρα πριν λειανθούν έχουν πόρους από τους οποίους δε μπορούν να ξαναεπιστρέψουν οι ακτίνες όρασης. Παρομοιάζει την ανάκλαση με την περίπτωση που μια πέτρα πέσει με ορμή πάνω σε

Για τα κοίλα κάτοπτρα αποδεικνύει αυτό που ήταν ήδη γνωστό από τον Ευκλείδη, ότι αν το μάτι είναι στο κέντρο του τότε οι ακτίνες επιστρέφουν σ' αυτό, επίσης ότι οι ακτίνες συγκλίνουν όταν το μάτι είναι στην περιφέρεια.

Τον απασχολεί πολύ η κατασκευή ενός κατόπτρου που θα δείχνει το δεξί ως δεξί. Προς το σκοπό αυτό δίνει τις οδηγίες για την κατασκευή ενός κοίλου - κυλινδρικού κατόπτρου για το οποίο σε μια δεδομένη απόσταση μπορούμε να δούμε τα γράμματα κατά την ορθή φορά και όχι ανεστραμμένα όπως στα επίπεδα κάτοπτρα (εικόνα 3). Δε δίνει μία φυσική εξήγηση για το φαινόμενο. Μια διδακτική εφαρμογή του φαινομένου παρουσιάζεται στο 9ο κεφάλαιο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, άλλα «αξιοπερίεργα» με τα οποία ασχολείται, αφορούν εφαρμογές κατόπτρων για την πρόκληση θαυμασμού σε ειδωλο-λατρικούς ναούς.

Πτολεμαίος

Συνήθως το όνομα του Πτολεμαίου συνδέεται με τη «Μεγίστη Σύνταξη» και το γεωκεντρικό μοντέλο. Φαίνεται ότι στην ιστορία της Οπτικής καθοριστικό ρόλο έπαιξαν άνθρωποι που ασχολήθηκαν κυρίως με την Αστρονομία. Πράγματι και ο Κέπλερ, που είναι και αυτός πιο πολύ γνωστός για τους ομώνυμους νόμους της κίνησης των πλανητών, θεωρείται ότι είναι αυτός που έδωσε τη μορφή που γνωρίζουμε σήμερα στη γεωμετρική οπτική.

Το έργο του Πτολεμαίου δε σώθηκε ούτε στα Ελληνικά ούτε στα Αραβικά. Ο Αλ Χαϊθάρ αναφέρεται στο έργο αυτό. Όμως δεν είχε την ίδια εξάπλωση όπως το έργο του Ευκλείδη. Στη Λατινική μετάφραση λείπει το πρώτο βιβλίο, που όμως έλειπε και στο Μεσαίωνα στα Αραβικά. Ο Αλ Χαϊθάρ αναφέρει ότι «το πρώτο βιβλίο είναι χαμένο».

Η παρουσίαση του έργου του Πτολεμαίου που ακολουθεί βασίζεται κυρίως στο έργο του Lejeune (1948).

Ο Δαμιανός (από τη Λάρισα πιθανόν του 4ου αιώνα μ.Χ.), μας αναφέρει τα ακόλουθα δεδομένα στην περίληψη του για το πρώτο βιβλίο της Οπτικής του Πτολεμαίου όπου αναφέρει συμβάντα («accidents» κατά τον Lejeune).

Τα ίδια διαφανή μέσα διαθλούν τις φωτεινές ακτίνες και τις ακτίνες όρασης (όψεις). Αυτές επίσης ανακλώνται με ίσες γωνίες σε αδιαφανείς και στυλπνές επιφάνειες και οι μεν και οι δε χρωματίζονται με ανάκλαση και διάθλαση. Π.χ. το φως του ήλιου όταν διαπερνά ένα σύννεφο πορφυρό, χρωματίζεται και μεταδίδει αυτή την απόχρωση σε όλα τα σώματα που φωτίζει κατά παρόμοιο τρόπο η ροή της όρασης που διασχίζει ένα έγχρωμο μέσο ή που ανακλάται πάνω σε ένα ακάθαρτο καθρέφτη μεταδίδει στα σώματα που είναι μετά από αυτό την πρώτη «εντύπωση».

Ο Δαμιανός ονομάζει αυτά τα συμβάντα *πάθη* της ροής όρασης και του φωτός. Ο Πτολεμαίος αναφερόμενος στις οπτικές απάτες, μιλά για «πάθη» των ακτίνων όρασης. Μεταξύ των παθών που αναφέρει είναι ο χρωματισμός (coloratio), θλάση (fractio) που περιλαμβάνει την ανάκλαση (reverberatio) και τη διάθλαση (flexio).

Επειδή στην περικοπή αυτή αναφέρεται πολύ σύντομα για τις ακτίνες όρασης, δίνει την εντύπωση ότι έχει ήδη ασχοληθεί με το θέμα.

Κάνει αναφορά χωρίς να λέει περισσότερα για την ανάκλαση και την διάθλαση της φωτεινής ακτίνας. Την πρώτη φορά αναφέρεται και στις φωτεινές και στις ακτίνες όρασης ταυτόχρονα *in rebus, quas lumen penetrat, cum de radio lumini: quomodocumque incidentis fiat flexio....*

Τη δεύτερη αναφέρεται σε προηγούμενες αναφορές. Έχει μιλήσει προηγουμένως για το ότι η διάθλαση παράγεται σε διάφορους βαθμούς σε αραιά μέσα, ότι η ακτίνα θλάται χωρίς κρούση στην επιφάνεια διαχωρισμού, και ότι αυτό συμβαίνει επίσης και καθώς περνά μέσα από ένα πιο πυκνό μέσο σε ένα πιο αραιό, και ότι είναι αντίστροφη από την περίπτωση από πυκνό σε αραιό.

Ο Lejeune έδωσε εικασίες για τη θεωρητική ανάλυση του πρώτου βιβλίου: ο Πτολεμαίος θα πρέπει να εφάρμοσε τους νόμους της μηχανικής. Υπάρχουν τέτοιες αναφορές στα βιβλία που διατηρήθηκαν. Η ανάκλαση της οπτικής ακτίνας παρομοιάζεται με την κρούση ενός βλήματος σε ένα στερεό τοίχωμα. Η διάθλαση της οπτικής ακτίνας είναι όμοια με τη μετάβαση ενός κινητού σε ένα μέσο που προσφέρει περισσότερη ή λιγότερη αντίσταση στη διείσδυση.

Δεν έχουμε τις αρχές της μηχανικής που κάνει επίκληση. Δε φαίνεται να έχει κάποια σχέση με την αρχή του ελάχιστου δρόμου του Ήρωνος. Ένα αρκετά σκοτεινό απόσπασμα μαρτυρεί ότι εξηγεί ταυτόχρονα την ανάκλαση και τη διάθλαση κάνοντας επίκληση σε μια συγγενή ιδέα, της διατήρησης της ενέργειας. (Φαίνεται παράδοξο ότι η ανάκλαση και η διάθλαση μπορούν να θεωρηθούν δύο ειδικές περιπτώσεις του ίδιου φαινομένου: *dignoscetur responsio, et quod necessario oportet sic fieri per ea quae exposuerimus, ex quibus dignoscetur etiam res mirabilior, videlicet et cursus naturae in conservandis actibus virtutis*. Πιθανόν να αναφέρεται σε ένα κατοπινό έργο.)

Πιθανόν να περιέγραφε κάποιο πείραμα που έδειχνε το φαινόμενο της ανάκλασης και της διάθλασης της φωτεινής ακτίνας.

Χρωματισμός

Δεν έχουμε καμία ένδειξη ότι είχε προσεγγίσει το θέμα όπως ο Δαμιανός. Φαίνεται ότι δεχόταν ομοιότητες για τις φωτεινές ακτίνες και τον τρόπο διάδοσης του φωτός (όπως έκανε αργότερα ο Αλ Χαϊθάμ).

Παραγωγή του χρωματισμού: Αναφέρεται σε μετεϊκασμάτα: αν παρατηρήσουμε ένα λαμπρό χρώμα και μετά φέρουμε το βλέμμα μας σε ένα άλλο αντικείμενο, η πρώτη εντύπωση, που είναι πολύ ζωντανή, παραμένει μέσα στον οπτικό κώνο και υπερτίθεται στις νέες εντυπώσεις. Ο Πτολεμαίος το θεωρεί παρόμοιο με το φαινόμενο που παράγεται όταν παρατηρούμε δια μέσου μιας πολύ λεπτής έγχρωμης (ημιδιαφανούς) οθόνης: οι ακτίνες όρασης μεταφέρουν μια εντύπωση του χρώματος που την ανακατεύουν με το χρώμα της οθόνης και που δίνει το χρώμα του σώματος που είναι πίσω.

Ο χρωματισμός παράγεται με ανάκλαση της ροής της όρασης σε ένα έγχρωμο κάτοπτρο:, οι ακτίνες της όρασης θεωρούνται ότι μεταφέρουν

στο σώμα την εντύπωση που αποκτήθηκε με την επαφή με το κάτοπτρο. Το ίδιο συμβαίνει με τη διάθλαση: αν το μέσο που τίθεται ανάμεσα στα αντικείμενα έχει ένα πολύ κορεσμένο χρωματισμό, αυτός εντυπώνεται πολύ έντονα στις ακτίνες όρασης και κυριαρχεί τελείως στα χρώματα των αντικειμένων που είναι τοποθετημένα πίσω από το διαφανές μέσο, αν το ενδιάμεσο σώμα δεν έχει κορεσμένο χρωματισμό τότε τα χρώματα αναμειγνύονται.

Θα πρέπει να είχε κάνει αναφορές σε παρατηρήσεις που αφορούν την ίδια φύση των φωτεινών ακτίνων και ακτίνων όρασης.

Για τους Άραβες τα σπουδαιότερα αποτελέσματα του Πτολεμαίου ήταν:

α) η εκτίμηση της απόστασης από τις ακτίνες και τα χρώματα. Ο Αλ Χαϊθάμ διόρθωσε τη μέθοδο του Πτολεμαίου σ' αυτό το θέμα. β) Η μελέτη της διάθλασης και τα αποτελέσματα του. Ο Αλ Χαϊθάμ επανέλαβε τις μετρήσεις του Πτολεμαίου για τις ίδιες τιμές της γωνίας πρόσπτωσης με μια συσκευή πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας.

Αξία που αποδίδεται στην έννοια της ακτίνας όρασης

Σύμφωνα με τον Lejeune πολλοί γεωμέτρες οπτικοί θεωρούσαν ως εξίσου δεκτές τις θεωρίες της εκπομπής ειδώλων από τα αντικείμενα (Δημόκριτος - Επικούρειοι), τη τάση ή την συμπύκνωση του αέρα από ένα *πνεύμα* όρασης (Στωικοί) και τις ακτίνες που εκπέμπει το μάτι. Οι γεωμέτρες έδωσαν τόσο αδιάσειστα αποτελέσματα και αποδείξεις που τις χρησιμοποιούσαν ακόμη και αυτοί που είχαν άλλες εξηγήσεις. Αυτό φαίνεται στον Αριστοτέλη (που όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ενώ δε δέχεται τις ακτίνες όρασης, τις χρησιμοποιεί για να εξηγήσει το ουράνιο τόξο). Και οι Στωικοί που προσπαθούσαν να δώσουν στα οπτικά φαινόμενα μια εξήγηση που ήταν σύμφωνη με τις θεωρίες τους για τη Φυσική, ταυτόχρονα δεχόντουσαν τα αποτελέσματα της Οπτικής. Μπορούμε φαίνεται να δώσουμε στις δομές αυτές μια αξία *συμβόλου*· όπως στην αστρονομία έτσι κι εδώ, οι δομές αυτές καλούνται «σώζουν τα φαινόμενα».

Οι γεωμέτρες-οπτικοί δε δίσταζαν να αποδώσουν στις ακτίνες όρασης μια φύση φωτεινή και να εφαρμόζουν σ' αυτές τις αρχές της μηχανικής.

Προβλήματα με τις ακτίνες όρασης

Από τη στιγμή που έχουν συγκεκριμένη ύπαρξη οι ακτίνες όρασης, η αναπαράσταση τους από ευθείες γίνεται ανεπαρκής. Είναι αδύνατο να δεχτούμε ότι οι ακτίνες ανάγονται σε μία μόνο διάσταση και ότι έχουμε άπειρο αριθμό στον οπτικό κώνο. Μπορούμε να φανταστούμε ότι είναι πεπερασμένου αριθμού, και ότι τελικά ο οπτικός κώνος δεν είναι τελείως γεμάτος από αυτές. Πιθανόν αυτές οι ακτίνες να *αφήνουν μεταξύ τους διαστήματα* που από κάποια απόσταση φαίνονται αμελητέα.

Το 3ο θεώρημα της Οπτικής του Ευκλείδη αποδεικνύει ότι, αν ένα σώμα απομακρύνεται αρκετά, εξαφανίζεται γιατί πέφτει μέσα στο διάστημα που χωρίζει δύο διπλανές ακτίνες.

Στο 1ο θεώρημα η ύπαρξη αυτών των διαστημάτων υποχρεώνει να δεχτούμε ότι κανένα αντικείμενο δεν γίνεται ορατό στην ολότητα του. Για να μην έρθει σε αντίφαση με την κοινή εμπειρία, ο Ευκλείδης υποθέτει ότι οι ακτίνες όρασης διατρέχουν γρήγορα το σώμα. Στο 2ο θεώρημα εξάγει ότι ένα αντικείμενο θα φαίνεται πιο καθαρά αν είναι κοντά γιατί αποκόπτει περισσότερες ακτίνες όρασης.

Για τον Ευκλείδη υπάρχει ένας δεδομένος (πεπερασμένος) αριθμός ακτινών όρασης οι οποίες δεν βρίσκονται σε επαφή η μία με την άλλη. Δεν είναι σωστό να θεωρήσουμε ότι η ιδέα του Ευκλείδη αντιστοιχεί στην σύγχρονη άποψη του μωσαϊκού που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή. Δεν υπάρχει καμία παρατήρηση του Ευκλείδη που να δίνει μια τέτοια εντύπωση. Δεν ισχυριζόταν τίποτε παραπάνω από την ιδέα ότι είμαστε υποχρεωμένοι να διατρέξουμε με τα μάτια μας ένα αντικείμενο μεγάλων διαστάσεων για να δούμε καθαρά όλα του τα μέρη. Για να δικαιολογήσει ο Θέων το 1ο θεώρημα του Ευκλείδη έκανε παρατηρήσεις που δείχνουν την αδυναμία των περιφερειακών αισθήσεων, αλλά αυτό δεν αντανakλά κατ' ανάγκη τις απόψεις του Ευκλείδη.

Ο Ευκλείδης μίλησε για μια κίνηση του σημείου προς το οποίο συγκεντρώνεται η προσοχή των ματιών αλλά δεν ξεκαθάρισε ακριβώς το ρόλο αυτής της κίνησης.

Ο Πτολεμαίος μελέτησε προσεχτικά το θέμα. Εναντιώνεται εναντίων «κάποιων» που πίστευαν πως όταν παρατηρούμε ένα σώμα από μακριά φαίνεται μικρότερο λόγω του μικρότερου αριθμού ακτινών όρασης που το φτάνουν, και ότι αυτό εξαφανίζεται όταν δεν το φτάνει καμία ακτίνα όρασης γιατί πέφτει μέσα στο διάστημα που δεν έχει ακτίνες.

Ο Πτολεμαίος ερεύνησε τα θεωρήματα του Ευκλείδη. Πίστευε ότι θα ήταν δεκτά αν η ποσότητα των ακτινών όρασης που διακόπτονται από το αντικείμενο ήταν μια συνάρτηση του ανοίγματος της γωνίας με την οποία βλέπομε το αντικείμενο. Στην πραγματικότητα αυτή η ποσότητα εξαρτάται από ένα παράγοντα που ονομάζει «*accumulatio et congregatio*» (συσσώρευση και συγκέντρωση) ακτινοβολίας.

Δε θεωρεί ότι έχουμε μια συγκέντρωση ακτινών όρασης με συμπύκνωση. Αυτό θα υπονοούσε ότι τα διαστήματα που απέρριπτε υπήρχαν. Θα έπρεπε να δεχτεί ότι μεταβάλλεται το πεδίο όρασης πράγμα που επίσης απορρίπτει. Πρόκειται μάλλον για μια συγκέντρωση ενέργειας που δίνει την πυκνότητα της ενέργειας όρασης. Τα δεδομένα φαίνεται να του επιβεβαιώνουν αυτή την ερμηνεία. Όταν για κάποιο λόγο ο αριθμός των ακτινών που διακόπτονται από ένα αντικείμενο μεταβάλλεται, το φαινόμενο μέγεθος αυξάνει ή ελαττώνεται κατ' αναλογία. Έτσι το αντικείμενο φαίνεται πιο μεγάλο όταν το παρατηρούμε με τα δύο μάτια αντί για το ένα και πιο μικρό όταν το παρατηρούμε μέσα από ένα διαφανές μέσο που προκαλεί κάποιες απώλειες «*deperditio*». Ο Πτολεμαίος υποθέτει ότι οι αντίπαλοι του θεωρούν ότι δύο κώνοι όρασης περιέχουν περισσότερες ακτίνες από ένα και ότι ένα διαφανές μέσο σταματά την κίνηση ενός αριθμού ακτινών όρασης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις αυτός δέχεται μόνο μια διαφορά στην «ποσότητα δύναμης» που ασκείται στο σώμα και που αυτή μόνο θα έχει ως υποκειμενικό αποτέλεσμα την αύξηση ή ελάττωση της οπτικής οξύτητας.

Ο Πτολεμαίος απορρίπτει λοιπόν τον καθορισμένο αριθμό των ακτινών που κατανέμονται κατά ένα ομογενή τρόπο σε ένα οπτικό κώνο. Όταν μιλά για ποσότητα ακτίνων, δε θεωρεί ότι έχει μια συλλογή από αριθμήσιμα στοιχεία που είναι διακριτά: μιλά πλαγίως για *ένταση της ακτινοβολίας*.

Τις αποκλίσεις (διαστήματα) μεταξύ των ακτινών είναι τις απορρίπτει ως ανοησία. Οι ακτίνες όρασης μας δίνουν μόνο σημεία, έτσι λοιπόν τα μέρη του σώματος δε θα φαινότουσαν, το σώμα δε θα φαινόταν καθόλου. Για τον Πτολεμαίο οι ακτίνες είναι συνεχείς *Opportet autem cognoscere quod natura visibilis radii, in his quae sensus consequitur, continua*.

Από όλα αυτά έχουμε την εξής αρχή: πρέπει να δώσουμε μια αυστηρή γεωμετρική έννοια στις έννοιες που επεξεργαστήκαμε. Οι ακτίνες όρασης έχουν μία μόνο διάσταση. Μια γωνία όρασης είναι συνεχής και περιέχει μία απειρία ακτινών όρασης. Κάθε ακτίνα δίνει ένα σημείο, αλλά εφόσον οι ακτίνες είναι συνεχείς, ο κώνος όρασης μας καταγράφει συνεχώς.

Από την άλλη όμως ο Πτολεμαίος δίνει μια φύση αιθέρια στην ροή της όρασης και υποθέτει ότι υπακούει στους νόμους της μηχανικής. Πως συμφιλιώνει αυτήν την αντίληψη με την προηγούμενη; Οι ακτίνες όρασης δεν είναι λοιπόν καθαρά συμβολικές χωρίς υλική ύπαρξη, ούτε όμως και υλικές υποστάσεις που αναπαριστώνται επαρκώς με γεωμετρικές έννοιες.

Ο Πτολεμαίος είχε αποδείξει πειραματικά την ευθύγραμμη διάδοση της ροής όρασης. Ενώ όμως δεν περίμενε πειραματικά να απομονώσει μια ακτίνα με τη βοήθεια π.χ. βελονών, έβγαζε το συμπέρασμα ότι το φαινόμενο της διάδοσης των ακτινών όρασης είναι παρόμοιο με μια δέσμη βελών που η κοινή τους αρχή είναι ένα καθορισμένο σημείο στο εσωτερικό του ματιού και που το σημείο τερματισμού είναι το αδιαφανές αντικείμενο.

Για τον Πτολεμαίο αυτές οι γεωμετρικές δομές της Οπτικής μετάφραζαν την αδιάψευστη αλήθεια ότι ο κώνος όρασης δίνει την αντίληψη ενός συνεχούς που όλα του τα μέρη όσο μικρά και αν τα φανταστούμε, φαίνονται σαν να ακολουθούν τις κατευθύνσεις που έρχονται σε ένα μοναδικό σημείο. Η αναπαράσταση πρέπει να μείνει γεωμετρική. Αν προσπαθήσουμε να της δώσουμε υλική υπόσταση, ή να την αριθμητικοποιήσουμε, τότε την διαψεύδουμε. Η ροή όρασης δεν αποτελείται πλέον από ένα δεδομένο αριθμό ακτινών όρασης που είναι ατομικές.

Αν οι υποθέσεις μας είναι σωστές δεν βλέπουμε ποια άλλη υπόθεση μπορούσε να εξηγήσει αυτά που ήδη γνωρίζουμε – Ο Πτολεμαίος είχε μια αρκετά σωστή αντίληψη για αυτό που έπρεπε να είναι η αναπαράσταση των δεδομένων της εμπειρίας στη μαθηματική φυσική.

Κατά τον Lejeune, αν και ξέρουμε ότι ο Πτολεμαίος στηρίχτηκε σε φυσική φιλοσοφία και σε μηχανική, δε μπορούμε να γνωρίζουμε τι ακριβώς πίστευε.

Μπορούμε να δούμε ότι ο Πτολεμαίος διαφέρει πολύ στην προσέγγιση των φαινομένων από τον Ευκλείδη. Η Οπτική από τον Ευκλείδη στον Πτολεμαίο έσπασε το στενό πλαίσιο της εφαρμοσμένης γεωμετρίας για να γίνει μια φυσική επιστήμη.

Ἐπεὶ πῶς ἂν αἱ τοῦ
ἡλίου ἀκτῖνες, ... αἱ
μέν ἀνεκλῶντο πρὸς
τον ἄνω τόπον...

Τι σημασία είχε αυτή η εξέλιξη: Στην αρχαιότητα είχε αναπτυχθεί η γεωμετρία της φωτεινής ακτίνας που φαίνεται ότι είχε αναπτυχθεί κατά το μάλλον ἢ ἥττον ανεξάρτητα από την ακτίνα ὁρασης. Πολλές φορές αποδίδονται ίδιες ιδιότητες στα δύο είδη ακτίνων, πράγμα που παρουσιάζεται στην οπτική του Ἡρώνα και στα Πνευματικά του. Στα Πνευματικά π.χ. γράφει: (Schmidt, 1976) (κείμενο στο περιθώριο) „επειδή οι ακτίνες του ἡλίου.. οι οποίες ανακλούνται πρὸς τα πάνω“ ενώ στη Οπτική του μιλάει με τον ίδιο τρόπο μόνο για ακτίνες ὁρασης. Με το να θεωρηθεί ο Πτολεμαῖος ότι η ακτίνα ὁρασης είναι πραγματικότητα φυσική και πειραματική, ἔθετε το πρόβλημα της φύσης και των ιδιοτήτων αυτού του φωτός. ἔκανε σύμπτυξη της οπτικής των ακτίνων ὁρασης με τις φωτεινές ακτίνες.

Στα βιβλία II ἕως V της Οπτικής ο Πτολεμαῖος αναπτύσσει την θεωρία του κώνου ὁρασης. Ὅμως η θεωρία του φωτός του πρώτου βιβλίου πρέπει να ἔπαιξε σημαντικό ρόλο σύμφωνα με τον Lejeune.

Εἶναι αιχμάλωτος της παραδοσιακής θεωρίας, δε τολμά να ακολουθήσει τα συμπεράσματα του ως το τέλος. Μερικούς αἰῶνες αργότερα ο ἄραβας Ἀλ Χαϊθάμ το κάνει για αυτόν: αναγνωρίζει ότι το φῶς εἶναι ο μόνος ἐνδιάμεσος μεταξύ του αντικειμένου και του ματιοῦ και φαντάζεται μια θεωρία της υποδοχῆς του φωτός για το μάτι που δίνει μια βάση νόμιμη για τις ακτίνες ὁρασης ως μια γραμμὴ που κατασκευάζεται με βάση την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός.

Στο κεφάλαιο για την ὁραση θα εξεταστούν οι ἀπόψεις του Πτολεμαίου για την ὁραση και ἰδιαίτερα για την διόφθαλμη ὁραση και η ἀποψη του Ἀλ Χαϊθάμ γι' αυτό το θέμα.

Ανάκλαση και διάθλαση

Την ἀνάκλαση την εξετάζει στο τρίτο και τέταρτο βιβλίο. Για την ἀνάκλαση ἔδωσε 3 κανόνες (Ναζίφ 1942)

Κανόνας I: Το εἶδωλο που βλέπουμε με ἀνάκλαση, το παρατηρούμε στην ευθεία που ακολουθεῖ η ακτίνα που ἐξέρχεται ἀπὸ το μάτι μέχρι το σημεῖο του καθρέφτη ὅπου συμβαίνει η ἀνάκλαση της.

Κανόνας II: Η θέση του εἰδώλου του αντικειμένου εἶναι το σημεῖο ὅπου συναντιούνται η ευθεία αὐτῆς της ακτίνας με την προέκταση της καθετοῦ που προέρχεται ἀπὸ αὐτήν πάνω στην ἐπιφάνεια του ἀνακλόντος αν εἶναι ἐπίπεδο ἢ στο ἐφαπτομενικό ἐπίπεδο αν εἶναι κυρτό ἢ κοίλο.

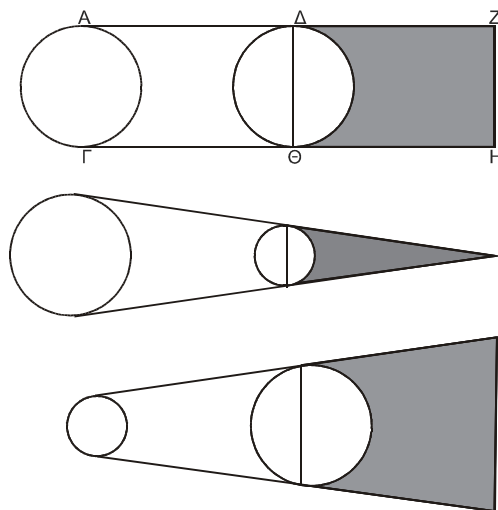
Κανόνας III: η γωνία πρόσπτωσης ἰσοῦται με τη γωνία ἀνάκλασης. Οι δύο ακτίνες αὐτὴ που ἐξέρχεται ἀπὸ το μάτι και η ἀνακλῶμενη, βρίσκονται στο ἴδιο ἐπίπεδο με την κατακόρυφη.

Για τη μελέτη της ἀνάκλασης ο Πτολεμαῖος χρησιμοποίησε ἐιδική συσκευή.

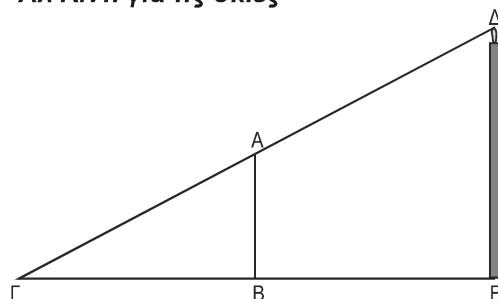
Μελέτησε και τα κοῖλα κάτοπτρα.

Στο πέμπτο βιβλίο ἔχει πειράματα για τη διάθλαση. Η μελέτη του Πτολεμαίου και τα πειράματα του για τη διάθλαση παρουσιάζονται στο 8ο κεφάλαιο

Στο πέμπτο βιβλίο περιλαμβάνεται μια εφαρμογή της διάθλασης στην παρατήρηση των ουρανίων σωμάτων έτσι που να μη φαίνονται στις σωστές τους θέσεις. Ο Πτολεμαίος θεώρησε την διάθλαση των ακτίνων που βγαίνουν από το μάτι στον αέρα και μετά στον «αιθέρα» δηλαδή στο χώρο πάνω από τη Σελήνη. Έβγαλε το συμπέρασμα ότι τα σώματα φαίνονται πιο κοντά από την πραγματική τους θέση, και βλέπουμε την ανύψωση τους από τον ορίζοντα μεγαλύτερη από ότι είναι στην πραγματικότητα. Αυτή η διαφορά αυξάνει καθώς πλησιάζουν τα σώματα αυτά τον ορίζοντα. Όμως δεν ήξερε το ύψος του αέρα, ή το ύψος του «ουράνιου θόλου». Μια ανάπτυξη του Αλ Χαϊθάμ γι' αυτό το θέμα υπάρχει στο 4ο κεφάλαιο.



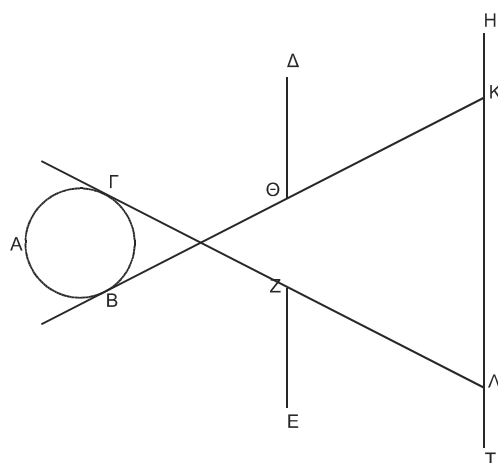
Εικόνα 4: Σφάλματα του Αλ Κίντι για τις σκιές



Εικόνα 5: Χρήση του κεριού για την απόδειξη της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός

Συμπεράσματα για τον Πτολεμαίο

Ο Πτολεμαίος έχει κατ' ουσία την ίδια επιστήμη με τον Ευκλείδη αλλά σε μια χρονική απόσταση 4 αιώνων έχει εκτιμήσει σύμφωνα με Nicholas Wade (1998) ότι: α) το φως θα πρέπει να θεωρηθεί ως συνεχές και όχι ως ασυνεχές, β) το χρώμα είναι ένα συστατικό του φωτός, γ) το μέγεθος που αντιλαμβάνεται η όραση δεν μπορεί να εξισωθεί με την γωνία όρασης, δ) η όραση δεν είναι ίση σε όλες τις περιοχές της „Οπτικής Πυραμίδας“, ε) χρειάζεται να συνδυαστούν οι δύο „Οπτικές Πυραμίδες“ για να εξηγηθεί η όραση. (στο 4ο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θέμα της διόφθαλμης όρασης).



Εικόνα 6: Κυκλική πηγή και σπή

Άλλοι ερευνητές της Οπτικής στους Ελληνιστικούς χρόνους.

Μια εφαρμογή της ιδέας της διάθλασης του Πτολεμαίου έχουμε από τον Κλεομήδη που προσπάθησε να εξηγήσει την ύπαρξη εκλείψεων Σελήνης ενώ ακόμη ο Ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα. Κανονικά στην έκλειψη Σελήνης η σκιά της Γης πέφτει στη Σελήνη. Ο Κλεομήδης χρησιμοποίησε τον παραλληλισμό της ράβδου που βυθίζεται κατά μέρος στο νερό. Το τμήμα που είναι βυθισμένο φαίνεται πιο κοντά στην επιφάνεια, και ο Κλεομήδης προχώρησε στην ιδέα ότι η ακτίνα που εξέρχεται από το μάτι

και βλέπει τον Ήλιο ή τη Σελήνη διαθλάται καθώς διαπερνά τη σφαίρα του αέρα στη σφαίρα του ουρανού, και αυτή είναι η αιτία που βλέπουμε τα δύο σώματα ταυτόχρονα πάνω από τον ορίζοντα.

Ο Αρχιμήδης αναφέρεται από τον Αλ Χαϊθάμ και ο Ανθέμιος. Αυτοί ασχολήθηκαν με τα κοίλα κάτοπτρα.

3- Άραβες μελετητές της οπτικής πριν από τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Από τους Ισλαμιστές αναφέρονται ο Ιακούμπ Ιμπν Ισχακ Αλ Κίντι, που ήταν διάσημος φιλόσοφος (πέθανε το 873 μ.Χ.) και ασχολήθηκε με θέματα οπτικής. Το έργο του μεταφράστηκε στα λατινικά. Βασίστηκε στον Ευκλείδη, τον Ήρωνα και τον Πτολεμαίο.

Με την Οπτικοί ασχολήθηκαν επίσης γιατροί και ανατόμοι που περιέγραψαν το μάτι. Μεταξύ τους ο Χουνάιν Ιμπν Ισχακ, ο Κουνσταντίν Μπιν Λουκά, και ο Αρπα Μπακρ Αλ Ράζι.

Αλ Κίντι

Ο Ya' qub ibn Ishaq al Kindi πέθανε το 873. Ο Αλ Κίντι σεβόταν πολύ τους αρχαίους. Έβλεπε ως καθήκον του να μεταδώσει, να συμπληρώσει και να διορθώσει το σώμα της αρχαίας γνώσης.

Μεταξύ άλλων έγραψε ένα έργο για την Οπτική που η Λατινική του μετάφραση «*De aspectibus*» άσκησε μεγάλη επίδραση στην Ισλαμική και Δυτική Οπτική σε όλο το μεσαίωνα.

Η μελέτη της Οπτικής είχε σημασία για τη φιλοσοφία της φύσης του Αλ Κίντι. Το βα-σικό θέμα που εκφράζεται στο έργο του «*De radiis stellarum*» είναι η παγκόσμια δράση της φύσης που ασκείται με την ακτινοβολία δύναμης ή ισχύος. Το κάθε τι είτε είναι ουσία είτε είναι κάτι περιστασιακό, παράγει ακτίνες όπως έ-να άστρο. Αυτή η ακτινοβολία συνδέει όλο τον κόσμο σε ένα ευρύ δίκτυο, όπου το κάθε τι επιδρά σε όλα τα άλλα και παράγει φυσικά φαινόμενα. Τα άστρα επιδρούν στο γήινο κόσμο, η φωτιά, οι μαγνήτες, ο ήχος και τα χρώματα επιδρούν στα αντικείμενα που βρίσκονται κοντά τους.

Η Οπτική έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί ασχολείται με το πιο θεμελιακό από όλα τα φυσικά φαινόμενα, την εκπομπή ισχύος.

Η υπεράσπιση του Αλ Κίντι για την θεωρία εκπομπής (ακτινών από το μάτι)

Το έργο του Αλ Κίντι *De aspectibus* δεν είναι μια απλή αναθεώρηση της Οπτικής του Ευκλείδη. Σ' αυτό κάνει μια βαθιά κριτική στη θεωρία της όρασης του Ευκλείδη και ταυτόχρονα διορθώνει τον Ευκλείδη σε μερικά βασικά σημεία.

Α. Υποθέσεις του Ευκλείδη.

Ο Ευκλείδης έκανε μερικές υποθέσεις που τις παρουσίασε ως αξιώματα.

1) Η πρώτη είναι το αξίωμα της ευθύγραμμης διάδοσης των ακτινών όρασης. Ο Αλ Κίντι προσπαθεί να δείξει ότι η ευθύγραμμη διάδοση μπορεί

να αποδειχτεί. Όμως στην πραγματικότητα δεν αποδεικνύει την ευθύγραμμη διάδοση των ακτινών όρασης αλλά των ακτινών του φωτός. Πρέπει να πιστεύε στην ταυτότητα των ακτινών όρασης και των ακτινών του φωτός.

Για το θέμα αυτό δίνει 6 προτάσεις.

Στις πρώτες 3 προσπαθεί να δείξει την ευθύγραμμη διάδοση των φωτεινών ακτινών με τη θεώρηση των σκιών που δίνουν αδιαφανή αντικείμενα (εικόνα 4). Ένα σώμα που είναι ίσου μεγέθους με ένα φωτεινό αντικείμενο δίνει κυλινδρική σκιά, αν είναι μεγαλύτερο δίνει αποκλίνουσα σκιά και το αντίθετο αν είναι μικρότερο.

Όπως παρατηρούμε στα σχήματα αυτά ο Αλ Κίντι δε λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα της παρασκιάς. Τα σχήματα αυτά ήταν αιτία επαναλαμβανόμενων παρανοήσεων. Το άνω όριο της σκιάς είναι η εφαπτομένη ΑΔΖ ενώ το κάτω όριο της σκιάς η εφαπτομένη ΓΘΗ.

Σύμφωνα με μια άλλη πρόταση χρησιμοποιείται ένα κερί που ρίχνει μια σκιά, οπότε μπορούμε να δούμε από τη σκιά ότι το άκρο της είναι στην ίδια ευθεία που βρίσκεται η κορυφή Α του εμποδίου ΑΒ με την κορυφή του κεριού Δ.

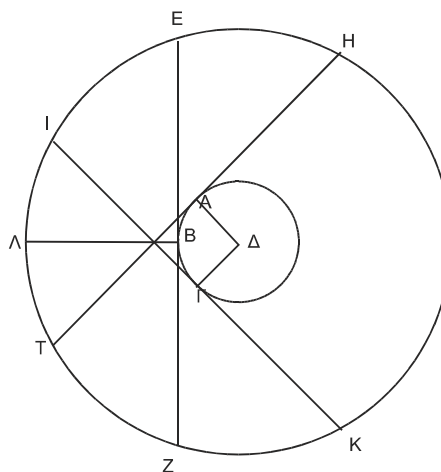
Μια άλλη απόδειξη της ευθύγραμμης διάδοσης ήταν και αυτή αφορμή για μια ακόμη παρανόηση.

Αν μια φωτεινή πηγή (κύκλος ΑΒΓ) τοποθετηθεί μπροστά σε μία οπή ΘΖ τότε το σχήμα του δείχνει ότι παράγεται μια ξεκάθαρη σκιά ΗΚ (εικόνα 6)

Αυτό το σχήμα όπως παρατηρεί ο Lindberg, αναπαράχθηκε πάρα πολλές φορές.

2) Μια άλλη υπόθεση του Ευκλείδη είναι ότι σύμφωνα με το πρώτο και τρίτο αξίωμα της Οπτικής, οι ακτίνες εκπέμπονται όχι από το αντικείμενο αλλά από το μάτι. Για να υπερασπιστεί αυτή την υπόθεση ο Αλ Κίντι κάνει μια περίληψη των εναλλακτικών θεωριών, δηλαδή της Επικούρειου θεωρίας περί εκπομπής ειδώλων από τα αντικείμενα και της ταυτόχρονης εκπομπής ειδώλων από τα αντικείμενα και ακτινών όρασης από το αντικείμενο.

Για το θέμα της εκπομπής ειδώλων παρουσιάζει το εξής επιχείρημα. Αν ένας κύκλος παρατηρείται πλευρικά, βλέπουμε μόνο μία γραμμή. Αν ίσχυε η θεωρία ειδώλων θα έπρεπε το είδωλο (ένας φλοιός από άτομα) να εκπέμπεται από τον κύκλο και να μπαίνει στο μάτι. Τότε όμως το μάτι θα έπρεπε να αντιλαμβάνεται ολόκληρο τον κύκλο. Για να εφαρμόζονται οι νόμοι της προοπτικής θα πρέπει να απορριφθεί αυτή η θεωρία. Θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι σε άλλα του έργα όπως αναφέρει ο Lindberg



Εικόνα 7: Εξήγηση της όρασης από τον Αλ Κίντι με βάση τη θεωρία του Ευκλείδη

ο Αλ Κίντι έκανε χρήση της άποψης ότι το φωτεινό σώμα εκπέμπει από όλα τα σημεία του φως, όμως μόνο ο Αλ Χαϊθάμ μετά από 150 χρόνια έδωσε μια επιτυχή θεωρία εκπομπής από τα φωτεινά σώματα.

Ένα επιχείρημα που παρουσιάζει είναι αυτό που ανάφερε ο Αριστοτέλης για τους ανθρώπους με ασθενική όραση που βλέπουν το είδωλο τους γιατί οι ακτίνες τους δεν έχουν δύναμη για να φύγουν μακριά.

Ένα άλλο επιχείρημα για τη θεωρία εκπομπής είναι το σχήμα του ματιού. Το επιχείρημα αυτό το πήρε από τον Θεόντα που εξέδωσε το έργο του Ευκλείδη: αν συγκρίνουμε το αυτί με το μάτι, παρατηρούμε ότι το αυτί είναι μια κοιλότητα, για να υποδέχεται τα ηχητικά σήματα, όμως το μάτι είναι σφαιρικό και κινείται προς όλες τις κατευθύνσεις για να αποστέλλει συνεχώς ακτίνες όρασης.

Ως τελικό επιχείρημα προβάλλει την επιλεκτικότητα της όρασης. Αν δεν ίσχυε η θεωρία της εκπομπής φωτεινών ακτινών θα έπρεπε να παρατηρούμε ταυτόχρονα όλα τα αντικείμενα. Σε αντίθεση με αυτό υποστηρίζει ότι πάντα αναζητούμε το αντικείμενο που θέλουμε να παρατηρήσουμε ακόμη και αν βρίσκεται πάνω στην παλάμη μας.

Ένα επιχείρημα υπέρ της θεωρίας της εκπομπής ειδώλων ήταν ότι αφού αντιλαμβανόμαστε τα χρώματα των σωμάτων και σύμφωνα με τις επικρατούσες απόψεις τα χρώματα ήταν ιδιότητες των σωμάτων, θα πρέπει από τα σώματα να εκπέμπονται είδωλα. Για τον Αλ Κίντι αυτό είναι αδύνατο γιατί με την εκπομπή των χρωμάτων θα χάνονταν σε λίγο χρονικό διάστημα το χρώμα του σώματος. Κατά τον Αλ Κίντι τα σώματα επηρεάζουν τον αέρα και του μεταδίδουν ένα χρώμα όμοιο με το δικό τους.

B. Η φύση της ακτινοβολίας όρασης.

Ένα άλλο θέμα με το οποίο ασχολήθηκε ο Αλ Κίντι ήταν η υπόθεση του Ευκλείδη για ασυνεχείς ακτίνες. Ο Αλ Κίντι παρατηρεί ότι αν οι ακτίνες είναι μονοδιάστατες και ασυνεχείς τότε στην πραγματικότητα δε θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τίποτε καθώς κάθε ακτίνα θα έφερνε πληροφορίες για ένα μόνο σημείο χωρίς διαστάσεις.

Η αιτία της ασυνεχούς ακτινοβολίας μπορεί να είναι το μέσο και όχι η πηγή του. Αν αυτή ήταν η αιτία «τότε ο αέρας θα έπρεπε να συνιστάται από γραμμές δύο διαφορετικών ουσιών, μερικές που επιτρέπουν το φως και μερικές όχι». Όμως αυτή η ιδιότητα φαίνεται πολύ παράλογη οπότε απορρίπτεται

Ο Αλ Κίντι θέτει το εξής υποθετικό ερώτημα: Αν ο Ευκλείδης δεν εννοούσε ότι οι ακτίνες είναι γεωμετρικές γραμμές, και εννοούσε ότι είναι τρισδιάστατες δέσμες που κινούνται *κατά μήκος* ευθειών, μήπως αυτό θα βοηθούσε; Και αυτό απορρίπτεται γιατί προβλέπει ότι θα βλέπουμε μόνο στα σημεία στα οποία πέφτουν οι ακτίνες όρασης, ανάμεσα τους θα ήταν κενοί χώροι. Θα αντιλαμβανόμαστε ένα «μωσαϊκό» από διάφορες τελείες μέσα στο οπτικό πεδίο. Αυτό που παρατηρούμε είναι κάτι το διαφορετικό: βλέπουμε καθαρά αυτό που είναι έναντι στο κέντρο του ματιού, και όσα αντικείμενα απομακρύνονται από αυτή την κεντρική διεύθυνση χάνουν σε καθαρότητα. Υπάρχει σύμφωνα με αυτό μια άλλη ερμηνεία: Ο Ευκλείδης δε θα εννοούσε ότι αν και η ακτινοβολία είναι συνεχής το ολικό της σχήμα θα καθορίζεται από άπειρες διακριτές γραμμές.

Μια άλλη ερμηνεία που απορρίπτει ο Αλ Κίντι είναι αυτή σύμφωνα με την οποία, ο κώνος συνίσταται από ακτίνες που χωρίζονται από διαστήματα αλλά μόνο η κεντρική δέσμη αντιλαμβάνεται. Ο Αλ Κίντι απαντά ότι αν οι άλλες ακτίνες όρασης ούτε αντιλαμβάνονται ούτε μπορούμε να τις αντιληφθούμε τότε δεν υπάρχει τρόπος για να βεβαιώσουμε την ύπαρξη τους και είναι ανόητο να υποθέσουμε την ύπαρξη ενός κώνου όρασης για τον οποίο δεν υπάρχει ένδειξη ότι η αντίληψη γίνεται με διακριτές, μονοδιάστατες ακτίνες. Έτσι για να υπερασπιστεί κάποιος την ύπαρξη του κώνου όρασης πρέπει να θεωρήσει ότι η αντίληψη γίνεται με όλες του τις ακτίνες.

Γ. Μεταβολές στην ευαισθησία μέσα στον κώνο όρασης.

Η πολεμική του Αλ Κίντι τον οδήγησε στο να θεωρήσει τη διαφορετική ευαισθησία των διαφόρων διευθύνσεων παρατήρησης. Απορρίπτει τις εξηγήσεις των οπαδών του Ευκλείδη που αναφέρθηκαν πιο πάνω και ιδίως την εξήγηση για του ότι «η κεντρική ακτίνα είναι πιο ευαίσθητη διότι είναι συντομότερη και γι' αυτό αντιλαμβάνεται πιο δυνατά, δηλαδή ότι η ένταση της αντίληψης είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος της ακτίνας». Ο Αλ Κίντι προβάλλει αντιπαραδείγματα όπου ένα σώμα είναι πιο κοντά στο μάτι αλλά το μάτι αντιλαμβάνεται πιο καθαρά ένα άστρο που βρίσκεται σε τεράστια απόσταση.

Η πραγματική αιτία για τον Αλ Κίντι γίνεται αντιληπτή καθώς μελετά την ανάλογη συμπεριφορά του φωτός και του χρώματος. Το χρώμα δε γίνεται αντιληπτό παρά μόνο αν φωτίζεται, και όσο πιο δυνατό είναι το φως τόσο πιο καθαρή είναι η αντίληψη του χρώματος. Παρόμοια, όσο πιο δυνατή είναι η οπτική ακτίνα τόσο πιο καθαρή η αντίληψη του χρώματος. Μια δυνατή ακτίνα είναι αυτή που παράγει μια τέλεια και πλήρη μεταμόρφωση (καθώς το χρώμα μεταμορφώνει το μέσον) και μια αδύνατη είναι αυτή που παράγει μια ατελή ή μη πλήρη μεταμόρφωση. Η αξονική ακτίνα παράγει την πιο τέλεια μεταμόρφωση του μέσου και γι' αυτό αντιλαμβάνεται πιο καθαρά το αντικείμενο, οι άλλες ακτίνες παράγουν μεταμορφώσεις που είναι μικρότερης τελειότητας, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση της ακτίνας από τον κεντρικό άξονα. Με τις εξηγήσεις του ήγειρε νέα ερωτήματα: Γιατί οι περιφερειακές ακτίνες είναι λιγότερο ικανές για μεταμόρφωση του μέσου από ό,τι οι κεντρικές ακτίνες;

Με μια νέα πρόταση ο Αλ Κίντι προσφέρει μια γεωμετρική εξήγηση για τις μεταβολές στην ένταση της ακτινοβολίας όρασης και ως εκ τούτου για την καθαρότητα της αντίληψης:

Το όργανο της όρασης (εικόνα 7) δηλαδή το μάτι είναι ο κύκλος ΑΒΓ με κέντρο το Δ. Το μέρος του ματιού που έχει τη δύναμη να αντιλαμβάνεται το ορατό αντικείμενο, δηλαδή η εξωτερική κυρτότητα του ματιού (ο κερατοειδής χιτώνας) είναι το τόξο ΑΒΓ. Ας σχεδιάσουμε την ΖΕ εφαπτόμενη στο Β που χωρίζει το τόξο ΑΓ σε δύο ήμισυ, και την γραμμή ΗΤ εφαπτόμενη στο σημείο Α, που είναι ένα από τα δύο άκρα της εξωτερικής κυρτότητας του ματιού και τη γραμμή ΙΚ είναι εφαπτόμενη στο σημείο Γ που είναι το άλλο άκρο της εξωτερικής κυρτότητας του ματιού.

Ο Αλ Κίντι συνεχίζει και με βάση τη θεωρία της εκπομπής λέγει ότι το τόξο ΗΤ «φωτίζεται» από τις ακτίνες από το σημείο Α, το τόξο ΙΚ από τις ακτίνες από το σημείο Γ και τέλος το σημείο Β φωτίζει το τόξο ΖΕ. Παρατηρεί τελικά ότι το τόξο ΙΑΤ φωτίζεται και από τα τρία σημεία, με αποτέλεσμα ότι ο παρατηρητής να βλέπει καθαρότερα τα σημεία του απ' ότι τα άλλα σημεία.

Σύμφωνα με αυτή την άποψη ο Αλ Κίντι θέτει ένα προβληματισμό αναφορικά με την αντιστοιχία των περιοχών του πεδίου όρασης που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος και των τμημάτων του κώνου όρασης που κάνουν αυτή την αντίληψη δυνατή. Για παράδειγμα, ένα αντικείμενο που βρίσκεται στον άξονα του κώνου όρασης γίνεται αντιληπτό από την ακτινοβολία του κέντρου του ματιού, ενώ αντικείμενα που είναι στην περιφέρεια του οπτικού πεδίου γίνονται αντιληπτά χάρη σε ακτινοβολία που εκπέμπεται από την περιφέρεια του ματιού. Ο Πτολεμαίος πίστευε σε μια παρόμοια άποψη. Οι ακτίνες όρασης εκπέμπονται για τον Πτολεμαίο από το κέντρο του ματιού, έτσι εξέρχονται χωρίς διάθλαση και προχωρούν προς το αντικείμενο, με αποτέλεσμα να παράγουν μια αντιστοιχία ένα προς ένα μεταξύ των σημείων του οπτικού πεδίου και των σημείων της επιφάνειας του ματιού. Αυτή η ιδέα τίθεται σε αμφισβήτηση, γιατί τώρα ο Αλ Κίντι θεωρεί ότι κάθε σημείο του πεδίου όρασης «φωτίζεται» από όλα τα σημεία της επιφάνειας του ματιού που μπορούν να συνδεθούν με ευθύγραμμα τμήματα με αυτό το σημείο. Άρα δεν υπάρχει η αντιστοιχία ένα προς ένα όπως στη θεωρία του Πτολεμαίου.

Όπως παρατηρεί ο Lindberg, ο Αλ Κίντι βασίζει αυτή τη θεώρηση στηριζόμενος στην ανάλογη συμπεριφορά του εξωτερικού φωτός. Φαίνεται πως ο Αλ Κίντι καταλαβαίνει την αρχή ότι οι φωτεινές ακτίνες εκπέμπονται προς όλες τις διευθύνσεις από την επιφάνεια ενός σώματος. Ο Lindberg γράφει ότι ο Αλ Κίντι είναι ο πρώτος που εκφράζει ξεκάθαρα αυτή την ιδέα.

Ιμπν Σαχλ

Ο Ιμπν Σαχλ θεωρείται πρόδρομος του Snell. Πραγματικά μέσα από τη μελέτη των χειρογράφων του που ανάγονται στο 984 μ.Χ. ο Rashed Roshdi έχει δείξει ότι Ιμπν Ελ Σαχλ χρησιμοποιούσε μια σχέση που είναι ισοδύναμη με το νόμο του Snell καθώς πρότεινε την κατασκευή φακών.

Ο Ιμπν Σαχλ ήταν ιδιοφυΐα στη χρήση των κωνικών τομών. Έδωσε γεωμετρικές αποδείξεις για τη χρήση των κωνικών τομών για τη κατασκευή φακών. Οι κατασκευές αυτές όπως θα δούμε στο 7ο κεφάλαιο, είναι σωστές και δίνουν την εστίαση μιας παράλληλης δέσμης σε ένα σημείο καθώς και την εστίαση μιας σημειακής φωτεινής πηγής σε ένα άλλο σημείο.

Ο Ιμπν Σαχλ έδωσε επίσης και κατασκευές για «καίοντα» κάτοπτρα με παραβολές, υπερβολές και ελλείψεις. Ο Ιμπν Σαχλ λέγει ότι χρησιμοποίησε μερικά Ελληνικά κείμενα μεταφρασμένα στα Αραβικά. Όμως, όπως ισχυρίζεται, οι Έλληνες αναφέρθηκαν στην καύση μόνο με τη βοήθεια κατόπτρων και ότι ήταν ο πρώτος που μελέτησε την καύση με τη βοήθεια της διάθλασης. Το ότι μελέτησε τους αρχαίους φαίνεται από τις αναφορές που κάνει σε παραβολικά κάτοπτρα των Ελλήνων. Αναφέρει και το θρύλο της χρήσης παραβολικών κατόπτρων από τον Αρχιμήδη για την καύση Ρωμαϊκών πλοίων.

Ποιος ήταν ο Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Βιογραφία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Το πλήρες του όνομα ήταν σύμφωνα με τον Ναζίφ: Αλ Χάσαν Άμπου Άλι μπιν Αλ Χάσαν μπιν Αλ Χαϊθάμ (الحسن أبو علي بن الحسن بن الهيثام) και γεννήθηκε το 965 μ.Χ. στην Βασόρα όπου και μεγάλωσε. Τα κυριότερα γεγονότα που γνωρίζουμε για τη ζωή του Αλ Χαϊθάμ αφορούν τη ζωή του στην Αίγυπτο. Θα πρέπει να εξετάσουμε τι συνέβη εκείνη την εποχή. Η δυναστεία των «Φατιμίδων» είχε κυριαρχήσει στην Αίγυπτο. Οι Φατιμίδες ήταν ένα πολιτικό και θρησκευτικό κίνημα που πήρε το όνομα του από την Φατίμα την κόρη του προφήτη Μουχάμαντ (Μωάμεθ). Αυτοί δεν αναγνώριζαν τους Αβασίδες χαλίφες της Βαγδάτης και επεδίωκαν να κατακτήσουν όλον τον Ισλαμικό κόσμο. Στην αρχή κυριάρχησαν στις χώρες τις Βόρειας Αφρικής και μετά κατέκτησαν την Αίγυπτο όπου ίδρυσαν το Κάιρο (Αλ Κάχιρα القاهرة= νικήτρια). Αυτά τα γεγονότα έλαβαν χώρα όταν ο Αλ Χαϊθάμ ήταν μικρό παιδί και μεγάλωνε στη Βασόρα. Λίγα γνωρίζουμε για τα χρόνια του Αλ Χαϊθάμ στη Βασόρα. Ο ίδιος γράφει στην αυτοβιογραφία του ότι είχε προβληματιστεί με τις διάφορες αλληλοσυγκρουόμενες θρησκευτικές απόψεις των θρησκευτικών κινήματων του Ισλάμ και είχε φτάσει στο συμπέρασμα ότι κανένα τους δεν αντιπροσώπευε την αλήθεια. Φαίνεται ότι όταν ήταν νέος δε μελέτησε μαθηματικά ή άλλα ακαδημαϊκά θέματα αλλά ασχολήθηκε με θέματα που θα τον κατάρτιζαν κυρίως ως ένα δημόσιο υπάλληλο. Διορίστηκε ως δημόσιος λειτουργός στη Βασόρα και την γύρω περιοχή. Όμως απογοητεύτηκε καθώς μελετούσε βαθιά τα διάφορα θρησκευτικά θέματα και αποφάσισε να αφιερωθεί μόνο στη μελέτη της επιστήμης και κυρίως της επιστήμης όπως αυτή είχε εκφραστεί από τον Αριστοτέλη. Από τότε έδωσε όλον του τον εαυτό στη μελέτη των μαθηματικών, της Φυσικής και άλλων επιστημών.

Απόκτησε γνώσεις μηχανικής, μαθηματικών και αστρονομίας. Ο Αλ Ανσάρι γράφει ότι γνώριζε πως να τοποθετηθούν τα κτίρια, πως να διακοπούν οι ποταμοί, και πως να κατασκευαστούν φράγματα, φρούρια και σπήτια. Θεωρήθηκε ότι ήταν σπουδαίος μηχανικός. Οι κάτοικοι της Βαγδάτης του ζήτησαν τη συμβουλή του σε μαθηματικά θέματα.

Ο Αλ Χαϊθάμ πήγε στην Αίγυπτο αρκετό καιρό αφότου παράτησε τη δουλειά του ως δημόσιος λειτουργός. Είχε ήδη αποκτήσει φήμη ως επιστήμονας. Τότε στην Αίγυπτο κυβερνούσε ο δεύτερος Φατιμίδης Χαλίφης, ο Αλ Χακίμ. Ο πρώτος που άρχισε τη βασιλεία του στην Αίγυπτο ήταν ο Αλ Αζίζ το 975, μετά το θάνατο του πατέρα του του Αλ Μου'ιζ. Ο Αλ Αζίζ είχε οργανώσει

έναν ισχυρό στρατό για να πολεμήσει τους βυζαντινούς αλλά πέθανε το 996. Τότε βασίλεψε ο Χακίμ Μπι Αμρ Αλλάχ Αλ Φατίμι σε ηλικία έντεκα ετών. Ο Αλ Χακίμ παρόλο που ήταν ένας σκληρός ηγεμόνας υποστήριζε τις επιστήμες ίσως διότι ενδιαφερόταν για την αστρολογία. Ο Αλ Χακίμ είχε αστρονομικά εργαλεία στο παλάτι του. Είχε μια ροπή προς τη φιλοσοφία και ήθελε να ενισχύσει τη μόρφωση, κι έτσι αναζήτησε πολλούς από τους ιατρούς της εποχής του και ίδρυσε στο Κάιρο τον «οίκο της σοφίας» που ήταν και γνωστός ως οίκος της γνώσης. Στο όρος Μουκάταμ ίδρυσε μάλιστα παρατηρητήριο όπου τοποθέτησε τον Γιούνις Αλ Μίσιρι (950 - 1008) που ήταν διάσημος αστρονόμος, και συγκέντρωσε τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων του σε πίνακες (τζιντιονάλ جداول).

Ο Ιμπν Αλ Κίφτι διηγείται ότι ο Αλ Χακίμ έμαθε για τον Αλ Χαϊθάμ και τις ικανότητες του στα μαθηματικά, και τον κάλεσε στην Αίγυπτο, αφού του έστειλε πολλά χρήματα και δώρα ζητώντας του να βρει ένα σύστημα με το οποίο να μπορούν να ελεγχθούν οι πλημμύρες του Νείλου.

Αφού ξεκουράστηκε ο Αλ Χαϊθάμ από το ταξίδι, ο Χακίμ του ζήτησε να αναλάβει το θέμα του Νείλου, και ο Αλ Χαϊθάμ μετέβη επικεφαλής τεχνικής αποστολής στην Άνω Αίγυπτο. Ακολούθησαν τη ροή του Νείλου από το Κάιρο μέχρι νότια από το Ασουάν μελετώντας τον ποταμό. Έφτασαν σε ένα σημείο, που από τον Αλ Κίφτι ονομάζεται «Αλ Γκανάντιλ», που μάλλον ήταν καταρράκτης. Ο Αλ Χαϊθάμ όμως δεν βρήκε τα πράγματα όπως τα περίμενε. Αφού σκέφτηκε το θέμα και δε μπόρεσε να βρει λύση, επέστρεψε στο Κάιρο σε άσχημη ψυχολογική κατάσταση και ζήτησε συγγνώμη από τον Αλ Χακίμ.

Αυτό το γεγονός είχε βαθιά ψυχική επίδραση στον Αλ Χαϊθάμ. Μπορούσε να συνεχίσει την επιστημονική του ζωή ή τις διανοητικές του δραστηριότητες, και ο Αλ Χακίμ, όπως λέγει ο Ιμπν Αλ Κίφτι, φάνηκε ότι δέχτηκε τις δικαιολογίες του. Όμως το επιστημονικό οικοδόμημα του Αλ Χαϊθάμ ήταν για τον Αλ Χακίμ κατεστραμμένο λόγω της αποτυχίας του να πραγματώσει αυτό που υποσχέθηκε για το Νείλο. Στη συνέχεια ο Αλ Χαϊθάμ διορίστηκε σε μια θέση του κράτους για την οποία ο Ιμπν Αλ Κίφτι δεν δίνει περισσότερες πληροφορίες.

Ο Αλ Χαϊθάμ ένιωσε να περιορίζεται η ελευθερία του. Ήθελε να απαλλαγεί χωρίς να προκαλέσει την οργή του άρχοντα, κι έτσι σκέφτηκε ένα στρατήγημα. Δεν βρήκε άλλο τρόπο παρά να κάνει τον τρελό και το συγχυσμένο στο νου και φρόντισε να διαδοθεί αυτό μέχρις ότου έφτασε στον Αλ Χακίμ. Αυτός τον έβγαλε από τη θέση του και κατέσχεσε την περιουσία του. Ο Ιμπν Αλ Κίφτι λέγει ότι έφυγε από το σπίτι του μέχρις ότου πέθανε ο Αλ Χακίμ το 1020.

Κατά τη διάρκεια αυτή μελέτησε επιστημονικά θέματα. Μετά το θάνατο του Αλ Χακίμ μπόρεσε να δείξει ότι είχε απλώς προσποιηθεί τον τρελό. Σύμφωνα με τον Αλ Κίφτι ο Αλ Χαϊθάμ πέρασε το υπόλοιπο μέρος της ζωής του κοντά στο τζαμί Αλ Άζχαρ γράφοντας μαθηματικά κείμενα, διδάσκοντας και κερδίζοντας χρήματα αντιγράφοντας κείμενα. Οι Φατιμίδες είχαν ιδρύσει το 970 το πανεπιστήμιο του Αλ Άζχαρ που σχετιζόταν με το τζαμί. Φαίνεται ότι ο Αλ Χαϊθάμ είχε στενή σχέση με το πανεπιστήμιο του Αλ Άζχαρ.

Όταν πέθανε ο Αλ Χακίμ, ο Αλ Χαϊθάμ νοίκιασε ένα δωμάτιο κοντά στο Αλ Άζχαρ για να αφοσιωθεί στη μελέτη και την έρευνα. Έζησε εκεί 18

χρόνια, και σ' αυτό το διάστημα εμφανίστηκε το βιβλίο της οπτικής που θεωρείται ως το μεγαλύτερης αξίας έργο του.

Ο Αλ Χαϊθάμ δε σταμάτησε να προσπαθεί να κερδίσει τα προς το ζην. Στηριζόταν στη δύναμη του για να γράφει επιστημονικά έργα και να τα πουλά.

Δεν ακολούθησε την τακτική άλλων συγχρόνων του που μετέφεραν αυτά που δεν καταλάβαιναν. Κάθε χρόνο έγραφε τρία βιβλία και για κάθε βιβλίο έπαιρνε 150 δηνάρια.

Πέθανε στο Κάιρο στο τέλος του έτους 430 Εγίρας ή 1039 μ.Χ. Δε γνωρίζουμε αν είχε μαθητές.

Έργα του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Στο έργο του Αλ Χαϊθάμ δεν αναμειγνύονται σφάλματα από απάτες ή αδυναμίες λογικής. Έχει δύναμη χαρακτήρα. Αν π.χ. στο έργο του αλλάζει κάποια απόδειξη του Απολλώνιου τον ονομάζει με ευγένεια «Απολλώνιος ο έξοχος». Αναφέρει όλα τα ονόματα αυτών από τους οποίους άντλησε. Καμιά φορά τους αναφέρει με την έκφραση «κάτοχοι της γνώσης» λόγω του ότι ήταν πολύ γνωστοί. Π.χ. για τη δομή του ματιού αναφέρει ότι αυτά που γράφει τα πήρε από τους ανατόμους. Όταν αναφέρεται σε λανθασμένες απόψεις, αναφέρεται σ' με λειψότητα. Όταν θέλει να ανατρέψει, κάποιους συγγραφείς αρχίζει με το ξεκαθάρισμα των απόψεων τους και εξηγεί τους λόγους που τους οδήγησαν σ' αυτή την άποψη. Ψάχνει αιτίες για να δικαιολογήσει τα σφάλματα τους. Όταν παρουσιάζει την άποψη του για την όραση, δεν ακυρώνει την αρχαία άποψη, δεν προσπαθεί να απορρίψει την αξία που είχε η παλιά άποψη αλλά προσπαθεί να δείξει τα πλεονεκτήματα της θεωρίας του στο ότι συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα των παλιών θεωριών. Όταν αναφέρεται στην δική του άποψη γράφει: «δε γνωρίζουμε κανέναν από τους αρχαίους ή από τους νεώτερους που να έχει δείξει αυτή τη σκέψη και δε βρήκαμε τίποτε απ' αυτά στα βιβλία»

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο Αλ Χαϊθάμ φρόντισε για την εκπαίδευση του με το να μελετήσει τις γνώσεις στις οποίες είχαν φτάσει οι αρχαίοι και οι προηγούμενοι του όσον αφορά τη φιλοσοφία, τη φυσική επιστήμη, τους διάφορους κλάδους της μηχανικής, την τριγωνομετρία, την άλγεβρα, την αριθμητική, την τεχνική οπτική, τα κοίλα κάτοπτρα, την αστρονομία, την εύρεση των κέντρων βάρους, την ανύψωση βαρών, το πολύσπαστο. Επιπλέον έλαβε υπόψη του θέματα σχετικά με τους αριθμούς και την αστρονομία που μελέτησε στα βιβλία των Ινδών και των Περσών. Όλα αυτά είχαν μεταφραστεί στα Αραβικά, και οι Ισλαμιστές τα εξηγούσαν και τα σχολίαζαν. Επίσης διόρθωναν τα λάθη τους και πρόσθεταν δικά τους στοιχεία. Ο Αλ Χαϊθάμ έζησε σε μία εποχή μεγάλων ζυμώσεων και πολλών απόψεων σε θρησκευτικά και επιστημονικά θέματα. Συζητήσεις γίνονταν όχι μόνο σε θέματα γλώσσας και ηθικής, αλλά και σε θέματα φιλοσοφίας, λογικής και μαθηματικών. Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε ιδιαίτερα τους αρχαίους. Στα μαθηματικά μελέτησε τα στοιχεία του Ευκλείδη, τις κωνικές του Απολλώνιου, τα έργα του Αρχιμήδη για τα κέντρα βάρους και τα «καίοντα κάτοπτρα», τα έργα Οπτικής του Ευκλείδη και του Πτολεμαίου και τη Μεγίστη Σύνταξη του Πτολεμαίου στην Αστρονομία. Εκτός από αυτά τα έργα μελέτησε και

διάφορα έργα του Αριστοτέλη στους τρεις κλάδους της φιλοσοφίας, δηλαδή την Λογική, την Φυσική και τη Μεταφυσική, καθώς και τα έργα των Ισλαμιστών αναφορικά με τον Αριστοτέλη. Στην Ιατρική μελέτησε τον Γαληνό και δεν αρκέστηκε να αντλήσει από τα συγγράμματα του, αλλά προσπάθησε να δώσει περιλήψεις του Γαληνού.

Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε πολύ αλλά έδωσε και νέες ιδέες. Αυτός ήταν και ο σκοπός του όπως τον περιέγραψε, για αυτό που ονόμασε «το πρώτο στάδιο της ζωής του», δηλαδή να μαζέψει γνώσεις. Όμως ελευθερώθηκε από τη δέσμευση στις γνώμες των προηγούμενων του. Έφτασε σε ξεκάθαρες προσωπικές απόψεις. Υπάρχουν επιστολές του από την εποχή αυτή στις οποίες μελετά θέματα με τα οποία ασχολήθηκαν μερικοί από τους συγχρόνους του. Έγραψε ένα έργο με τίτλο «Απάντηση στον Γιάχι τον φιλόλογο (يحي النوحى) για την ανασκευή του στον Αριστοτέλη και σε άλλους για αυτά που είπαν για τον ουρανό και τον κόσμο», καθώς επίσης και το γράμμα. «Προς μερικούς που είχαν αντίθετη άποψη σε αυτή την κριτική». Το βιβλίο «Προς απάντηση του Άλι Άμπα Αλ Χάσαν στον Ιμπν Αλ Αμπάς μπιν Φασανγκούς για την ανατροπή των απόψεων των αστρολόγων» και την απάντηση «Προς απάντηση του Αμπα Αλ Χάσαν στις αντιρρήσεις του». Το έργο του (άρθρο): «Απάντηση στο Άλι Αβα Hashem αρχηγό των μουatazila για αυτά που μιλά ως προς τα έργα του Αριστοτέλη για τον ουρανό και τον κόσμο» και επίσης άλλες επιστολές στις οποίες ανατρέπει τις απαντήσεις σε ερωτήματα που είχαν δώσει μερικοί από τους μουatazila, και μερικοί από τους λογικούς. Ακόμα, άρθρα και επιστολές σε ειδικά θέματα από τους κλάδους της φιλοσοφίας και της λογικής, όπως το άρθρο για «Το ξεκαθάρισμα των απόψεων - δογμάτων των οπαδών του προορισμού και των αστρολόγων» και το άρθρο «Η απόδειξη είναι μία».

Στα έργα του για τα μαθηματικά και τη γεωμετρία οι τίτλοι δείχνουν την ανεξαρτησία της σκέψης του, και το γεγονός ότι περπάτησε σε δρόμους που δεν περπάτησαν οι αρχαίοι. Για παράδειγμα το «Βιβλίο (τζάμα **جامع**) συμπεριληπτικό στα στοιχεία των υπολογισμών (ρίζες των υπολογισμών)». Λέει με τον χαρακτηριστικό τρόπο έκφρασης του: «έβγαλα τις βάσεις (ρίζες) τους για όλα τα είδη των μαθηματικών (υπολογισμών) από τις αρχές του Ευκλείδη, μέχρι και τις βάσεις για την μηχανική - αρχιτεκτονική και τους αριθμούς για τις λύσεις της μηχανικής και τον αριθμητικό προσδιορισμό. Και δικαιολογώ τα θέματα της άλγεβρας και τους όρους της». Επίσης το βιβλίο «Περί των βάσεων της μηχανικής και της αριθμητικής (αντατνία **عددية**)» όπου γράφει: «Αυτό είναι ένα βιβλίο στο οποίο συγκέντρωσα όλες τις βάσεις της γεωμετρίας και της αριθμητικής από τα βιβλία του Ευκλείδη και του Απολλώνιου και ταξινόμησα τις βάσεις, τις διαίρεσα και απέδειξα με τις αποδείξεις που τις τακτοποίησα από τα θέματα των μαθηματικών και της λογικής μέχρις ότου τακτοποιήθηκαν, ακολουθώντας τον Ευκλείδη και τον Απολλώνιο». Σε αυτό έχει τακτοποιήσει τις απόψεις και τις αποδείξεις, με αποδείξεις που η μία ακολουθεί την άλλη, ενώ στις πηγές δεν βρήκε μία ακολουθία ή σύνδεση. Επίσης το βιβλίο «Λύση της αμφιβολίας του Ευκλείδη στο πέμπτο έργο του» και η επιστολή «Απόδειξη του σχήματος που παρουσίασε ο Αρχιμήδης για την τριχοτόμηση της γωνίας», για το οποίο αναφέρει: «δεν έκανε απόδειξη ο Αρχιμήδης». Σ' αυτό έχει επίσης απαντήσεις σε επτά μαθηματικά ερωτήματα που έγιναν στην Βαγδάτη.

Υπάρχουν και άλλα έργα του, που θα τα ονομάσουμε τοπικού χαρακτήρα, τα οποία ασχολούνται με θέματα της ζωής και των αναγκών στα ισλαμικά κράτη. Σ'αυτά του τα έργα ανήκουν: «Εύρεση της κατεύθυνσης της Κάαμπα», «Εκεί που καλείται η ανάγκη των θεμάτων του θρησκευτικού νόμου από τα θέματα της μηχανικής» και «Η καλύτερευση των λιμνών της Βαγδάτης»

Υπάρχουν και άλλα που είναι θέματα εφαρμογής: σε αυτά εφαρμόζει την επιστήμη για τους σκοπούς της εργασίας, όπως στο «Περί εύρεσης της αποστάσεως μεταξύ δύο χωρών από γεωμετρικής πλευράς» και στο «Περί κατασκευής τάφρων και πηγαδιών με όλα τα είδη της μηχανικής».

Αυτά τα έργα των συλλογών και περιλήψεων ανήκαν στο πρώτο στάδιο της ζωής του που κυριαρχούσε η συλλογή. Το δεύτερο στάδιο του, το ονόμασε «το στάδιο της Πρωτοβουλίας (Αλ Ιμπτικάρ الإبتكار)». Ο άνθρωπος δεν παύει να αποκτά και να συλλέγει (Αλ ταχσίλ التحصيل) παρά μόνο με τον τερματισμό του χρόνου και η πρωτοβουλία στη γνώση παράγεται στα καλύτερα χρόνια της ζωής.

Αναφορικά με τις έρευνες του στην οπτική, γεωμετρία, αστρονομία, εργάστηκε και προηγούμενως, και μερικά στοιχεία της όψιμης του έρευνας φάνηκαν νωρίτερα. Ο ίδιος αναφέρει στον πρόλογο του ότι πριν από το βιβλίο εξέδωσε άρθρο για την επιστήμη της οπτικής.

Στην εργασία μας αυτή θα ασχοληθούμε κυρίως με το έργο του Αλ Χαϊθάμ «Η Οπτική (Αλ Μανάζιρ المناظر)». Η πηγή των αναφορών μας είναι κυρίως το έργο του Μουστάφα Ναζίφ Μπεκ, καθηγητή της Φυσικής στο Πολυτεχνείο του Καϊρου (مصطفى نظيف بك) με τίτλο: «Χάσαν Μπιν Αλ Χαϊθάμ, οι προσπάθειες του και οι ανακαλύψεις του ως προς την όραση» (Al Hasan bin al Haitham, buhuthuhu oia kushufughu al basariia البصرية الحسن بن الهيثم بحوثه وكشفوه).

Επικεφαλίδες των θεμάτων του βιβλίου του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ «Αλ Μαναζίρ».

Το βιβλίο του Αλ Χαϊθάμ χωρίζεται σε 7 τμήματα

Τμήμα πρώτο

Τρόπος της όρασης γενικά

Έχει οχτώ κεφάλαια:

- 1) Εισαγωγή του βιβλίου.
- 2) Έρευνα της αίσθησης της όρασης.
- 3) Πως διαδίδεται το φως (ishrak al adua إشراق الأضواء).
- 4) Αντιδιαστολή μεταξύ όρασης και φωτός.
- 5) Μορφή του ματιού (hiat albasr هيئة البصر).
- 6) Τρόπος της όρασης.
- 7) Όργανα της όρασης.
- 8) Αδυναμίες της όρασης.

Τμήμα δεύτερο

Λεπτομέρειες για τις έννοιες της όρασης και τις αδυναμίες της και πως γίνεται η αντίληψη.

Έχει τέσσερα κεφάλαια:

- 1) Εισαγωγή του τμήματος.
- 2) Διάκριση των γραμμών των ακτινών.
- 3) Πως γίνεται η αντίληψη καθενός από τα τμηματικά νοήματα τα οποία είναι ορατά.
- 4) Διάκριση της αντίληψης της όρασης για τα βλεπόμενα.

Τμήμα τρίτο

Σφάλματα της όρασης σχετικά με την διεύθυνση και αδυναμίες

Έχει επτά κεφάλαια:

- 1) Εισαγωγή του τμήματος.
- 2) Παρουσίαση εξηγούνται οι όροι των σφαλμάτων.
- 3) Οι αδυναμίες που κάνουν το μάτι να σφάλει.
- 4) Διάκριση σφαλμάτων.
- 5) Σφάλματα λόγω αισθήσεων.
- 6) Σφάλματα λόγω γνώσης.
- 7) Σφάλματα λόγω μέτρησης.

Τμήμα τέταρτο

Πως βλέπομε από ανάκλαση σε κατοπτρικά σώματα

Έχει πέντε κεφάλαια:

- 1) Εισαγωγή.
- 2) Το είδωλο των ορωμένων ανακλάται στο σώμα του καθρέφτη.
- 3) Πως γίνεται η ανάκλαση στα κατοπτρικά σώματα.
- 4) Αυτό που αντιλαμβάνεται η όραση από τα κατοπτρικά σώματα το αντιλαμβάνεται με ανάκλαση.
- 5) Πως αντιλαμβάνεται το μάτι με την ανάκλαση.

Τμήμα πέμπτο

Τα φανταστικά είδωλα είναι τα είδωλα που βλέπομε στα κατοπτρικά σώματα

Έχει δύο κεφάλαια

- 1) Εισαγωγή
- 2) Φαντασία (خيال) (χαϊάλ)

Τμήμα έκτο

Τα σφάλματα λόγω ανάκλασης

Έχει εννέα κεφάλαια

- 1) Εισαγωγή
- 2) Σφάλματα στα οποία εκτίθεται ο οφθαλμός λόγω ανάκλασης
- 3) Σφάλματα στους επίπεδους καθρέφτες
- 4) Σφάλματα στα κυρτά κάτοπτρα
- 5) Σφάλματα στα κυρτά κυλινδρικά κάτοπτρα
- 6) Σφάλματα στα κυρτά κωνικά κάτοπτρα
- 7) Σφάλματα στα κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα
- 8) Σφάλματα στα κοίλα κυλινδρικά κάτοπτρα

Πως το μάτι αντιλαμβάνεται με διάθλαση μέσα από διαφανή σώματα

Έχει εφτά κεφάλαια

- 1) Εισαγωγή
- 2) Το φως διαδίδεται σε ευθείες και διαθλάται αν συναντήσει σώμα διαφορετικής διαφάνειας από το σώμα μέσα στο οποίο βρίσκεται.
- 3) Πως γίνεται η διάθλαση στα διαφανή σώματα.
- 4) Αυτό που αντιλαμβανόμαστε πίσω από διαφανή σώματα που έχουν διαφορετική διαφάνεια από το σώμα μέσα στο οποίο βρίσκεται το μάτι. Αν έχει κλίση από την κατακόρυφη στην επιφάνεια, το αντιλαμβανόμαστε με διάθλαση.
- 5) Φαντασία
- 6) Πως αντιλαμβάνεται το μάτι αυτά που βλέπει με διάθλαση.
- 7) Σφάλματα της όρασης λόγω διάθλασης

Έκταση της εξάπλωσης των ερευνών του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ στους Ισλαμιστές.

Για τους Ισλαμιστές ο Αλ Χαϊθάμ ήταν μοναδικός και ασυνήθης στην εποχή του και η φήμη του είχε φθάσει στα βάθη του Ισλαμικού κόσμου. Η συγγραφή του έργου της Οπτικής ήταν γνωστή στις εισαγωγές - σχόλια των σοφών και μορφωμένων (ουλεμάδων *ουλαμά* علماء) όπως στον Ιμπν Αλ Κίφτι και Ιμπν Άμπα Ασίμπα. Ο Ιμπν Χαλντούν αναφέρει: «ο πιο διάσημος από όσους έγραψαν για την επιστήμη της Οπτικής από τους Ισλαμιστές είναι ο Αλ Χαϊθάμ». Ο Αλ Μπίχκι τον ονόμασε Δεύτερο Πτολεμαίο. Ο Αλ Ανσάρι τον αναφέρει στο βιβλίο του «Διδασκαλία του αναζητούντος προς λαμπρότερη αναζήτηση των σκοπών» (*arshad al kased lila asna almakasid* أرشاد القاصد إلي أسني المقاصد) και λέγει «και από τα εξαπλωμένα (ή το βιβλίο το εξαπλωμένο στην επιστήμη της Οπτικής) είναι το βιβλίο του Αλ Χαϊθάμ». Αναφέρεται στο βιβλίο του Αλ Χαϊθάμ για τα κοίλα κάτοπτρα (καίοντα κάτοπτρα). Παρόλα αυτά η χρήση του έργου του Αλ Χαϊθάμ στην Οπτική δε γενικεύτηκε μεταξύ των Ισλαμιστών.

Ο Αλ Φαρίσι τον επαινέσε και για άλλα θέματα εκτός από την έκδοση του έργου της Οπτικής. Σε πολλά σημεία τον συμπληρώνει. Στο μόνο σημείο που τον επικρίνει είναι η άποψη του Αλ Χαϊθάμ για τα χρώματα. Εκτιμά τα πειράματα του Αλ Χαϊθάμ, τα μηχανικά του εργαλεία παρατηρήσεων και τις μετρήσεις του. Όταν λέει, σκέφτηκε την «διόρθωση» (*τανκίχ* تنقيح) του βιβλίου, δεν το έκανε για να το υποβιβάσει αλλά επειδή ήθελε να κυκλοφορήσει ανάμεσα στους αναζητητές (ή μαθητές) της επιστήμης της εποχής. Δεν ήθελε να κάνει αυτό το δύσκολο έργο μόνος του, αλλά να το κάνει ο καθηγητής του Αλ Ντιν Άμπα Αλ Θινά Μαχμούντ μπιν Μασσουούντ Al Shirazi (1237 -1311). Ο Al Shirazi γεννήθηκε στο Shiraz και μελέτησε στη Βασόρα και Βαγδάτη από όπου έφυγε πριν αυτή πέσει στους Μογγόλους. Πήγε στη Δαμασκό και στο Κάιρο και μετά έφυγε στην Ταυρίδα Ταμπριζ το έτος 1260. Όταν ο Αλ Φαρίσι πήγε στην Ταυρίδα ο Al Shirazi σχολίαζε το έργο για τους Νεφρούς στο ιατρικό βιβλίο «Ο Κανών» του Ιμπν Αλ Σίνα. Ο Al Shirazi ήθελε να ασχοληθεί μετά με το έργο των

Κωνικών του Απολλώνιου και δε μπορούσε να βοηθήσει. Έτσι ο Al Shirazi ανέθεσε στο μαθητή του να διορθώσει τα δύο έργα με την καθοδήγηση του και τη βοήθεια του.

Ο ίδιος ο Al Φαρίσι, όπως μαθαίνουμε από τον πρόλογο στην αναθεώρηση του βιβλίου, δεν γνώριζε την ύπαρξη αυτού του βιβλίου. Μόνο όταν πήγε στον Al Shirazi και μαθήτευσε κοντά του γνώρισε το έργο του Al Χαϊθάμ. Όπως λέει ο Wiedemann η συγγραφή της διόρθωσης του Al Φαρίσι έγινε στις αρχές του 14ου αιώνα. Φαίνεται ότι ο Al Φαρίσι γνώρισε τον Al Shirazi στην Ταμπρίζ. Εκεί μελέτησε το θέμα της διάθλασης του φωτός κάτω από την παρότρυνση του Al Shirazi. Ο Al Shirazi του είπε ότι είδε στα νιάτα του σε κάποια αποθήκη με Περσικά βιβλία ένα βιβλίο Οπτικής που αποδιδόταν στον Al Χαϊθάμ και ήταν δερματόδετο. Ο Al Shirazi προσπάθησε να βρει το βιβλίο, το ανακάλυψε, κάλεσε τον Al Φαρίσι και του το έδωσε.

Η θεωρία του Al Χαϊθάμ για την όραση, δεν φαίνεται να επέδρασε τους κατοπινούς του Φυσικούς Φιλοσόφους. Έτσι ο Νασίρ Αλ Ντιν Αλ Τούσι (1201-1274) ενώ μελέτησε τη γεωμετρία και την Αστρονομία και ενδιαφέρθηκε για την Οπτική και εξέδωσε το έργο του Ευκλείδη, το βιβλίο του με τίτλο «περίληψη των αποτελεσμάτων» έχει πολύ κατώτερο επίπεδο στη μελέτη της οπτικής από το επίπεδο στο οποίο την είχε ανυψώσει ο Al Χαϊθάμ. Π.χ. για το πώς γίνεται η όραση γράφει ότι «η όραση γίνεται είτε με εντύπωση των ειδώλων στο μάτι, είτε με ακτινοβολία από το μάτι προς αυτό που βλέπουμε, και το πιο κοντινό προς την αλήθεια είναι το τελευταίο. Και πρέπει να μην δίνουμε σημασία σε αυτούς που αρνούνται την ακτινοβολία από το μάτι». Πέφτει δηλαδή έξω σε μερικές βασικές αρχές. Αλλού γράφει: «Η ανάκλαση και η διάθλαση γίνονται σε ίσες γωνίες με τη γωνία πρόσπτωσης». Θεωρεί ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας από το μάτι με την κατοπτρική επιφάνεια. Γνωρίζουμε ότι ο Al Shirazi μαθήτευσε στον Al Τούσι, και ήταν πιθανόν ο Al Φαρίσι να είχε εκφράσει τις αμφιβολίες του για τη διάθλαση με την επίδραση του Al Shirazi όταν αυτός ανέφερε τα λεγόμενα του Al Τούσι για αυτό το θέμα.

Ίσως η αιτία για τη μη εξάπλωση των ερευνών αυτού του βιβλίου στους Ισλαμιστές δεν οφείλεται στην δυσκολία εξάπλωσης αλλά στις ταραχές της πολιτικής κατάστασης. Από τη μια μεριά υπήρξαν οι πόλεμοι με τους Σταυροφόρους και από την άλλη η Τάταροι, καθώς και οι εσωτερικές ταραχές που ξέσπασαν στον Ισλαμικό κόσμο. Στην εποχή αυτή κυριάρχησε μια κακή διάθεση έναντι των επιστημόνων. Αυτό είχε αρνητικές συνέπειες για τη συνέχιση της προόδου στην επιστήμη στο 12ο αιώνα και μετά, και εμποδίστηκε η επίδραση των ερευνών του Al Χαϊθάμ. Ο Άραβας μελετητής Abdullateef Haïdar θεωρεί ότι στην Αραβική (Ισλαμική) κουλτούρα και επιστήμη υπάρχουν τρεις υποκουλτούρες: Φυλετική, θρησκευτική και κοσμική. Αυτές έχουν διαμορφωθεί από την Ισλαμική άποψη για τον κόσμο. Σύμφωνα με τον Abdullateef το Ισλάμ εμπνέει τους Μουσουλμάνους να αποκτήσουν γνώση. Αυτό εμφανίστηκε κατά έντονο τρόπο την εποχή που έζησε ο Al Χαϊθάμ. Όμως σύμφωνα με τον Abdullateef στο Ισλάμ εμφανίστηκε την ίδια εποχή η σχολή των φονταμενταλιστών Αλ Ασάρι που πίστευαν ότι ο τρόπος για να επιστρέψει το Ισλάμ στην χρυσή του εποχή ήταν να επιστρέψουν στις ρίζες του Ισλάμ. Την ίδια εποχή είχε εμφανιστεί η σχολή των φιλοσόφων

Αλ Μουτάζιλα που πίστευαν ότι η σωτηρία θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ανάπτυξη της επιστήμης και της Φιλοσοφίας. Οι φιλόσοφοι Αλ Μουτάζιλα είχαν υιοθετήσει τη Ιτζτιχάντ που σημαίνει προσπάθεια, πάλη για να κάνει κάποιος το καλύτερο για να γνωρίσει κάτι. Η μάχη μεταξύ των Αλ Μουτάζιλα και των Αλ Ασάρι θεωρείται σαν μια μάχη μεταξύ των επιστημόνων και των θεολόγων.

Ιμπν Αλ Χαϊθάμ και Δυτικοί

Κατά τη διάρκεια του δέκατου τρίτου αιώνα εμφανίστηκε μια άνθηση των μελετών του Ισλαμικού πολιτισμού.

Ο Πολωνός Vitelo ή Witello εξέδωσε ένα έργο για την Οπτική το έτος 1270. Όπως δήλωσε το βάσισε στον Κλαύδιο Πτολεμαίο, αναφέρεται όμως σε κάποιον Άραβα συγγραφέα με το όνομα «Αλχαζέν». Ο Risner στο έτος 1582 εξέδωσε μια πλήρη Λατινική μετάφραση του έργου του Αλ Χαϊθάμ με τον τίτλο «Θησαυρός της Οπτικής του Αλ Χαζέν (Opticae Thesaurus Alhazeni)». Έγινε προφανές αργότερα, ότι το έργο του Vitelo βασίστηκε στο έργο του Αλ Χαϊθάμ. Κατά τον Ναζίφ ο Priestley (1737-1804) στο βιβλίο του για την ιστορία των ανακαλύψεων της οπτικής (A History of Discoveries relating to vision light and colours 1772) ανέφερε την άποψη του Dela Porta (1538-1610) ότι «οι αμαρτίες του Vitelo βρίσκονται κατά το μεγαλύτερο μέρος των περιεχομένων στα οποία δεν ακολούθησε τον Αλχαζέν».

Το βιβλίο αυτό παρέμεινε πηγή για τη μελέτη της οπτικής κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα και της αναγέννησης. Ο Wiedemann στα 1910 ήταν από τους μελετητές που το μελέτησε και συμπέρανε ότι μεγάλο τμήμα των ερευνών και των ανακαλύψεων της Οπτικής που απεδόθησαν σε δυτικούς μελετητές ξεπήδησαν μέσα από αυτό το βιβλίο.

Το βιβλίο αυτό επέδρασε προς στην σωστή κατεύθυνση της μελέτης του φωτός. Δεν είναι λάθος αν πούμε ότι από το Μεσαίωνα μέχρι τον δέκατο έκτο αιώνα, οπότε εμφανίστηκε η λατινική έκδοση του Risner, οι ιδέες του Αλ Χαϊθάμ έγιναν γνωστές στη Δύση από διάφορους μελετητές όπως τους Roger Bacon, John Peckham κ.ά (Ronchi 1991). Στη Μέση Ανατολή το επίπεδο των διαφόρων συγγραμμάτων ήταν αρκετά υψηλό σε σχέση με αυτό που είχαν πολλά από τα επιστημονικά βιβλία που εξέδιδαν οι δυτικοί την ίδια εποχή, συμπεριλαμβανομένων και μερικών από τα έργα του Κέπλερ.

Πολλοί ιστορικοί μετέτρεψαν το όνομα του Αλ Χαϊθάμ σε Alhazen ή ΑλΧαζάνι πιθανόν γιατί το πρώτο του όνομα είναι Αλ Χάσαν. Ο Priestley έφτασε στο σημείο να πει ότι δεν έγραψε το βιβλίο «Θησαυρός της Οπτικής» ο Αλ Χαϊθάμ. Όσον αφορά την καταγωγή του επεκράτησε σύγχυση και διατυπώθηκε η άποψη ότι ο Αλ Χαϊθάμ πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στην Ισπανία. Άλλοι ισχυρίστηκαν ότι η καταγωγή του ήταν από την Αίγυπτο. Ούτε οι Άραβες ιστορικοί μπόρεσαν να ξεκαθαρίσουν την υπόθεση.

Το σκοτάδι έφυγε όταν ο Wiedemann το έτος 1876 βρήκε στην βιβλιοθήκη του Leiden ένα Αραβικό χειρόγραφο του βιβλίου του Αλ Φαρίσι. Ο Wiedemann το 1910 εξέδωσε το έργο «Διόρθωση της οπτικής για αυτόν που έχει τα μάτια και τα θεάματα» (*μπε τανκίχ αλ μαναζίρ λιτάονι*

αλ αμπσάρ ον αλ μπασάρ البصائر والأبصار لذوي المناظر (που είχε εκδώσει ο Αλ Φαρίσι. Όπως είπε ο Wiedemann αυτό το έργο ήταν η Αραβική διόρθωση στην Λατινική έκδοση του Risner. Το έργο του Αλ Φαρίσι ήταν μια αναθεώρηση του βιβλίου της Οπτικής του Αλ Χαϊθάμ. Ο Wiedemann ενδιαφέρθηκε για την ημερομηνία του βιβλίου και της αναθεώρησης του. Καθόρισε ότι η σύνθεση του τέλειωσε μεταξύ των ετών 1302 και 1311, και έκρινε ότι ο Αλ Φαρίσι το είχε ξεκινήσει νωρίτερα. Ο Wiedemann συνέκρινε την αναθεώρηση του Αλ Φαρίσι και το Λατινικό θησαυρό του Αλ Χαζέν και ανακάλυψε ότι έμοιαζαν και αντιστοιχούσαν σε αυτά που ο Αλ Φαρίσι ανέφερε ως λόγια του Αλ Χαϊθάμ και στα αποσπάσματα όπου γράφει περιληπτικά τις απόψεις του Αλ Χαϊθάμ. Σε άλλα σημεία ο Αλ Φαρίσι αναφέρει την δική του γνώμη και τα αποτελέσματα των δικών του μελετών. Ο Wiedemann συμπέρανε ότι το βιβλίο του «θησαυρού» δεν ήταν παρά μετάφραση της Οπτικής του Αλ Χαϊθάμ. Έτσι ταυτίστηκε ο Αλ Χαζέν με τον Αλ Χαϊθάμ. Αργότερα εκδόθηκαν τα έργα του Αλ Χαϊθάμ για τα κάτοπτρα και για το κοίλο κάτοπτρο - που αναφέρεται ως «η σφαίρα που καίει» (*kurat al muhrika* كورة المحرقة).

Οι γενικές απόψεις του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το φως και ειδικά για την ευθύγραμμη διάδοση του

1 - Οι γενικές απόψεις

Οι απόψεις του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το φωτιζόμενο σώμα και η σύγκριση τους με τις κυριαρχούσες απόψεις της εποχής του

Υπήρχαν δύο θεωρίες αναφορικά με τη φύση της εκπομπής του φωτός:

Η μία θεωρία αφορούσε στην εκπόρευση σωματιδίων από το σώμα που βλέπουμε, τα οποία έφταναν στο μάτι.

Η άλλη θεωρία απέρριπτε αυτήν την άποψη και υποστήριζε την εκπομπή φωτός από το μάτι.

Οι Ισλαμιστές είχαν εκπροσώπους και στα δύο στρατόπεδα.

Οι «Μαθηματικοί Οπτικοί» δεν ενδιαφέρονταν για το φως που προέρχεται από τα αυτόφωτα σώματα, το οποίο ονομάζεται «φωτεινή θερμότητα», αλλά για τη «φωτεινή δύναμη» που βγαίνει από το μάτι και που ανήκει στο ίδιο γένος με την «φωτεινή θερμότητα». Αυτή όμως η «φωτεινή δύναμη» δεν ήταν μία ανεξάρτητη οντότητα, αλλά όπως λέει ο Αλ Χαϊθάμ ήταν «η δύναμη της όρασης» (*κούατ αλ μπάσιρα* *قوة الباصرة*), που είναι ένα είδος ψυχικής δύναμης. Είναι κάτι που δεν υπάρχει στη φύση έξω από το νου και από την ψυχή.

Η άλλη άποψη ήταν των «φυσικών φιλοσόφων» (*αλ φαλασάφατ αλ ταμπίιν* *الفلاسفة الطبيعيين*). Για αυτούς το φως του αυτόφωτου σώματος είναι «εικόνα εσωτερική- αυθόρμητη» (*σούρατ ιζαουχιρία* *صورة جوهرية*). Το φως που προέρχεται από ένα ετερόφωτο σώμα ονομάζεται «εικόνα περιστασιακή» (*σούρατ αραντία* *صورة عرضية*) που δεν είναι από τα συστατικά στοιχεία αυτού του σώματος.

Ο Αλ Χαϊθάμ αρκείται αρχικά στην παράθεση των δύο απόψεων, όμως με τα λόγια του αποκαλύπτεται η άποψή του για το φως από όπου φαίνεται ότι διαφωνεί και με τις δύο απόψεις.

Για τον Αλ Χαϊθάμ το φως διαδίδεται σε μερικά σώματα που τα χαρακτηρίζει η ιδιότητα «διαφάνεια» (*shafif* *شفيف*), την οποία ορίζει με τα ακόλουθα λόγια: «το νόημα της λέξης αυτής αναφέρεται σ' αυτό που αφήνει το φως να περάσει».

Τα σώματα που δεν επιτρέπουν στο φως να περάσει, ονομάζονται συμπαγή (αδιαφανή) σώματα (αλ αγκσάμ αλ καθίφα **الأجسام الكثيفة**) και σε αντίθεση με τη «διαφάνεια» υπάρχει η «συμπάγεια -αδιαφάνεια» (**καθάφα كثافة**). Μια σημαντική ιδιότητα των συμπαγών (αδιαφανών) είναι η «δύναμη για υποδοχή του φωτός» (**κούα κουμπούλ αλ νιου قوة قبول الضوء**). Για τον Αλ Χαϊθάμ διαφανή είναι ο αέρας, το νερό, το γυαλί, ο κρύσταλλος γιατί σ' αυτό το φως μπορεί να κινείται μέχρις ότου συναντήσει κάποιο αδιαφανές (συμπαγές) σώμα.

Ο Αλ Χαϊθάμ μιλά με πολλή προσοχή για την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός στα διαφανή. Το φως έχει δική του οντότητα. Όταν πέσει πάνω σε ένα αδιαφανές (συμπαγές) σώμα το φωτίζει, κι αν πέσει στο μάτι προκαλείται η όραση. Το διαφανές ενεργεί ως εργαλείο αλλά η επίδραση του φωτός δεν είναι κάτι το μόνιμο, όπως θα ήταν ένας μόνιμος χρωματισμός του. Όπως λέει και ο Αλ Χαϊθάμ: «ενώ αυτό δέχεται τις εικόνες (εννοεί τα φωτεινά είδωλα και τα χρώματα) η επίδραση του είναι περαστική και όχι κάτι που μεταμορφώνει. Μπορεί σε ένα σημείο να φτάνουν ταυτόχρονα φώτα από διάφορες πηγές. Αυτά μπορούν να συνυπάρχουν το ένα ανεξάρτητα από το άλλο χωρίς να αναμειγνύονται».

Δε συμφωνεί με τους μαθηματικούς ούτε με τους Πλατωνικούς ούτε με τους Στωικούς ούτε με τους Επικούρειους. Συμφωνεί κατά ένα μέρος με τον Αριστοτέλη, δεν τον ακολουθεί όμως στην άρνηση της αυτόνομης ύπαρξης του φωτός. Γι' αυτό και οι έρευνες του έχουν μια σύγχρονη χροιά.

Ορισμένοι Ισλαμιστές αρνούνται την άποψη των οπαδών της ακτινοβολίας του ματιού, και ταυτόχρονα δε δέχονται ότι από το αντικείμενο που βλέπουμε κάτι εκπέμπεται και διαδίδεται στο διαφανές μέσο. Όπως είπε ο Ιμπν Σίνα (Αβικέννας) «Δεν εξέρχονται από το μάτι ακτινοβολίες. Από το αντικείμενο, αν βέβαια είναι απέναντι από το μάτι, εξέρχεται ένα είδωλο (εικόνα) χωρίς αυτό να προσκολλάται στο διαφανές· φτάνει αμέσως στο μάτι».

Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα φώτα από τα αυτόφωτα σώματα και τα περιστασιακά φώτα (φώτα από διάχυση)

Ο Αλ Χαϊθάμ ονόμασε πρωτογενή τα φώτα που προέρχονται από αυτόφωτα σώματα όπως ο Ήλιος και η φωτιά, ενώ δευτερογενή τα φώτα που προέρχονται από ετερόφωτα σώματα. Στη συνέχεια μίλησε για «τριογενή» και «τεταρτογενή», αν από ένα ετερόφωτο φωτίζεται ένα άλλο και στη συνέχεια ένα άλλο.

Η υποδιαίρεση αυτή δεν είχε το νόημα ότι αυτά ήταν διαφορετικά φώτα, αλλά αναφερόταν στην επίδραση του διαφανούς και του αδιαφανούς (συμπαγούς).

Η επιφάνεια του αδιαφανούς γίνεται μια πηγή για νέο φως και από κάθε σημείο της επιφάνειας εκπέμπεται ευθύγραμμο το φως προς το διαφανές που είναι δίπλα του. Λέει ότι το αδιαφανές «στερεώνει το φως». Αυτός είναι ο λόγος που το μάτι δεν αντιλαμβάνεται ένα σώμα παρά μόνο αν είναι αδιαφανές.

Το φως που προέρχεται από το αυτόφωτο και από το ετερόφωτο είναι του ίδιου είδους.

Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα ανακλώμενα και τα περιστασιακά (διάχυτα) φώτα

Ο Αλ Χαϊθάμ δίνει ιδιαίτερη σημασία στο διαχωρισμό μεταξύ των περιστασιακών φώτων που προέρχονται από τα φωτιζόμενα αδιαφανή(συμπαγή) σώματα και του φωτός που προέρχεται από κατοπτρικές επιφάνειες. Τα «περιστασιακά (διάχυτα)» φώτα που λάμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις από ένα «συμπαγές» σώμα, προχωρούν στο διαφανές. Δεν ακολουθούν κάποια ορισμένη διεύθυνση. Μια ιδιαίτερη εφαρμογή αυτών ήταν το θέμα του φωτός του Φεγγαριού. Ο Αλ Χαϊθάμ απέδειξε ότι το φως αυτό δεν προέρχεται από κατοπτρική ανάκλαση. Θεώρησε ότι οι άλλες θεωρίες δεν ήταν επαρκείς. «Αυτά που υποστηρίζουν στις απόψεις τους είναι ότι το ουράνιο σώμα του Φεγγαριού δεν έχει δικό του φως και ότι το φως του που φωτίζει τη Γη, είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο και ανακλάται στην επιφάνεια του προς τη Γη. Ούτε ένας όμως από αυτούς δεν είχε γι' αυτό το νόημα μια σωστή λέξη, ούτε στο πώς δέχεται το Φεγγάρι το φως ούτε στο πώς το ανακλά» (στο έργο του «Το φως του Φεγγαριού *ντον αλ κάμαρ ضؤ القمر*). Η αντίρρηση του ήταν προς τους μαθηματικούς που θεωρούσαν ότι το φως του Ήλιου ανακλάται κατοπτρικά πάνω στην επιφάνεια του Φεγγαριού. Για περισσότερη ανάλυση του θέματος βλέπε 5ο κεφάλαιο και για διδακτικές εφαρμογές το 9ο κεφάλαιο.

Η πρόθεση του να κάνει διαχωρισμό μεταξύ του ανακλώμενου φωτός και των «περιστασιακών» φώτων προέρχεται ακριβώς από αυτή την περίπτωση του Φεγγαριού.

Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αυγή και το λυκόφως.

Ο Αλ Χαϊθάμ πρότεινε μια θεωρία για το φως της αυγής και το λυκόφως. Ξεκινά την ανάλυση της θεωρίας του με την παρατήρηση ότι έχουμε φως πριν να ν'ανατείλει ο Ήλιος. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και μετά την ανατολή του Ηλίου μέσα στα δωμάτια. Παρόλο που δε φωτίζονται άμεσα από το ηλιακό φως, υπάρχει φως και σ' αυτά. Το ίδιο συμβαίνει και στις σκιές των βουνών. Ο Αλ Χαϊθάμ παρατηρεί ότι η εμφάνιση του φωτός της ημέρας γίνεται βαθμιαία. Τη θεωρία του τη στηρίζει πάνω στη διαφάνεια και στην αδιαφάνεια (συμπάγεια). Παρόλο που ο αέρας είναι διαφανές σώμα δεν είναι τελείως ελεύθερος από την συμπάγεια (αδιαφάνεια). Ενώ ο Ήλιος είναι κάτω από τον ορίζοντα, το φως του φτάνει στον αέρα που τον φωτίζει και ταυτόχρονα ο αέρας λάμπει λόγω της ύπαρξης μιας μικρής «συμπάγειας». Το φως αυτό είναι φως «περιστασιακό (διάχυτο)» και διαδίδεται στο σκοτεινό αέρα. Έτσι τα άκρα της σκιάς της Γης φωτίζονται περισσότερο απ' όσο φωτίζονται τα μέρη της σκιάς που είναι πιο μέσα. Και αυτά φωτίζονται περισσότερο απ' αυτά που ακολουθούν.

Στην εποχή μας μιλάμε για σκεδαζόμενο φως.

Κριτική του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τους οπαδούς της εκπομπής από το μάτι.

Μια από τις μεγαλύτερες εισφορές του Αλ Χαϊθάμ ήταν η κριτική που άσκησε στη θεωρία της εκπομπής ακτίνων από το μάτι. Η θεωρία αυτή

ήταν μια θεωρία «αφής», καθώς το μάτι με τη βοήθεια των ακτίνων «εγγίζει» τα αντικείμενα και τα αντιλαμβάνεται. Δεν έπαψαν οι αναφορές σ' αυτή τη θεωρία. Ο Καρτέσιος σε μια παρομοίωση του για το φως χρησιμοποίησε το παράδειγμα του τυφλού που με δυο μπασιτούνια προσπαθεί να καταλάβει τον κόσμο γύρω του (Sabra 1981).

Στο βιβλίο του για την Οπτική ο Αλ Χαϊθάμ εξέθεσε αυτήν τη θεωρία και ανέφερε σε ποια σημεία διαφωνούν οι διάφορες θεωρίες εκπομπής ακτίνων από το μάτι.

Οι διάφορες θεωρίες έχουν εκτεθεί στο πρώτο κεφάλαιο.

Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε αυτές τις θεωρίες. Έδωσε τους εξής όρους για την όραση: για να δούμε κάτι θα πρέπει το αντικείμενο αυτό να είναι είτε αυτόφωτο είτε ετερόφωτο. Θα πρέπει μεταξύ του αντικειμένου και του ματιού να υπάρχει κάποια απόσταση. Μεταξύ κάθε σημείου του αντικειμένου και του ματιού θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να φέρουμε μια ευθεία γραμμή που να μη διακόπτεται από κάτι το συμπαγές, ή θα πρέπει το μέσο που παρεμβάλλεται μεταξύ του ματιού και του αντικειμένου να είναι διαφανές.

Ο Αλ Χαϊθάμ υπέβαλε διάφορα ερωτήματα για τη θεωρία της εκπομπής προκειμένου να την αναιρέσει. Γιατί θα πρέπει να υπάρχει αυτή η ακτίνα από το μάτι για να φέρει κάτι άλλο από το βλεπόμενο στο μάτι; Δεν είναι πιο ταιριαστό και πιο απλό να πούμε, ότι το φως κινείται σε ευθείες γραμμές και ότι το διαφανές μέσο δέχεται αυτό το φως που εκπέμπεται από το βλεπόμενο αντικείμενο στο μάτι πάνω σε ευθείες γραμμές χωρίς τη βοήθεια των ακτίνων που βγαίνουν από το μάτι;

Δίνει και το εξής επιχείρημα: μελετά το ερώτημα (αναφέρθηκε στα περί Αριστοτέλη και σχολιαστών στο 1ο κεφάλαιο) αν οι ακτίνες που βγαίνουν από το μάτι είναι υλικές (ή όπως λέει σωματικές) ή όχι. Αν είναι σωματικές και εμείς κοιτάξουμε τον ουρανό και τη Γη, τότε κάτι το σωματικό φεύγει από το μάτι και γεμίζει μ' αυτό ο ουρανός και η Γη, από το μάτι όμως δε λείπει τίποτε. Αν δεν είναι οι ακτίνες αυτές σωματικές τότε δε θα μπορούμε να νιώσουμε τίποτε «γιατί οι αισθήσεις ανήκουν στα σώματα που έχουν ζωή». Παρατηρεί ότι, αν ο αέρας ή τα διαφανή σώματα που παρεμβάλλονται μεταξύ του ματιού και του βλεπόμενου αντικειμένου, φέρουν στο μάτι κάτι από το βλεπόμενο αντικείμενο, τότε δεν υπάρχει ανάγκη να βγαίνει κάτι από το μάτι.

Ο Αλ Χαϊθάμ κατέκρινε και αυτή τη θεωρία «εκπομπής ειδώλων». Με τη θεωρία του για εκπομπή του φωτός από τα αντικείμενα αφαίρεσε τους πιο δυνατούς ισχυρισμούς αυτής της θεωρίας.

Η άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα χρώματα στα αδιαφανή (συμπαγή) σώματα

Ο Αλ Χαϊθάμ πιστεύει ότι το χρώμα είναι κάτι διαφορετικό από το φως. Έκανε πειράματα στα οποία πίστευε ότι απέδειξε για το χρώμα είναι μια ξεχωριστή οντότητα: από μία λεπτή σχισμή του τοίχου περνά το Ηλιακό φως και προσπίπτει σε μια πορφυρή πλάκα. Αν φέρουμε κοντά της ένα λευκό ύφασμα παρατηρούμε πορφυρό χρώμα πάνω στο ύφασμα. Δηλαδή το πορφυρό ήλθε από την πλάκα. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με ένα

μπουκάλι που περιέχει ένα κόκκινο ποτό. Το κόκκινο χρώμα μεταφέρεται από το υγρό στο ύφασμα. Ο Αλ Χαϊθάμ παρουσιάζει τα εξής επιχειρήματα: Όταν ένας άνθρωπος νιώσει ντροπή κοκκινίζει, και όταν νιώσει φόβο πρασινίζει. Το ίδιο φως πέφτει πάνω του πριν να έρθει στην κατάσταση της ντροπής ή του φόβου. Άρα το χρώμα δεν οφείλεται στο φως. Το χρώμα μεταδίδεται μαζί με το φως πάνω σε ευθύγραμμες τροχιές και ακολουθεί τους ίδιους νόμους ανάκλασης και διάθλασης. Το χρώμα όμως εισχωρεί στα διαφανή μέσα είτε έχει φως είτε σκοτάδι. Για να γίνει αντιληπτό από τον άνθρωπο θα πρέπει το σώμα να φωτιστεί. Ο Αλ Φαρίσι, που έκανε σχόλια του έργου του Αλ Χαϊθάμ φαίνεται ότι σ' αυτό το θέμα διαφωνεί μαζί του, παρόλο που γενικά τον θαυμάζει. Σ' αυτό το θέμα τον συμπεριλαμβάνει μεταξύ αυτών που δεν αποδεικνύουν τους ισχυρισμούς τους.

Χρησιμοποιεί τον όρο «ιριδισμός» (*τακάζιχ* تقازيح) που όπως λέει ο Αλ Φαρίσι «είναι έκφραση που πάρθηκε από το ουράνιο τόξο για τα διάφορα χρώματα που εμφανίζονται, όπως είναι το πράσινο, το κίτρινο, το κυανό και το κόκκινο». Εφαρμόζει αυτόν τον όρο σε φαινόμενα χρωμάτων που συμβαίνουν στο ουράνιο τόξο, αλλά και σε πτερώματα πουλιών όπως του παγωνιού, καθώς και σε διάφορα είδη υφασμάτων ιδιαίτερα σε ένα ρωμαϊκό ύφασμα που το ονομάζει *Άμπου Καλμούν* (أبو قلمون), τα οποία έχουν διάφορα χρώματα που αλλάζουν ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή. Αν τα σώματα αυτά αν τεθούν σε ασθενικό φως χάνουν τον περιστασιακό τους ιριδισμό και δίνουν τα πραγματικά τους χρώματα.

Ο Αλ Φαρίσι αποδίδει αυτά τα φαινόμενα στη διάθλαση και στην ανάκλαση. Στην πραγματικότητα μερικά από τα φαινόμενα αυτά δεν οφείλονται στην ανάκλαση αλλά στην περίθλαση.

Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα χρώματα των αυτόφωτων σωμάτων

Τι σχέση έχει για τον Αλ Χαϊθάμ το χρώμα με το φως στα αυτόφωτα; Παρ' όλες τις απόψεις του για το χρώμα των αδιαφανών (συμπαγών) σωμάτων, για τα αυτόφωτα εκφράζει κάπως διαφορετικές απόψεις. «τα αυτόφωτα σώματα έχουν φως που έχει τη μορφή των χρωμάτων» Για τον Ήλιο και τη φωτιά λέει: «το φως του Ήλιου είναι η μορφή του που συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται το χρώμα που μοιάζει με τη μορφή του Ήλιου. Όμοια το φως της φωτιάς έχει ομοιότητα μορφής και είναι η μορφή της φωτιάς». Σ' αυτά βλέπουμε ότι για τα αυτόφωτα σώματα θεωρεί πως η υπόσταση του χρώματος δεν είναι τίποτε άλλο παρά η μορφή του ίδιου του φωτός. Σύμφωνα με τον Roshdi η λέξη «μορφή» αντιστοιχεί στη λέξη «είδος» (Roshdi: Optique Geometrique et Doctrine Optique chez Al Haytham). Η θέση αυτή έχει σχέση με τη φιλοσοφία, όπου το φως έχει μια ύπαρξη όπως όλα τα αισθητά και κατά συνέπεια αποτελείται από μια πρωτόγονη ύλη (*χαιλούλι* هيلولي) και από μορφή. Αυτή η μορφή του φωτός που προέρχεται από αυτόφωτα σώματα έτσι όπως την αντιλαμβανόμαστε και είναι το χρώμα.

Λάθη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάμειξη των χρωμάτων και στην άποψη του για τον ιριδισμό

Για το πρώτο θέμα δηλ. την ανάμειξη των χρωμάτων, αν τα διάφορα χρώματα αναμειχτούν τότε το μάτι αντιλαμβάνεται ένα χρώμα που

προέρχεται από μια ανάμειξη. Έδωσε το παράδειγμα της σβούρας που είναι πολύχρωμη αλλά καθώς περιστρέφεται, δίνει ένα χρώμα που διαφέρει από τα χρώματα με τα οποία είναι βαμμένη η σβούρα. Θεωρεί ότι στο χρώμα που αντιλαμβάνεται το μάτι επιδρούν όχι μόνο τα χρώματα που υπάρχουν πάνω στο σώμα (στη σβούρα) αλλά και το χρώμα που έχει το διαφανές. Στην πραγματικότητα δεν ισχύει κάτι τέτοιο, γιατί το χρώμα που θα αντιληφθεί το μάτι προέρχεται από την ανταπόκριση του υλικού του σώματος στα διάφορα χρώματα που έχει το φως που προσπίπτει στο σώμα. Ο Αλ Χαϊθάμ είδε ότι κάτι δεν είχε αντιληφθεί σωστά και προσπάθησε να το διερευνήσει. Παρατήρησε ότι τα χρώματα που έχει το σώμα καθώς φωτίζεται υπό ειδικές συνθήκες δεν είναι αυτά που είχε από την αρχή. Αναρωτιέται γιατί είναι έτσι τα πράγματα παρόλο που τα χρώματα κινούνται στο χώρο μαζί με τα φώτα. Ο λόγος για την αλλαγή του χρώματος είναι η «δύναμη του φωτός» (*قوة الضوء* *αλ νιού* *الإمتصاص*). που περιέχει ή που το συνοδεύει στην κίνηση του καθώς σύμφωνα με την άποψη του το φως και το χρώμα είναι ανεξάρτητα.

Για την αιτία του ιριδισμού ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε μια θεωρία που επεκράτησε για πολύ καιρό. Ο ιριδισμός οφείλεται στην ανάμειξη του σκοτεινού με το φωτεινό. Από το λευκό στο κόκκινο μέχρι το ιώδες. Θεωρεί τον ιριδισμό ως αποτέλεσμα της απορρόφησης (*αλ νιού* *الإمتصاص*).

Περισσότερες λεπτομέρειες για το θέμα αυτό ευρίσκονται στο 11ο κεφάλαιο.

Η άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το ότι η διάδοση του φωτός γίνεται σε πεπερασμένο χρόνο.

Η άποψη του Αλ Χαϊθάμ ήταν ότι το φως είναι μια ανεξάρτητη οντότητα και ότι η αποδοχή του από το διαφανές το μεταφέρει από τον ένα τόπο στον άλλο. Σ'αυτό περιλαμβάνει την άποψη ότι η μετακίνηση του φωτός στο διαφανές δεν είναι στιγμιαία, αλλά διαρκεί ένα καθορισμένο διάστημα και ότι το φως έχει μια ορισμένη ταχύτητα. Η άποψη του Αλ Χαϊθάμ δεν έγινε αποδεκτή και χρειάστηκαν οι παρατηρήσεις του Romer για τους δορυφόρους του Διός πριν ν'αρχίσει να συζητείται και πάλι. Η επικρατούσα άποψη την εποχή του Αλ Χαϊθάμ ήταν ότι το φως ή οι ακτίνες της όρασης διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα (άποψη του Ήρωνος, του Δαμιανού, αλλά και αργότερα του Κέπλερ και του Καρτεσιού) καθώς και η άποψη του Αριστοτέλη για στιγμιαία μετάδοση της επίδρασης της φωτεινής πηγής.

Η θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός

Ο Αλ Χαϊθάμ δεν περιορίζεται στο να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο ανακλάται το φως αλλά τον αναλύει με τις μεθόδους που είναι γνωστές στη σημερινή εποχή. Προηγήθηκε του Νεύτωνα στην μηχανική περιγραφή της ανάκλασης αν και υπήρξαν παρόμοιες προσπάθειες από τον Ήωνα. Μπορούμε να χωρίσουμε τη θεωρία του Αλ Χαϊθάμ για το φως σε δύο μέρη. Το πρώτο αφορά τη μοντελοποίηση ενώ το δεύτερο αφορά τη μέτρηση των γωνιών πρόσπτωσης και ανάκλασης.

Η μηχανική πλευρά από τη θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός.

Ο Αλ Χαϊθάμ προετοιμάζει την εξήγησή του με δύο πειράματα. Το πρώτο αφορά σ' αυτό που ονομάζει «φυσική κίνηση», η οποία είναι αυτή που σήμερα λέμε ότι οφείλεται στην έλξη του πεδίου βαρύτητας της γης, και το δεύτερο αφορά σ' αυτό που ονομάζει «περιστασιακή κίνηση», που οφείλεται στην ενέργεια κάποιου που επενεργεί στο κινητό. Το πρώτο πείραμα για την ανάκλαση αφορά στην πτώση μικρής λείας σφαίρας από σίδηρο ή χαλκό προς μία πλάκα από σίδηρο. Στο πείραμα αυτό παρακολουθούσε τη συνάντηση της σφαίρας με την επιφάνεια και τι συμβαίνει μετά απ' αυτήν. Η σφαίρα αυτή είχε βάρος που κατά τον Αλ Χαϊθάμ δε πρέπει να ξεπερνά το βάρος ενός μιθκάλ (مِثْقَال = 4,68 γρ.). Θα πρέπει το ύψος από το οποίο αφήνεται να μην είναι λιγότερο από είκοσι πήχεις (ذراعاً). Παρατηρεί τις αναπηδήσεις της σφαίρας και σημειώνει ότι «η ανάκλασή της από το κάτοπτρο είναι πιο δυνατή όταν πέφτει από μεγαλύτερο ύψος, ενώ, όταν η απόσταση είναι μικρότερη, τότε η επιστροφή της είναι πιο σύντομη».

Στο δεύτερο πείραμα τοποθετεί το κάτοπτρο σε έναν τοίχο έτσι που η επιφάνειά του να είναι κατακόρυφη. Μετά ρίχνει την μπάλα με ορμή προς το κάτοπτρο. Ο Αλ Χαϊθάμ κατασκεύασε μια διάταξη όπου τοποθετούσε την μπάλα σε ένα βέλος. Σε μία πρώτη ρίψη η μπάλα ακολουθεί μία τροχιά κάθετη προς τον τοίχο, ενώ σε μια δεύτερη περίπτωση της δίνει μια κλίση προς τον τοίχο και παράλληλη προς τον οριζόντιο (οριζόντια). Κατέγραψε τις παρατηρήσεις του και βρήκε ότι στην πρώτη περίπτωση η μπάλα αναπηδά κατά την κάθετο, ενώ στην άλλη περίπτωση αναπηδά προς την αντίθετη κατεύθυνση απ' ότι ρίχτηκε και συνεχίζει παράλληλα προς το έδαφος. Δεν παραμένει όμως σε μία παράλληλη προς το έδαφος κίνηση λόγω της «φυσικής δύναμης» που την κινεί προς τα κάτω.

Το ενδιαφέρον δε βρίσκεται μόνο στα πειράματα αλλά και στο τι συνήγαγε από αυτά.

Ο Αλ Χαϊθάμ χρησιμοποιεί τον όρο «δύναμη της κίνησης» για το κινητό. Λέει για το σώμα που πέφτει: «αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη τότε η κίνηση του είναι πιο δυνατή και πιο γρήγορη» και για την κίνηση που αποκτά η σφαίρα στο πρώτο πείραμα, λέει: «είναι ανάλογη (مِنْ أَلْ مُكْنِئَاتِ بِأَلْ مُقْدَارِ) προς την απόσταση και προς το βάρος». Για τη σφαίρα που χρησιμοποιεί στο δεύτερο πείραμα παρατηρεί ότι «όποτε είναι μεγαλύτερη η δύναμη της ρίψης, και η επιστροφή της σφαίρας είναι πιο δυνατή». Ο όρος «δύναμη της κίνησης» θυμίζει αυτό που ονομάζουμε «ποσότητα κίνησης», μπορεί όμως να ερμηνευτεί και σαν «κινητική ενέργεια». Στη δεύτερη περίπτωση βλέπουμε ότι είναι δυνατή μια τέτοια εξήγηση, γιατί η «ποσότητα της κίνησης» είναι ανάλογη με το ύψος και με το βάρος.

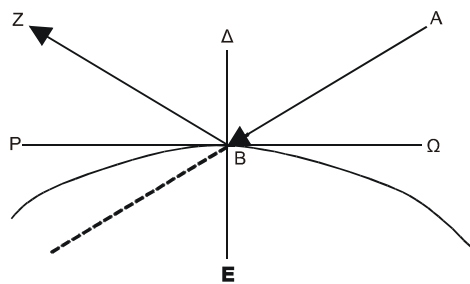
Κάτι άλλο που τον απασχολεί είναι αυτό που σήμερα ονομάζουμε «συντελεστή ανάκρουσης». Κάνει μια σύγκριση για πρόσκρουση σε διάφορα σώματα: σκληρά σώματα, όπως είναι ο βράχος ή ο σίδηρος, στα οποία η επιστροφή του κινητού είναι γρήγορη, και στα μαλακά ή χαλαρά σώματα όπως είναι η άμμος και το χώμα, που σ' αυτές τις περιπτώσεις η σφαίρα προσκολλάται και δεν αναπηδά.

Για την περίπτωση επιστροφής του κινητού λέει ότι συνάντησε μια αντίσταση (κάτι το απαγορευτικό για την κίνηση - *μουνάνα* ممانعة) που το εμποδίζει να συνεχίσει: «δεν επιστρέφει το κινητό από την αντίσταση; Γιατί κερδίζει από την αντίσταση μια κίνηση προς τη διεύθυνση της επιστροφής. Αυτό δείχνει ότι η κίνηση της επιστροφής προήλθε από την αντίσταση, και αυτή η κίνηση είναι κάτι που οφείλεται στην αντίσταση. Όταν η αντίσταση είναι ισχυρή και η επιστροφή θα είναι ισχυρή. Η δύναμη της αντίστασης είναι ανάλογη με τη δύναμη της πρώτης κίνησης και ανάλογη με το κατά πόσο περιορίζεται η αντίσταση από το να παραμείνει αδρανής».

Διανυσματική θεώρηση της κίνησης: Το «γέρισμα» ή «στήριξη»

α) Ήρωνας και Πτολεμαίος

Όπως γράφει ο Rashed (1992), στην ιστορία της Οπτικής έχουμε τις διανυσματικές αναλύσεις του Ήρωνα και του Πτολεμαίου που τις χρησιμοποίησαν για να εξηγήσουν την ανάκλαση. Η αναλογία όμως του Ήρωνα (Nix, Schmidt 1900) σταματά στη διαπίστωση ότι υπάρχουν σκληρά σώματα στα οποία αναπηδά ένα σώμα και μαλακά που δεν



Εικόνα 1: Ανάλυση της κίνησης

επιτρέπουν την αναπήδηση, ενώ υπάρχουν σώματα όπως το νερό, το γυαλί που δίνουν μερική ανάκλαση, δε δίνει όμως εξήγηση της ισότητας των γωνιών ανάκλασης και πρόσπτωσης. Ο Πτολεμαίος (Lejeune 1948, Roshdi 1992) μελετά πιο λεπτομερειακά την αναλογία μεταξύ ανάκλασης και κίνησης και επικαλείται την ισότητα των γωνιών που κάνει ένα βλήμα που αναπηδά με την επιφάνεια, δεν

υπάρχουν όμως οι αναγκαίες έννοιες της κίνησης και έτσι υπάρχει μια ανακρίβεια στους όρους που χρησιμοποιεί. Έτσι αν το σώμα συναντά κάθετα την επιφάνεια δε μπορεί να συνεχίσει καθόλου και επιστρέφει πίσω. Αν το βλήμα συναντήσει την επιφάνεια εφαπτόμενα, δεν έχει κανένα εμπόδιο και συνεχίζει χωρίς ανάκλαση. Σύμφωνα με τον Πτολεμαίο θα πρέπει να κατανοήσουμε την κίνηση κάθε σώματος σύμφωνα με αυτή την κίνηση. Αν πέσουν οι ακτίνες όρασης κάθετα προς την επιφάνεια ανακλώνται στην ίδια ευθεία, αν πέσουν σύμφωνα με την εφαπτομένη συνεχίζουν χωρίς σταμάτημα. Οι πλάγιες ακτίνες έχουν μία ενδιαμέση θέση και η πορεία της είναι η φυσική μετάβαση μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων.

β) Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Ο Αλ Χαϊθάμ επικαλείται τη σύνθεση των κινήσεων για να εξηγήσει την ανάκλαση. Μια από τις έννοιες που χρησιμοποίησε είναι η έννοια του «γεροσίματος» (*ντιμάντ* اعتماد) προς το σώμα που αντιστέκεται και

αντιστοιχεί σ' αυτό που ονομάζουμε διανυσματική παράσταση ενός φαινομένου. Θεωρεί ότι η κίνηση αποτελείται από δύο συνιστώσες: μία κατακόρυφη και μία παράλληλη. Για τις συνιστώσες χρησιμο-ποιεί τον όρο «μερίδιο» (κουστ **قسط**). Όπως λέει, «το γέρισμο (διάνυσμα της κίνησης) του κινητού προς το σώμα που αντιστέκεται αποτελείται από μία κίνηση προς την κατεύθυνση στην οποία εκτείνεται η κάθετος πάνω στην επιφάνεια του σώματος που προβάλλει την αντίσταση και εμποδίζει τη διάδοση στο εσωτερικό του σώματος που αντιστέκεται και από μία κίνηση η οποία εκτείνεται πάνω στην κάθετο προς την πρώτη κάθετο και βρίσκεται στην επιφάνεια αυτή» (Ναζίφ). Η πρώτη κίνηση (κάθετη) λόγω της αντίστασης που προβάλλεται αναστρέφεται ενώ η δεύτερη παραμένει σταθερή. Έτσι μετά την κρούση η νέα κίνηση θα «συναρ-μολογείται» από δύο, μία κατά την κατακόρυφη και αντίθετη προς την αρχική κίνηση, ενώ η άλλη θα συνεχίζει την αρχική παράλληλη κίνηση.

Οι σκέψεις του Αλ Χαϊθάμ δεν περιέχουν μόνο την ανάλυση της κίνησης σε δύο συνιστώσες αλλά περιέχουν και θέματα δυναμικής, δηλαδή τη σχέση της κίνησης και της δύναμης που επιδρά.

Ένα παράδειγμα της χρήσης αυτών των εννοιών είναι το εξής: μία μικρή σφαίρα που κινείται κατά την ευθεία ΑΒ συναντά το σώμα που εμποδίζει την κίνηση στο Β. Φέρουμε στο Β την κάθετο ΒΔ στην επιφάνεια που εμποδίζει και επεκτείνουμε από την πλευρά του Β προς το Ε και μετά φέρουμε στο επίπεδο ΑΒΔ από το σημείο Β την εφαπτομένη ΩΡ.

Η κίνηση της σφαίρας κατά τη συνάντη-ση με την επιφάνεια που εμποδίζει, απο-τελείται από δύο συνιστώσες, μία κατά την κατεύθυνση ΒΕ και μία άλλη κατά την κατεύθυνση ΒΡ. Η συνιστώσα κατά την ΒΕ θα μεταβληθεί λόγω της ύπαρξης του εμποδίου στην κατεύθυνση ΒΔ, και αν το εμπόδιο είναι το μέγιστο δυνατό η κίνηση που αποκτά κατά την κατεύθυνση ΒΔ θα είναι όπως η αρχική κίνηση κατά τη ΒΕ, η κίνηση όμως κατά την κατεύθυνση ΒΡ θα παραμείνει η ίδια.

Το φως στην θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση.

Ως αίτιο της ανάκλασης θεωρεί μια ιδιαίτερη ιδιότητα του ανακλώντος σώματος τη «λειότητα» (σικάλ **صقال**). Αντίθετη με την λειότητα θεωρεί την τραχύτητα. Στη λειότητα δίνει διαβαθμίσεις. Τα σώματα δεν έχουν τέλεια λειότητα αλλά υπάρχουν διάφορες ανωμαλίες. Στο λείο σώμα τα διάφορα μέρη είναι ενωμένα μεταξύ τους και κλείνουν τις διάφορες σχισμές. Αν οι διάφορες σχισμές ή τα χωρίσματα είναι στενά, τότε το σώμα μπορεί να θεωρηθεί κατοπτρικό, αλλιώς θα θεωρηθεί τραχύ.

Σ' αυτήν την ιδιότητα των σωμάτων ο Αλ Χαϊθάμ βλέπει να οφείλεται η διάκριση των φώτων σε «περιστασιακά (διάχυτα)» και σε «ανακλώμενα» φώτα.

Για τον τρόπο της ανάκλασης έδωσε μια παρομοίωση με τη σφαίρα. Παρατηρεί όμως ότι υπάρχει μία διαφορά: η σφαίρα πέφτει ενώ το φως δεν πέφτει.

Δεν αναζητά την πραγματική φύση του φωτός σ'αυτήν τη θεώρηση. Η πρόσκρουση της σφαίρας είναι μία παρομοίωση και όχι μία εξήγηση. Δεν έφτασε, όπως έκανε ο Νεύτωνας αργότερα, στο να θεωρήσει τις ακτίνες ως

σωματίδια. Βέβαια η θεωρία του Νεύτωνα για σωματίδια προσέκρουσε σε δυσκολίες, καθώς προσπαθούσε να εξηγήσει τη μερική διάθλαση και ανάκλαση, πράγμα που τον οδήγησε να υποθέσει ότι τα σωματίδια που του φωτός παρουσιάζουν διάφορες φάσεις, ανάλογα με τη φάση του σωματιδίου άλλοτε ανακλάται και άλλοτε διαθλάται.

Τη δυσκολία για τα σωματίδια αντελήφθη πριν από το Νεύτωνα ο Αλ Φαρίσι. Λέει: «Υπάρχει η άποψη ότι η λειότητα εμποδίζει τη διάδοση του φωτός και το αναγκάζει να επιστρέφει, αλλά τότε πως διαθλάται στα σώματα που διαφέρουν ως προς την διαφάνεια τους, αν δεν τα εμποδίζει τότε γιατί έχουμε ανάκλαση από τις επιφάνειες των νερών και ταυτόχρονα διάδοση (διείσδυση); Το φως είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις, είτε διαδίδεται (διεισδύει) είτε ανακλάται. Και τα δύο είναι ένα».

Άποψη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη διάθλαση.

Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί ότι η ταχύτητα του φωτός στο οπτικά αραιότερο μέσο είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο οπτικά πυκνότερο. Για τη διαφορά των μέσων χρησιμοποιεί τον όρο «παχύτητα» (γλὰδ غلظ). Αν το σώμα έχει περισσότερη περιεκτικότητα σε «παχύτητα» είναι οπτικά πυκνότερο. Η παχύτητα και η διαφάνεια είναι αντίθετες ιδιότητες. Αν το διαφανές είναι αυτό που επιτρέπει στο φως να κινείται, η παχύτητα εμποδίζει το φως.

Στη διάθλαση αναλύει το φως που προσπίπτει στην επιφάνεια του δεύτερου μέσου σε δύο συνιστώσες όπως στην ανάκλαση. Αυτό που βλέπει είναι ότι η δεύτερη συνιστώσα δε διαφυλάσσει την αρχική της ποσότητα αν το φως εισχωρήσει στο δεύτερο μέσο. Αν το δεύτερο μέσο είναι πιο «παχύ» τότε η ταχύτητα γίνεται μικρότερη. Ο συνδυασμός (συνισταμένη) των δύο συνιστωσών στο δεύτερο μέσο δεν είναι στην ίδια ευθεία με την κίνηση του φωτός στο πρώτο μέσο, αλλά ελαττώνεται η κλίση προς την κάθετο και η ταχύτητα είναι μικρότερη. Αντίθετα, αν το φως μεταβαίνει από το πυκνότερο προς το αραιότερο, τότε η ταχύτητα αυξάνει και αυξάνει η κλίση της προς την κάθετο.

Δεν μας ξεκαθαρίζει αν η κατακόρυφη συνιστώσα μεταβάλλεται ή παραμένει σταθερή. Σε όλα τα λεγόμενά του δείχνει να ενδιαφέρεται μόνο για την εφαιπομενική συνιστώσα. Αυτή είναι μια αδυναμία της θεώρησης του Αλ Χαϊθάμ.

Για να εξηγήσει τη διάθλαση έδωσε την παρομοίωση του σπαθιού. Αν ένας κόψει με το σπαθί του ένα σκοινί ή ένα ραβδί, βρίσκει ότι το κόβει εύκολα, αν η κίνηση του σπαθιού γίνει κατακόρυφα, ενώ δυσκολεύεται, αν η κίνηση γίνει πλάγια.

Αυτό το πείραμα δείχνει ότι η κίνηση στην κάθετη είναι πιο εύκολη απ' ό,τι στην πλάγια διεύθυνση. Αν το φως συναντήσει ένα πυκνότερο μέσο, τότε το εμποδίζει απ' του να διαδοθεί (διεισδύσει) στην κατεύθυνση που εκινείτο, αν όμως κινείται στην κάθετη, δεν επιστρέφει στην διεύθυνση απ' όπου ερχόταν. Αν είναι πλάγιο, δεν μπορεί να συνεχίσει στην ίδια ευθεία λόγω της εξασθένησης της κίνησής του. Η πιο εύκολη μετακίνηση είναι στην κάθετη και κοντά σ' αυτήν.

Μια άλλη παρομοίωση που έδωσε, ήταν η διαφορά στην κίνηση της πέτρας στον αέρα και στο νερό.

Κατά τον Ναζίφ ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε εκφράσεις που θυμίζουν την αρχή του Fermat καθώς μίλησε για την πιο εύκολη και γρήγορη κίνηση.

Ο Lindberg στην εργασία του «the Cause of Refraction in Medieval Optics» γράφει ότι το επιχείρημα για την κατεύθυνση της διάθλασης περιέχει μια σημαντική ανακολουθία. Από το γεγονός ότι το πλάγιο φως δεν μπορεί να συνεχίσει στην ίδια ευθεία όταν συναντά ένα πυκνότερο μέσο, δε συνεπάγεται ότι το φως θα αποκλίνει προς την κατεύθυνση της πιο εύκολης διέλευσης (την κάθετη) κατά το πέρασμά του στο πυκνότερο μέσο. Προφανώς περιέχει κάποιο κενό το επιχείρημα. Ο Lindberg συμφωνεί με το ότι πιθανόν ο Αλ Χαϊθάμ να υπονοεί μια αρχή ελάχιστης αντίστασης. Σχολιάζοντας το Λατινικό κείμενο του Αλ Χαϊθάμ αναφέρει ότι, όπως φαίνεται, η μία συνιστώσα της κίνησης μεταβάλλεται, ενώ η άλλη παραμένει σταθερή. Ο Αλ Χαϊθάμ στη συζήτησή του για την αιτία της διάθλασης θεωρεί την αντιστροφή περιπτώσεων του φωτός που περνά από το πυκνότερο στο αραιότερο μέσο. Αφού το πυκνότερο μέσο προβάλλει μεγαλύτερη αντίσταση στη διέλευση του φωτός, το φως κινείται ταχύτερα στο άλλο μέσο. Ο Αλ Χαϊθάμ διατυπώνει την άποψη ότι η αντίσταση και στα δύο μέσα είναι παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια και με αυτό εννοεί ότι η αντίσταση σ' αυτή την κατεύθυνση είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση σε οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση. Αυτό φαίνεται είναι μία συνέπεια της άποψης ότι το φως κινείται πιο εύκολα κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση. Καθώς όμως το φως εξέρχεται από το πυκνό στο αραιό αποκτά μία κατεύθυνση όπου παρουσιάζεται μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση. Κατά τον Lindberg τα ίδια επιχειρήματα χρησιμοποιήθηκαν από άλλους μεσαιωνικούς μελετητές στη Δύση όπως από τους Bacon, Pecham και Witelo. Το πρόβλημα όμως παρέμεινε· γιατί η κίνηση κατά την κατακόρυφη είναι πιο εύκολη και γιατί το φως αποκλίνει προς αυτήν την κατεύθυνση από αραιό σε πυκνό και το αντιστρόφιο από πυκνό σε αραιό.

2- Η ευθύγραμμη διάδοση του φωτός

Ο στόχος του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ στις έρευνες του για την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός

Ο Αλ Χαϊθάμ βεβαίωσε ότι η φύση του «αυτόνομου» (essential *al dātīa* الذاتية) και του «περιστασιακού» (διάχυτου) φωτός είναι παρόμοια. Εδώ έχουμε μία «ενοποίηση» των εννοιών.

Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε τη διάδοση του φωτός πειραματικά έχοντας ν' αντιμετωπίσει τις πραγματικότητες. Στις έρευνες του αυτές έδειξε ότι οι ιδιότητες του φωτός είτε προέρχεται από αυτόφωτα σώματα είτε από «συμπαγή (αδιαφανή)» σώματα είναι η ίδια. Οι πειραματικές έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τις ιδιότητες του «αυτόνομου» φωτός.

Ένα από τα πειράματα που έκανε ο Αλ Χαϊθάμ είναι γνωστά ακόμη και από τα μαθήματα του Δημοτικού σχολείου.

«Αν το φως του Ήλιου εισέλθει σε ένα σκοτεινό δωμάτιο μέσα από μία σχισμή και ο αέρας του δωματίου αυτού έχει σκόνη ή καπνό, τότε βλέπομε ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα προς τους τοίχους ή το πάτωμα» (Ναζίφ).

«Αν ο αέρας είναι καθαρός και δε γίνεται αντιληπτή αυτή η διάδοση στις αισθήσεις, τότε ο πειραματιστής θα πρέπει να πάρει ένα «συμπαγές (αδιαφανές)» σώμα και να το θέσει στην πορεία του φωτός».

Δεν περιορίστηκε ο Αλ Χαϊθάμ στο να μελετήσει τη διάδοση του φωτός του Ήλιου, αλλά μελέτησε τη διάδοση του φωτός που προέρχεται και από άλλα σώματα, όπως τους πλανήτες που τους θεωρούσαν αυτόφωτους.

Μια άλλη μέθοδο που χρησιμοποίησε ο Αλ Χαϊθάμ για να δείξει την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός ήταν να χρησιμοποιήσει τις σκιές.

Κατόπιν προχώρησε στο να δείξει ότι το φως ακτινοβολεί από όλα τα σημεία ενός αυτόφωτου σώματος. Για παράδειγμα παίρνει το φως του Ήλιου στην ανατολή. Στην αρχή εμφανίζεται ένα μικρό μέρος του Ήλιου και το φως είναι ασθενικό μέχρις ότου ανατείλει πλήρως. Το ίδιο παρατηρεί και στις εκλείψεις. Αν δεν έχουμε ολική έκλειψη, το φως εξακολουθεί να φτάνει στη Γη από τα τμήματα που παραμένουν ακάλυπτα.

Ο Αλ Χαϊθάμ παρουσιάζει διάφορα πειράματα για τη διάδοση του φωτός από οπές, τα οποία έχουν μεγάλη ιστορική σημασία.

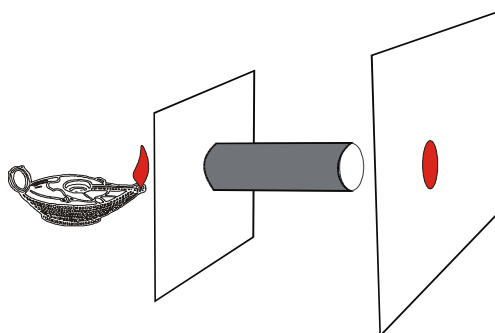
Μπορούμε να συγκρίνουμε την καθαρότητα των απόψεων του Αλ Χαϊθάμ με τις απόψεις που παρουσίασε αργότερα ο Roger Bacon ή ο Pecham (Lindberg 1992). Οι δύο αυτοί μεταγενέστεροι ερευνητές είχαν επηρεαστεί από πολλές μυστικιστικές ιδέες για την πρωτεύουσα θέση που παίζει το σφαιρικό ή το κυκλικό σχήμα στη διάδοση του φωτός.

Το θέμα που απασχόλησε πολύ τους ασχολούμενους με την οπτική ήταν γιατί ο Ήλιος δίνει ένα κυκλικό είδωλο μέσα από μια οπή οποιουδήποτε σχήματος, γιατί στην έκλειψη του Ήλιου εμφανίζεται το σχήμα της ημισελήνου στην οθόνη.

Ακόμη και ο Μαυρόλυκος που θεωρείται από τους Δυτικούς ως αυτός που ξεκαθάρισε το σχηματισμό των ειδώλων από τις οπές, δεν έδωσε τόσο ξεκάθαρη ανάλυση όπως ο Αλ Χαϊθάμ. Αυτός που τελικά εφάρμοσε μεθόδους που είχαν μια ξεκάθαρη σκέψη ήταν ο Κέπλερ ο οποίος μπόρεσε να προσομοιάσει την πορεία του φωτός μέσα από σχισμές με νήματα. Είναι γνωστό το πείραμα του Κέπλερ με ένα βιβλίο που τοποθέτησε ψηλά και από το οποίο τέντωσε νήματα από κάθε σημείο του βιβλίου. Τα νήματα αυτά αντιπροσώπευαν τις ακτίνες του φωτός. Καθώς το νήμα ακολουθούσε το περίγραμμα της οπής μπόρεσε να δείξει συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα αυτής της σχεδίασης ότι τελικά έπαιρνε το σχήμα του βιβλίου (Lindberg 1992).

Ο Αλ Χαϊθάμ έλυσε το θέμα σε διάφορα στάδια, που εξηγούνται στην παράγραφο για τις εκλείψεις.

Το πείραμα της ευθύγραμμης διάδοσης με το δίσκο και σωλήνα



Το πείραμα αυτό εκτελείται με μία μεταλλική πλάκα μέσα από την οποία περνά ένας μεταλλικός κυλινδρικός σωλήνας. Η πλάκα τοποθετείται όρθια. Αν ο πειραματιστής πλησιάσει μέσα σε ένα σκοτεινό δωμάτιο ένα λυχνάρι με χοντρό φυτίλι και από τη μεριά του σωλήνα πλησιάσει ένα

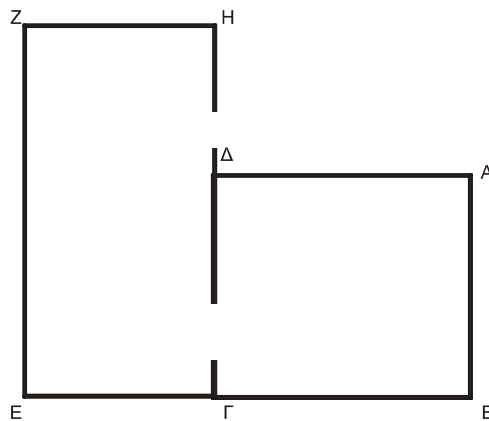
αδιαφανές σώμα, έχουμε την εμφάνιση φωτός στο αδιαφανές. Αν αυτό το φως προέρχεται από κάποια μεγαλύτερη φωτιά τότε στο αδιαφανές σώμα θα εμφανίζεται το φως που προέρχεται μόνο από το τμήμα της φωτιάς που είναι μπροστά στο σωλήνα. Αν κινηθεί για λίγο η φωτιά έτσι που ένα άλλο τμήμα της να βρίσκεται μπροστά στην τρύπα το φως εξακολουθεί να είναι το ίδιο ασθενικό όπως στην πρώτη περίπτωση, αν όμως στενέψει η οπή, το φως γίνεται πιο ασθενικό.

Έτσι μπόρεσε να δείξει ότι το φως εκπέμπεται από όλα τα σημεία του σώματος και σε ευθείες. Μετά από αυτές τις «εμπειρίες» γενίκευσε τ' αποτελέσματα. Ένα από τα συμπεράσματα του ήταν ότι τα φώτα που είναι τόσο ασθενικά ώστε να μην τα αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις, εξακολουθούν να υπάρχουν. Οπότε πάντοτε ισχύει ότι ένα αυτόφωτο σώμα εκπέμπει από όλα τα σημεία του και ότι η φύση του φωτός που εκπέμπεται είναι να διαδίδεται ευθύγραμμα.

Γενικά Πειράματα για τα «περιστασιακά (διάχυτα)» φώτα

Το πείραμα του σκοτεινού θαλάμου.

Ένα από τα πειράματα είναι αυτό που ένα δωμάτιο ΑΒΓΔ τελείως σκοτεινό έχει ένα άνοιγμα στην πλευρά ΓΔ. Ένας παρατηρητής βρίσκεται σ' αυτό το δωμάτιο και παρατηρεί τον τοίχο ΖΕ. Ο παρατηρητής ξεκινά τις παρατηρήσεις του πολύ πριν από την ανατολή του Ήλιου. Ο τοίχος ΖΕ είναι αδιαφανής και λάμπει στην αρχή με το (διάχυτο) φως της αυγής και μετά με το απευθείας φως του Ήλιου που έρχεται από την ανατολή από το άνοιγμα του τοίχου ΔΗ.



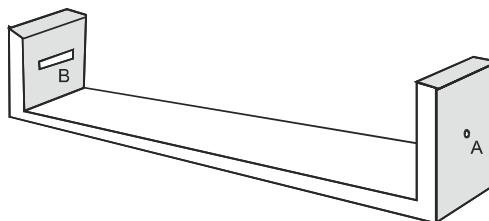
Εικόνα 3: Πειραματική απόδειξη της ευθύγραμμης διάδοσης του “περιστασιακού” φωτός

Πειράματα με το φως του Φεγγαριού

Ο Αλ Χαϊθάμ προσπάθησε να δείξει πειραματικά ότι, όταν φωτίζεται το σώμα του Φεγγαριού με το ηλιακό φως καθίσταται μια δευτερογενής πηγή φωτός που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η συσκευή αποτελείται από ένα κανόνα με δύο μικρούς «στόχους» από τους οποίους ο ένας έχει μια σχισμή (Β) και ο άλλος μία οπή (Α). Η οπή Α βρίσκεται στο κέντρο μιας ημισφαιρικής κοιλότητας.

Το εργαλείο βρίσκεται στερεωμένο πάνω σε ένα περιστρεφόμενο φορέα για να μπορεί να επιτυγχάνεται η σκόπευση της Σελήνης. Αν παρατηρηθούν τα άκρα της Σελήνης, τότε ο παρατηρητής φεύγει από το Α και τοποθετεί μια «οθόνη» πάνω



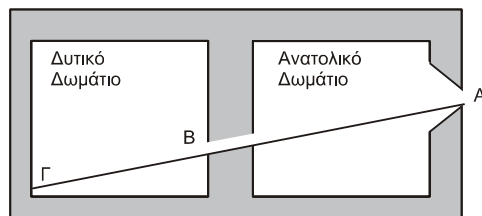
Εικόνα 4: Πειραματική συσκευή για την παρατήρηση του φωτός της Σελήνης

στην οποία προβάλλεται το φως της Σελήνης. Αν καλυφθεί βαθμιαία η σχισμή Β, ελαττώνεται το φως πάνω στην οθόνη. Εάν καλυφθεί σχεδόν τελείως, μέχρις ότου να μη μείνει παρά μόνο μία οπή τότε στην οθόνη προβάλλεται ένα σημείο που βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τα Α και Β. Αν κινηθεί το κάλυμμα έτσι που να αποκαλύπτονται διαφορετικά σημεία της Σελήνης, έχουμε διαφορετικές εμφανίσεις του φωτός πάνω στην οθόνη.

Από αυτό το πείραμα εξήγαγε ο Ιμπν Χαϊθάμ το συμπέρασμα ότι το φως που εκπέμπεται από το σώμα της Σελήνης με την ακτινοβολία του Ήλιου πάνω του, έχει τις ίδιες ιδιότητες με το φως που εκπέμπουν τα αυτόφωτα σώματα και από κάθε σημείο της επιφάνειας της Σελήνης ακτινοβολεί προς κάθε σημείο που είναι απέναντι της και δεν ακτινοβολεί όπως συμβαίνει με την ανάκλαση.

Πείραμα του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την απόδειξη ότι το φως της αυγής διαδίδεται σε ευθείες γραμμές

Στο πείραμα αυτό χρησιμοποίησε δύο δωμάτια, το ανατολικό και το δυτικό όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 5: Πείραμα για την απόδειξη της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός της αυγής

Ο ανατολικός τοίχος έχει ένα άνοιγμα προς τον ουρανό στο σημείο Α. Ο Αλ Χαϊθάμ γράφει ότι η διάμετρός του δε θα είναι μικρότερη από έναν πόδα και ότι θα έχει κωνικό άνοιγμα προς το εσωτερικό. Στη μεσοτοιχία υπάρχουν δύο κυλινδρικές οπές έτσι που το κέντρο της πρώτης οπής Α να είναι πάνω στην προέκταση του

άξονα της κάθε μιας από αυτές τις οπές. Από κάθε μία από αυτές τις οπές μπορούμε να παρατηρήσουμε τον ουρανό μέσα από την οπή Α.

Η μέθοδος του πειράματος: Εκτείνεται ένα νήμα από την οπή Α έτσι που να περνά μέσα από τη μια από τις δύο οπές του Δυτικού δωματίου. Το νήμα καταλήγει είτε στο δάπεδο είτε στον τοίχο όπου σημειώνεται το σημείο Γ στο οποίο το συναντά. Έτσι ορίζεται η ευθεία ΑΓ.

Σε μια σκοτεινή νύχτα μπαίνει ο πειραματιστής στο Δυτικό δωμάτιο. Καθώς κοντεύει να ξημερώσει, αρχίζει να παρατηρεί ένα ασθενικό φως στο σημείο Γ από την οπή Β και σε ένα ανάλογο σημείο για την άλλη οπή. Αν καλύψει τη μια οπή, αποκόπτεται το φως της από τη θέση που ήταν απέναντι της. Παρόμοια κόβεται το φως, αν διακοπεί η ευθεία μεταξύ αυτής της οπής και της οπής Α.

Αν ο πειραματιστής κάνει πολλές οπές στη μεσοτοιχία, ανακαλύπτει ότι το φως από κάθε μία πέφτει σε ένα ορισμένο σημείο.

Το πείραμα του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ευθύγραμμη διάδοση του περιστασιακού (διάχυτου) φωτός (Ναζίφ 1942, Rashed 1992)

Το πείραμα αυτό μας δίνει μια πρωτότυπη ιδέα του Αλ Χαϊθάμ και ταυτόχρονα δίνει ένα παράδειγμα «μέλανος σώματος».

Το βασικό εργαλείο αυτού του πειράματος είναι ένα ξύλινο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο που έχει κατάλληλα διαμορφωμένες οπές ΥΗ και ΚΡ.

A. Διαπίστωση ότι το διάχυτο φως διαδίδεται ευθύγραμμα

Ο Αλ Χαϊθάρμ έδωσε λεπτομερείς περιγραφές για το πως θα δημιουργηθούν οι σχισμές. Ένα χαρακτηριστικό της όλης διάταξης (βλέπε εικόνα 6 στην επόμενη σελίδα), είναι ότι διαμορφώνεται το σχήμα έτσι που: $H\gamma$ ακτίνες όπως YH

$$\frac{HY}{YM} = \frac{\text{ακτίνα οπής YH}}{\text{απόσταση κέντρων οπών}}$$

Ο Παρατηρητής μπαίνει στο δωμάτιο Ψ και παρατηρεί το άκρο του πεδίου της παρατήρησης που είναι τα σημεία που βρίσκονται στον κύκλο με κέντρο Μ και διάμετρο τη ΛΝ πάνω στον άσπρο τοίχο ΑΒ (που είναι προς το παρόν πλήρης).

Ο Αλ Χαϊθάμ αποδεικνύει ότι στο σημείο Ρ ο παρατηρητής βλέπει το άκρο Λ αν το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

Αν περιστραφεί το βλέμμα γύρω στην περιφέρεια της κεκλιμένης οπής, δε θα βλέπει κάτι παραπάνω από τον κύκλο με κέντρο το σημείο Μ και ακτίνα ΜΛ. Από αυτό βγάζει το συμπέρασμα ότι αν περιστρέψει το βλέμμα γύρω στην περιφέρεια των δύο οπών, το βλέμμα διαγράφει ταυτόχρονα την άκρη του κύκλου που έχει σχεδιαστεί στον άσπρο τοίχο.

Αν το μάτι έβλεπε κάτι παραπάνω ή κάτι λιγότερο από αυτά που αναφέρθηκαν, τότε δε θα ίσχυε η ευθύγραμμη διάδοση του «περιστσιακού» φωτός.

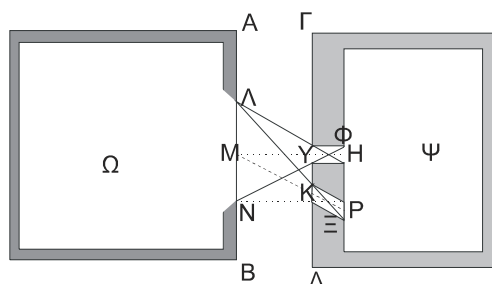
B. Ένα πείραμα «μαύρου σώματος»

Ο πειραματιστής δημιουργεί ένα άνοιγμα στον άσπρο τοίχο μεγέθους ίσου με τον κύκλο ($M, M\Delta$). Στο άνοιγμα δίνει ένα κωνικό σχήμα με πιο φαρδύ το εσωτερικό μέρος του (εικόνα 6).

Σκεπάζει το άνοιγμα με ένα σώμα λευκό όπως τον τοίχο, π.χ. με ένα ύφασμα.

Όταν φωτίσει η αυγή και δυναμώσει το φως πάνω στο λευκό τοίχο, μπαίνει ο πειραματιστής στο δωμάτιο με τις δύο οπές. Μετά μπορεί να πλησιάσει στο άνοιγμα μια οθόνη και βρίσκει πάνω της φως ανάλογο με το φως του τοίχου. Βρίσκει ότι το φως είναι κυκλικό και το φως αυτό παρουσιάζει την ίδια απόκλιση όπως το φως από αυτόφωτα σώματα.

Αν αφαιρέσει το κάλυμμα από τον άσπρο τοίχο τότε στην οθόνη δεν υπάρχει φως. Αν υπάρχει κάποιο φως, τότε αυτό θα προέρχεται από τις οπές. Για να το αποφύγει, τις βάφει μαύρες, οπότε εξαφανίζεται και αυτό. Βάζει το μάτι του και στη θέση αυτού του φωτός δε βλέπει τίποτε άλλο παρά μόνο τα σώματα τα οποία κάλυψε το άνοιγμα του τοίχου.



Εικόνα 6: Διάταξη για τη μελέτη του περιστασιακού φωτός

Από αυτό βγάζει το συμπέρασμα ότι το φως που προέρχεται από το «περιστασιακό (διάχυτο)» φως διαδίδεται ευθύγραμμα. Το φως που εμφανίζεται στην οθόνη είναι πιο ασθενικό από το φως που υπάρχει στο κάλυμμα του τοίχου και αν μεγαλώσει η απόσταση του τοίχου, εξασθενεί το φως.

Αν τώρα στο ξύλο που είχε τις δύο οπές ανοίξει και άλλες με βάση την αναλογία, τότε παρατηρεί τα ίδια φαινόμενα.

Διαπίστωση των καταστάσεων των φώτων που προέρχονται από ανάκλαση και από διάδοση

Δεν αρκέστηκε μόνο σ' αυτά τα πειράματα αλλά προχώρησε στην επιβεβαίωση της ευθύγραμμης διάδοσης στα ανακλώμενα και στα διαδιδόμενα (που διεισδύουν σε ένα μέσο) φώτα.

Σε μερικά από τα πειράματα τοποθέτησε ένα διαφανές σώμα μεταξύ του κατόπτρου και του σημείου στο οποίο ανακλάται το φως ή μεταξύ του διαφανούς σώματος και του σημείου που προσπίπτει πάνω του το φως ή χρησιμοποίησε τις σκιές. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις διαπιστώνει την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιεί τη σκιά, τοποθετεί μια ράβδο με μικρή κλίση και παρατηρεί την εμφάνιση του ανακλώμενου φωτός πάνω στη ράβδο και την εμφάνιση της σκιάς της ράβδου πάνω στην οθόνη. «Και μπορούμε να ερευνήσουμε την ευθύγραμμη απόσταση που είναι μεταξύ της ράβδου και μεταξύ της σκιάς με ένα κανόνα που είναι μεταξύ τους και που μπορούμε να μετακινήσουμε κατά μήκος του τη ράβδο». Βρίσκει τη σκιά στη θέση που περιμένει με βάση την ευθύγραμμη διάδοση. Το ίδιο συμβαίνει και με τα φώτα που διαδίδονται στα διαφανή σώματα.

Με παρόμοιες μεθόδους ασχολήθηκε και στη διάθλαση.

Η γνώμη του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη μέθοδο διάδοσης του φωτός από τα αυτόφωτα (αυτόνομου φωτός)

Έκανε πολλές έρευνες για το φως από αυτόφωτα σώματα (αυτόνομο φως).

Λέει: «Πρέπει στο διαφανές που είναι κοντά (στην πηγή) να υπάρχει σφαιρική ακτινοβολία, δηλαδή ακτινοβολία σε ευθείες οι οποίες εκτείνονται στο διαφανές σώμα προς κάθε σημείο από κάθε σημείο του διαφανούς» (Ναζίφ).

Στην αναφορά αυτή έχουμε μια περιγραφή σφαιρικής ακτινοβολίας που θυμίζει την αρχή του Huygens. Στην περιγραφή του δίνει ακτινοβολία που δε διαδίδεται μόνο προς το εξωτερικό του σώματος, αλλά και ακτινοβολία που διαδίδεται στο εσωτερικό.

Η σκέψη του για σφαιρική ακτινοβολία τον οδήγησε στο να σκεφτεί την ελάττωση της έντασης του φωτός με την αύξηση της απόστασης από την πηγή.

Το φως από ανάκλαση έχει μια «απόκλιση» (انحراف *ινχράτ*) και διευρύνεται. Η εξασθένιση του φωτός από ανάκλαση οφείλεται σε τρία αίτια. «Η πρώτη είναι η απόσταση από τη θέση της ανάκλασης, η δεύτερη η απόκλιση και η διεύρυνση και η τρίτη είναι η ίδια η ανάκλαση» (Ναζίφ).

Αν το φως αποκλίνει και στενεύει, τότε δυναμώνει λόγω της συγκέντρωσής του και εξασθενίζει λόγω ανάκλασης και απόστασης.

Εξήγηση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα φαινόμενα της σκιάς. Λάθη των προηγούμενων του

Ήταν προφανές ότι τα αδιαφανή σώματα προκαλούν σκιές ανακόπτοντας την πορεία του φωτός. Η εκπομπή του φωτός από όλα τα σημεία του σώματος επέτρεψε στον Αλ Χαϊθάμ να διαχωρίσει διάφορα είδη σκιάς. Εκτός από το θεωρούμενο ως βασικό του έργο «Αλ Μαναζίρ» έγραψε και ένα έργο «Φι αλ Αδλάλ (Περί σκιών)», στο οποίο συμπεριλαμβάνονται πολλά θέματα που δεν περιέχονται στο «Αλ Μαναζίρ». Τα φαινόμενα των σκιών είχαν μεγάλο ενδιαφέρον στην αστρονομία για τη μελέτη των εκλείψεων.

Ο Αλ Χαϊθάμ πρόσεξε ότι οι προηγούμενοί του δε μελέτησαν τα φαινόμενα αυτά, αλλά περιορίστηκαν είτε στη μελέτη της πλήρους σκιάς είτε στη μελέτη της παρασκιάς.

Ένας από τους προηγούμενους του Αλ Χαϊθάμ που έδωσε λανθασμένες απόψεις για τις σκιές, ήταν, όπως αναφέρθηκε προηγούμενως, ο Αλ Κίντι. Ένα σώμα που είναι ίσου μεγέθους με ένα φωτεινό αντικείμενο, δίνει κυλινδρική σκιά (εικόνα 7). Αν είναι μεγαλύτερο, δίνει αποκλίνουσα σκιά και το αντίθετο, αν είναι μικρότερο.

Όπως παρατηρούμε στα σχήματα αυτά ο Αλ Κίντι δε λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα της παρασκιάς. Τα σχήματα αυτά ήταν αιτία παρανοήσεων. Το σημείο Α προκαλεί μια σκιά που έχει ως όριο τη γραμμή ΔΖ ενώ το σημείο Β προκαλεί μια σκιά που έχει ως όριο τη γραμμή ΘΗ.

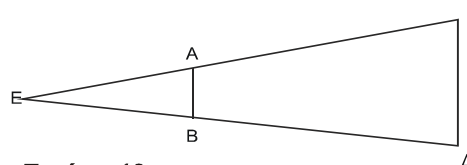
Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται η διόρθω-ση στο επόμενο σχήμα του Αλ Κίντι που παρουσιάστηκε στο 1ο κεφάλαιο (εικ. 6).

Αν μια φωτεινή πηγή (κύκλος ΑΒΓ) τοποθετηθεί μπροστά σε μία οπή ΘΖ τότε το σχήμα του δείχνει ότι παράγεται μια ξεκάθαρη σκιά ΗΚ και ΛΤ. Μπορού-με να δούμε στο σχήμα τη διόρθωση του σχήματος με διακεκομμένες γραμμές για να ληφθεί υπόψη η δημιουργία της παρασκιάς.

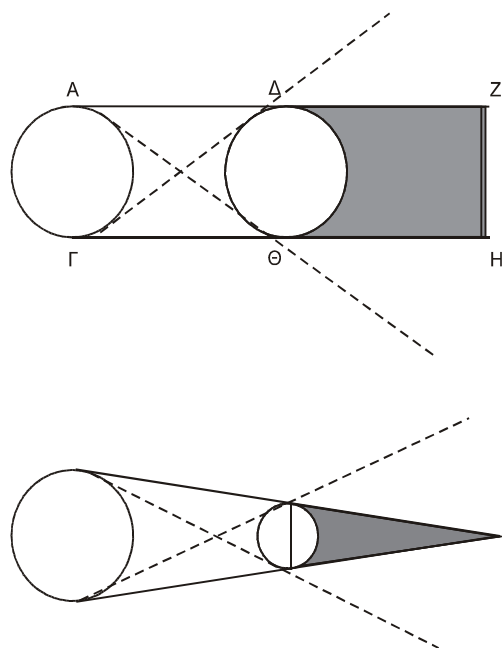
Ο Αλ Χαϊθάμ ξεχώρισε τις έννοιες αυτές. Στην πρώτη λέει ότι έχουμε πλήρη έλλειψη φωτός. Στη δεύτερη λέει ότι έχουμε λίγο φως ή κάποιο άλλο φως. Σε πολλά σημεία ονομάζει την πλήρη σκιά «καθαρή σκιά» (*αλ δαλ αλ μάχουντα الظل المحض*). Τη σκιά αυτή την ονομά-ζει και «γεωμετρική σκιά» (*αλ δαλ αλ μουχαντίσι الظل الهندسي*).

Ένα παράδειγμα σκιάς είναι το ακό-λουθο: έστω ότι το φωτεινό σώμα ΑΒ (εικόνα 9), το εμπόδιο (αδιαφανές) ΓΔ και ΗΘ το πέτασμα. Στο ΖΕ έχουμε πλήρη σκιά, στο ΜΖ έχουμε παρασκιά, γιατί εκεί φτάνει το φως από το τμήμα ΑΚ, ενώ το φως είναι πιο έντονο στο τμήμα ΛΗ, γιατί εκεί φτάνει και το φως από το ΚΝ.

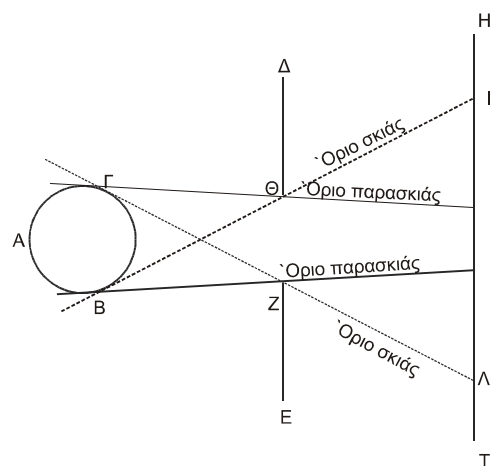
Ο Αλ Χαϊθάμ δίνει εκτός από εξηγήσεις όπως την ανωτέρω και πειράματα.



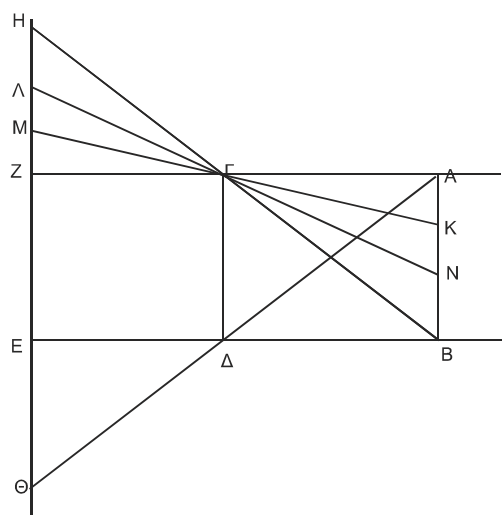
Εικόνα 12



Εικόνα 7: Διόρθωση των σχημάτων του Αλ Κίντι



Εικόνα 8: Διόρθωση του σχήματος του Αλ Κίντι για την εκτεταμένη πηγή



Εικόνα 9

Σε μερικά πειράματα (εικόνα 10) παίρνει ένα λύχνο με χοντρό φυτίλι και τον τοποθετεί σε έναν τοίχο ύψους περίπου δύο πήχεων ή λιγότερο και τοποθετεί μια λεπτή ράβδο έναντι του λύχνου. Ο παρατηρητής βλέπει στον τοίχο μια σκιά φαρδύτερη από τη ράβδο που το εύρος αυξάνει αν πλησιάσει το λύχνο και ελαττώνεται αν τον απομακρύνει.

Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την κατανομή του φωτός στις σκιές

Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε την κατανομή του φωτός στην περιοχή της παρασκιάς.

Σήμερα με αυτά τα θέματα ασχολείται η φωτομετρία. Ο Αλ Χαϊθάμ στις έρευνες του αναφορικά με τις σκιές αντιμετώπισε θέματα που είναι σχετικά με τους ορισμούς αυτούς. Ενώ οι απόψεις του Αλ Χαϊθάμ συμφωνούν σε αρκετά σημεία με μια σύγχρονη προσέγγιση παρέλειψε να εξετάσει δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι η απόσταση από την πηγή ενώ ο δεύτερος είναι η κλίση. Ενώ τον πρώτο παράγοντα τον ανέφερε σε άλλες περιπτώσεις, δεν τον έλαβε υπόψη του σ' αυτή την περίπτωση.

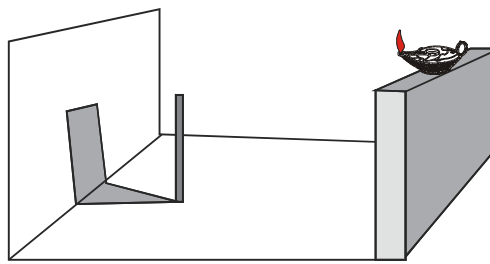
Τα λάθη του εμφανίζονται ιδιαίτερα στον τρόπο που μελετά το σχήμα της εικόνας 11.

Η φωτεινή πηγή ΑΒ είναι μεγαλύτερη από το εμπόδιο ΓΔ. Φέρουμε τις ακτίνες ΑΓ και ΒΔ που συναντιούνται στο Ε και τις προεκτείνουμε μέχρι να τμήσουν τη ευθεία που είναι παράλληλη προς το εμπόδιο στα Η, Θ. Και ο Αλ Χαϊθάμ αφού έδειξε ότι η πλήρης σκιά λεπταίνει και καταλήγει στο σημείο Ε, έδωσε μια μέθοδο για προσδιορισμό της

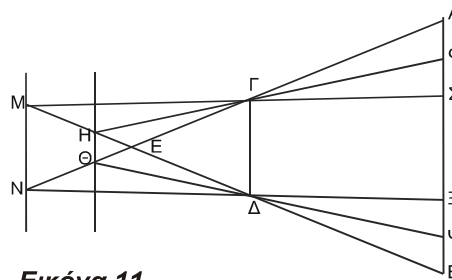
κατανομής του φωτός πάνω στην ευθεία ΗΘ που είναι πέρα από το σημείο Ε.

Ας χωρίσουμε τα τμήματα ΑΦ και ΒΞ σε δέκα ίσα μέρη το κάθε ένα. Μετά το σημείο Η, η μικρή περιοχή δέχεται φως από εννέα τμήματα της περιοχής ΑΦ και από μία περιοχή από το ΒΨ.

Η επόμενη περιοχή δέχεται φως από 8 τμήματα της ΑΦ και 2 από το ΒΨ. Έτσι βγάζει το συμπέρασμα ότι η σκιά στο ΗΘ έχει ομογένεια. Στην πραγματικότητα δε συμβαίνει αυτό. Η περιγραφή του μόνο ως προσεγγιστική μπορεί να θεωρηθεί. Ο Αλ Χαϊθάμ θεώρησε όλες τις ακτίνες ότι έχουν διατρέξει την ίδια απόσταση και δεν έλαβε υπόψη την κλίση τους. Σε μια πραγματική πηγή που δεν είναι γραμμική υπάρχουν και άλλα σημεία της πηγής που δε λαμβάνει υπόψη του.



Εικόνα 10



Εικόνα 11

Ο Αλ Χαϊθάμ εφαρμόζει τις ίδιες ιδέες και στην ευθεία ΜΝ για την οποία συμπεραίνει ότι το φως που φωτίζει τη ΜΝ είναι περισσότερο απ' αυτό που φωτίζει την ΗΘ.

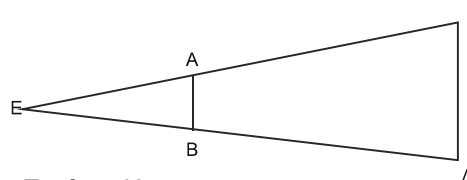
Εκλείψεις

Μέσα από τη μελέτη της σκιάς ασχολείται με τις εκλείψεις του Ήλιου και της Σελήνης. Για να εξηγήσει τα φαινόμενα αυτά δίνει ένα παράδειγμα μιας φωτεινής πηγής σε σχήμα ράβδου και ενός εμποδίου.

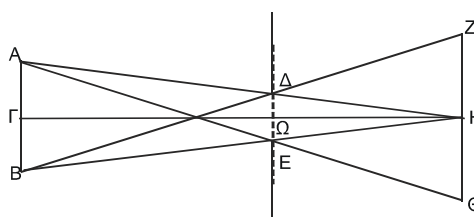
Η εικόνα 12 μας δείχνει την εφαρμογή αυτή. ΑΒ είναι το αδιαφανές σώμα που αποκόπτει τις ακτίνες του Ήλιου. Έχουμε την αναλογία:

$$\frac{EA}{AB} = \frac{EG}{\Gamma\Delta}$$

Ο Αλ Χαϊθάμ προσπάθησε να βρει την τιμή αυτού του λόγου με βάση τις πληροφορίες που πήρε από τη «Μεγίστη Σύνταξη» του Πτολεμαίου και από τους άλλους αρχαίους αστρονόμους. Γράφει: «όπως μας εξήγησε ο Πτολεμαίος, η απόσταση του Ήλιου από το κέντρο της γης είναι 1215 φορές την ακτίνα της Γης». Μια άλλη σχέση όπου βασίστηκε ήταν ο λόγος των αποστάσεων Γης - Ήλιου προς την απόσταση Γης - Σελήνης που ήταν 184/5:1. Οι τιμές αυτές είναι περίπου 20 φορές μικρότερες από τις τιμές που γνωρίζουμε σήμερα.

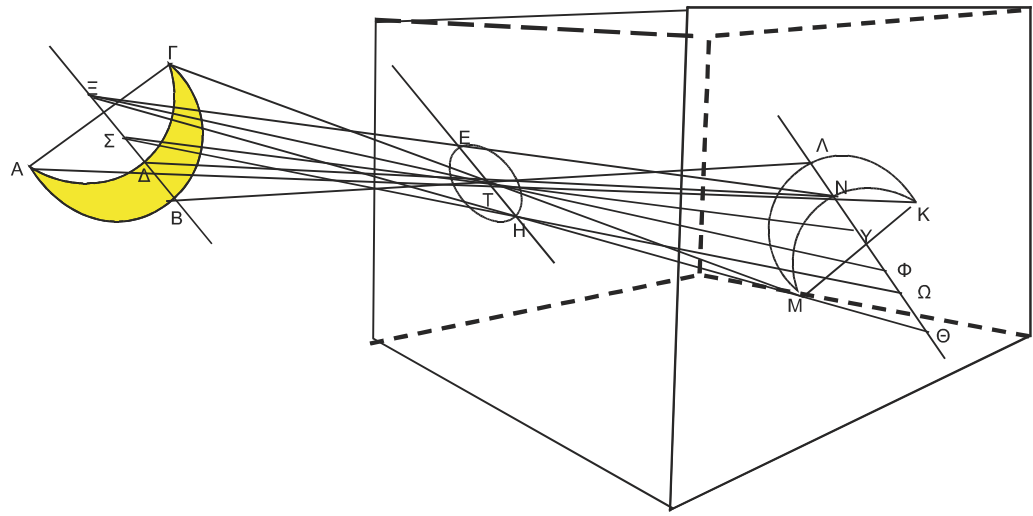


Εικόνα 12

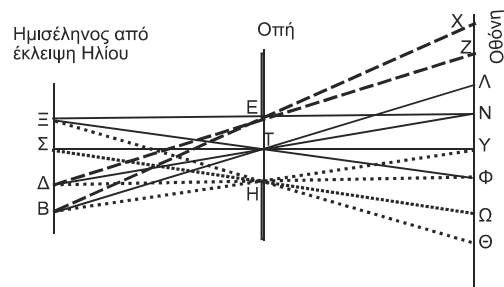


Εικόνα 13: Αρχή του σκοτεινού θαλάμου κατά τον Αλ Χαϊθάμ

Ο λόγος της διαμέτρου της Σελήνης προς τη διάμετρο της γης ήταν γνωστή από τον Ίππαρχο και ήταν περίπου 30/11. Ήταν γνωστό επίσης ότι η γωνία με την οποία φαίνεται ο Ήλιος και η Σελήνη από τη Γη είναι ίδιες. Αν υπολογίσουμε το λόγο της απόστασης του Ήλιου από το κέντρο της γης



Εικόνα 14 Η γεωμετρία της παρατήρησης της έκλειψης



Εικόνα 15: Ειδική περίπτωση κατά την οποία ο λόγος των αποστάσεων από την οθόνη της οπής και του ήλιου είναι ίσος με το λόγο των διαμέτρων τους

προς τη διάμετρο του Ήλιου έχουμε για το λόγο $\Gamma\Delta/\Gamma\epsilon \approx 1/15$.

Για το λόγο αυτό έβγαλε το εξής συμπέρασμα: ο λόγος $\epsilon\Gamma/\Gamma\Delta$ θα πρέπει να είναι λιγότερος από 1:115, ο λόγος $\Lambda\epsilon/\Lambda\beta$ θα πρέπει να είναι λιγότερος από 1/115.

Για την έκλειψη Σελήνης ο Αλ Χαϊθάμ παρατήρησε ότι δε γίνεται μόνο από την κωνική σκιά, αλλά και από την παρασκιά που είναι μια σκιά που διευρύνεται.

Ο σκοτεινός θάλαμος

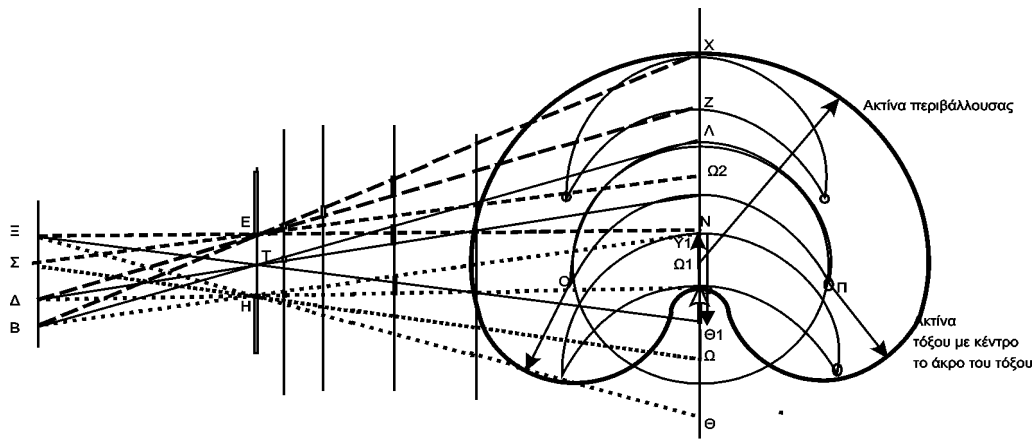
Συνήθως ο σκοτεινός θάλαμος συνδέεται με το όνομα του Dela Porta που το 1589 έδωσε περιγραφές θεμάτων σχετικών μ' αυτόν στο βιβλίο του «Magia Naturalis».

Στο έργο του «Εικόνες των εκλείψεων (سورة الكسوف سورات ال كوسوف)» δε δίνει μόνο την περιγραφή για το πώς πέτυχε την εμφάνιση ειδώλων με τη χρήση στενών σχισμών, αλλά περιγράφει και διάφορα θέματα που διορθώνουν την εμφάνιση αυτών των φαινομένων.

Η εμφάνιση καθαρής εικόνας εξαρτάται από τη στενότητα της οπής. Όσο ελαττώνεται το εύρος της σχισμής αυξάνει η ομοιότητα της εικόνας με το σώμα. Τότε όμως το φως είναι πολύ λιγοστό και εξαφανίζεται το είδωλο. Από την άλλη η πολύ φαρδιά σχισμή, διαλύει την εικόνα. Στο έργο του «εικόνες των εκλείψεων» προσπαθεί να δώσει λύση σ' αυτά τα προβλήματα.

Όρος για να είναι καθαρό το είδωλο.

Ο Αλ Χαϊθάμ στο έργο του «Εικόνες των Εκλείψεων» παρουσιάζει βαθμιαία τις έννοιες που αφορούν το σκοτεινό θάλαμο.



Εικόνα 16: Λόγος αποστάσεων Ηλίου και οπής από οθόνη μεγαλύτερος από λόγο διαμέτρων

Για να εξηγήσει τις απόψεις του θεωρεί δύο σημεία του σώματος από τα οποία διαδίδεται φως μέσα από τη σχισμή και πέφτει πάνω στο εμπόδιο (οθόνη). Αν η περιοχή στην οποία προσπίπτει φως από το ένα σημείο («είδωλο» του πρώτου σημείου) είναι μακριά από την περιοχή όπου προσπίπτει φως από το άλλο σημείο («είδωλο» του δεύτερου σημείου), τότε θα ξεχωρίζουν οι δύο περιοχές. Αν όμως οι δύο περιοχές πλησιάσουν και φτάσουν στο να εφάπτονται, τότε αναμειγνύεται ένα μέρος από το φως του πρώτου με το φως του δεύτερου, οπότε συγχέονται τα «είδωλα».

Στο σχήμα της εικόνας 13 έχουμε την οριακή περίπτωση κατά την οποία εφάπτονται τα είδωλα από τα Α και Β. Σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε:

$$\frac{\Delta E}{\Lambda B} = \frac{H\Omega}{H\Gamma}$$

Από αυτό βγάζει το συμπέρασμα ότι για να έχουμε καθαρότητα στο είδωλο θα πρέπει:

$$\frac{\Delta E}{\Lambda B} \leq \frac{H\Omega}{H\Gamma}$$

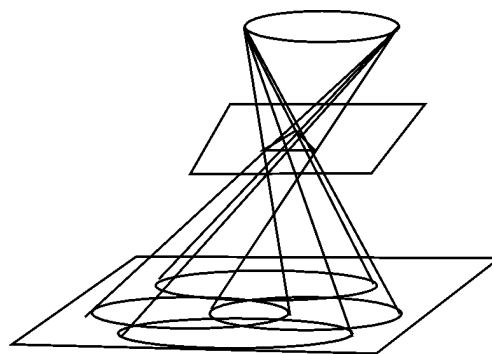
που είναι το κριτήριο που αναφέρθηκε πιο πάνω.

Εφαρμογή στο είδωλο της έκλειψης του Ήλιου

Ο σκοτεινός θάλαμος χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των εκλείψεων του Ηλίου.

Στις μερικές εκλείψεις παραμένει ορατό ένα τμήμα σχήματος ημισελήνου. Το ερώτημα ήταν αν το σχήμα που παρατηρείται στην οθόνη θα είναι

Αυτό είναι το θέμα με το οποίο ασχολήθηκε στο έργο του «Εικόνες των Εκλείψεων». Ο Αλ Χαϊθάμ αντιμετωπίζει το πρόβλημα με το ακόλουθο σχήμα. Στην εικόνα 14 είναι σχεδιασμένο το τμήμα του Ήλιου που παραμένει ακάλυπτο και Έχουμε:



Εικόνα 17: Μέθοδος του Μαυρόλुकου για την εξήγηση των παρατηρήσεων σε περίπτωση μη κυκλικής οπής

Ξ το κέντρο της σκιάς της Σελήνης, Σ το κέντρο του δίσκου του Ήλιου.

Τ το κέντρο της οπής, Β το ακραίο σημείο του ορατού τμήματος του Ηλίου στο κυρτό τμήμα, Δ το αντίστοιχο στο κοίλο.

Τα αντίστοιχα σημεία στο είδωλο είναι στο Β το Λ, στο Δ το Ν, στο Α το Κ, στο Γ το Μ

Ο Αλ Χαϊθάμ χρησιμοποίησε το ακόλουθο στρατήγημα για να απλοποιήσει τις κατασκευές:

Θεώρησε ότι οι διαστάσεις του σκοτεινού θαλάμου είναι τέτοιες ώστε ο λόγος της απόστασης της οθόνης από την οπή προς την απόσταση της από τον Ήλιο ισούται με το λόγο της διαμέτρου της οπής προς τη διάμετρο του Ηλίου.

$$\frac{YT}{YS} = \frac{\text{απόσταση οθόνης - οπής}}{\text{απόσταση οθόνης - Ηλίου}} = \frac{TH}{SB} = \frac{\text{διάμετρος οπής}}{\text{διάμετρος Ηλίου}} \quad \text{συνθήκη (1)}$$

Έχουμε τις εξής ευθείες (εικόνες 14 και 15):

Κέντρο της σκιάς της Σελήνης Ξ -άνω άκρο της οπής Ε τέμνει την οθόνη στο Ν

Κέντρο της σκιάς της Σελήνης Ξ -κέντρο της οπής Τ τέμνει την οθόνη στο Φ

Κέντρο της σκιάς της Σελήνης Ξ -κάτω άκρο της οπής Η τέμνει την οθόνη στο Θ

Κέντρο του Ήλιου Σ -κέντρο της οπής Τ τέμνει την οθόνη στο Υ και μάλιστα κάθετα

Κέντρο του Ήλιου Σ - κάτω άκρο της οπής Η τέμνει την οθόνη στο Ω

Κατώτερο σημείο κοίλου Δ -κέντρο της οπής Τ τέμνει την οθόνη στο Ν

Κατώτερο σημείου κυρτού Β κέντρο της οπής Τ τέμνει την οθόνη στο Λ

Άκρο Α -κέντρο της οπής Τ τέμνει την οθόνη στο Κ

Άκρο Γ-κέντρο της οπής Τ τέμνει την οθόνη στο Μ

Χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες των αναλογιών ο Αλ Χαϊθάμ αποδεικνύει ότι:

$$\Phi N = \Phi \Theta$$

$$Y \Omega = Y \Lambda$$

Η προέκταση της ΒΗ τέμνει την οθόνη στο σημείο Υ (όταν ισχύει η συνθήκη 1).

Ο Αλ Χαϊθάμ έκανε μια μελέτη για την ευρεία οπή. Σ' αυτήν την περίπτωση θεώρησε τρία σημεία της οπής: τα Ε, Τ και Η.

Από την εικόνα 14 έχουμε ότι το σημείο Β προβάλλεται από το σημείο Ε στο Χ και το σημείο Δ στο Ζ. Αυτό μας δείχνει τη θέση μιας άλλης ημισελήνου. Αυτή την ονόμασε ανώτερη. Η άλλη ημισέληνος ορίζεται από τα σημεία ΦΥ και την ονόμασε κατώτερη.

Με βάση αυτές τις τρεις ημισελήνους ο Αλ Χαϊθάμ προχωρά στο να δομήσει την ολική εικόνα που παράγεται από μία οπή. Στην πιο γενική περίπτωση η μέθοδος του Αλ Χαϊθάμ δίνει ως σχήμα που εμφανίζεται μία καμπύλη που αποτελείται από τέσσερα μέρη:

1) Ένα τόξο κύκλου με κέντρο το σημείο στο οποίο προβάλλεται το κέντρο του Ηλίου στην οθόνη. Η ακτίνα αυτού του τόξου είναι ίση με την απόσταση του σημείου Φ από την προβολή του κατώτερου ορατού σημείου Λ. Η απόσταση αυτή είναι ίση με την προβολή της ακτίνας του Ηλίου συν την απόσταση του κέντρου του ενός κύκλου της μεσαίας ημισελήνου

από τον αντίστοιχο κύκλο της κατώτερης.

2) Δύο τόξα με κέντρα τα άκρα της κεντρικής ημισελήνου και με ακτίνες ίσες με την προβολή της ακτίνας του Ηλίου ΥΛ.

3) Αν αυτά τα τόξα δεν τέμνονται, ένα τόξο με κέντρο το σημείο προβολής του κέντρου της Σελήνης από το κέντρο της οθόνης (σημείο ΘΙ) και με ακτίνα την απόσταση του κυρτού μέρους της κάτω ημισελήνου από το κοίλο της μεσαίας ημισελήνου.

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε και αριθμητικά παραδείγματα με τα οποία προσπάθησε να εξηγήσει την ιδέα του.

Στο παράδειγμά του θεώρησε ότι ο λόγος της Διαμέτρου της Οπής προς τη διάμετρο του Ήλιου είναι 10 φορές το λόγο της απόστασης της οθόνης από την οπή από ότι η απόστασή της από τον Ήλιο. Σ' αυτή την περίπτωση το φως γεμίζει ένα μεγάλο τμήμα της σκοτεινής περιοχής.

Σύγκριση της έκλειψης του Ήλιου με την έκλειψη της Σελήνης.

Ο Αλ Χαϊθάμ με βάση τις γνώσεις της εποχής του προσπάθησε να μελετήσει τη διάταξη του σκοτεινού θαλάμου για την περίπτωση της μερικής έκλειψης τη Σελήνης.

Η Σελήνη σύμφωνα με τις γνώσεις καταλάμβανε την ίδια γωνία με τον Ήλιο και η διάμετρός της ήταν 18,8 φορές μικρότερη από τη διάμετρο του Ήλιου.

Ο Αλ Χαϊθάμ ερεύνησε την περίπτωση που ελάττωνε ταυτόχρονα την απόσταση οπής – οθόνης και τη διάμετρο της οθόνης κατά 18,8. Βρήκε ότι χονδρικά (αν παραλειφθεί το δεκαδικό τμήμα) η επιφάνεια που θα φωτιστεί είναι 324 φορές μικρότερη, άρα θα είναι ανεπαίσθητη στην αίσθηση.

Για τη μελέτη της έκλειψης του Ήλιου ο Αλ Χαϊθάμ χρησιμοποίησε μια τριχοειδή οπή με διάμετρο μια shaira (شعيرة) που ισούται με 0,35 εκατοστά. Η απόσταση του Ήλιου για τον υπολογισμό του θα πρέπει να είναι 115 shaira (ή 39,5 εκατοστά). Για την περίπτωση της Σελήνης σύμφωνα με τους υπολογισμούς του θα πρέπει να την τοποθετούσε $115/18,8 = 6$ shaira ή περίπου 2 εκατοστά.

Η μελέτη του Αλ Χαϊθάμ ήταν πρωτοποριακή. Προηγήθηκε κατά αιώνες από τους θεωρούμενους ως πρωτοπόρους της μελέτης του σκοτεινού θαλάμου Roger Bacon, Dela Porta, Λεονάρδου Ντα Βίντσι. Το πρόβλημα που τίθεται από τον Αριστοτέλη, γιατί το είδωλο του Ήλιου έχει μορφή κυκλική ακόμη και σε περιπτώσεις που το σχήμα της οπής είναι τριγωνικό ή τεταγωνικό, απα-ντήθηκε από τον Μαυρόλυκο (1494 – 1577) που χρησιμοποίησε για την λύση του τους κώνους που έχουν ως βάση τους την επιφάνεια του Ήλιου και κορυφές τα διάφορα σημεία της οπής. Ο Μαυρόλυκος χρησιμοποιώντας αυτήν την κατασκευή απέδειξε ότι το σχήμα που θα εμφανίζεται θα είναι κυκλικό (υπό ορισμένες συνθήκες).

Με χρήση μιας εξομοίωσης μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αν η διάμετρος του Ήλιου είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διάμετρο της οπής τότε εμφανίζεται κυκλική μορφή.

Ο Αλ Χαϊθάμ προηγήθηκε του Μαυρόλυκου γιατί και αυτός χρησιμοποίησε κωνικές κατασκευές για να δείξει αυτά που ήθελε.

Συμπέρασμα

Οι ιδέες του Αλ Χαϊθάμ για τη φύση του φωτός ήταν «επαναστατικές» για την εποχή του. Όπως γράφει ο Chalmers (1994) οι εργασίες του Αλ Χαϊθάμ παρείχαν δυνατότητες ανάπτυξης της οπτικής οι οποίες έμειναν ανεκμετάλλευτες μέχρι την εποχή του Γαλιλαίου και του Κέπλερ. Ο Ronchi (1956) γράφει: «είναι αξιοσημείωτο ότι ένας φυσικός του ενδέκατου αιώνα λειτούργησε σύμφωνα με τα σύγχρονα κριτήρια και τις σύγχρονες πειραματικές μεθόδους. Πόσο μεγάλη ήταν η πρόοδος από το έργο του Ευκλείδη μέχρι το πρώτο κεφάλαιο της πραγματείας του Αλ Χαϊθάμ!». Μπορούμε να δούμε επίσης ότι και η μοντελοποίηση που ξεκίνησε ο Ήρωνας για τα μηχανικά φαινόμενα είχε προοδεύσει πολύ στα χέρια του Αλ Χαϊθάμ. Οι ιδέες της μηχανικής που παρουσίασε ο Αλ Χαϊθάμ μπορούν να χρησιμεύσουν και για μια ιστορική προσέγγιση στο μάθημα της μηχανικής. Για το θέμα της μηχανικής έχουν γραφτεί πάρα πολλές εργασίες που τονίζουν την ομοιότητα των απόψεων των μεσαιωνικών φιλοσόφων με τις ιδέες των μαθητών (π.χ η κλασική εργασία του Mc Closkey 1993). Στις εργασίες αυτές σπάνια αναφέρεται ο Αλ Χαϊθάμ. Θα πρέπει η συνεισφορά του να γίνει αντικείμενο περισσότερης μελέτης στο μέλλον. Αντίθετα οι αναφορές στις ιδέες του αναφορικά με την οπτική είναι περισσότερες (π.χ. Kirpnis 1998, Galili και Hazan 2000). Τέτοιες ιδέες είναι τα πειράματα για την ευθύγραμμη διάδοση, οι απόψεις του για τις σκιές και για το σκοτεινό θάλαμο. Στο 9ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τελευταία περίπτωση (Mihas 2001a).

Οι σκέψεις και τα πειράματα του Αλ Χαϊθάμ για την ευθύγραμμη διάδοση εμφανίζονται σε διάφορα θέματα που αντιμετωπίζονται στη διδακτική της οπτικής που αφορούν ακόμη και μικρούς μαθητές (π.χ. Guesne, 1984, 1993, Driver κ.α. 1998, Osborne & Black 1983, Osborne & Freyberg 1985, Ραβάνης 1994). Η άποψη του Αλ Χαϊθάμ ότι οι ακτίνες του φωτός δεν είναι ορατές στον καθαρό αέρα έχει χρησιμοποιηθεί από τη McDermott (1992) καθώς και τους Wosilat, Heron, Schaffer, McDermott (1998) για τη δημιουργία προβληματισμού στους φοιτητές. Το ίδιο ερώτημα έχει τεθεί και σε έρευνες για τις απόψεις των μαθητών των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού (Μίχας, Καλπία, Αγγελίδης 2000). Διδακτικά έχει χρησιμοποιηθεί και η σκέψη του Αλ Χαϊθάμ για το σχηματισμό καθαρού ειδώλου (σελίδα 46) από τη McDermott (1992) και από τους Wosilat κ.α. (1998)

55

Πρώτον – το λευκό λίπος που γεμίζει την μεγάλη κοιλότητα και το ονομάζει «προσκολλημένη (επιπεφυκότα) (الملتحمة) αλ μονλιτάχμα από το ρήμα إلتحم *ιλτάχμα* που σημαίνει προσκολλώ, συνενώνω) ».

Δεύτερον – Το σταφυλοειδές (Αλ Αναμπέια العنبيّة) που γι' αυτόν είναι μια κούφια σφαίρα που δίνει το χρώμα του ματιού και είναι προσκολλημένο με τον επιπεφυκότα. Ο επιπεφυκός καλύπτει την σφαίρα εκτός από το μπροστινό μέρος, στο κέντρο του οποίου υπάρχει η «οπή του σταφυλοειδούς (θάκμπ αλ αναμπέια ثقّب العنبيّة)» δηλ. η κόρη του ματιού. Θεωρεί ότι αυτή η οπή είναι απέναντι από την κοιλότητα του νεύρου.

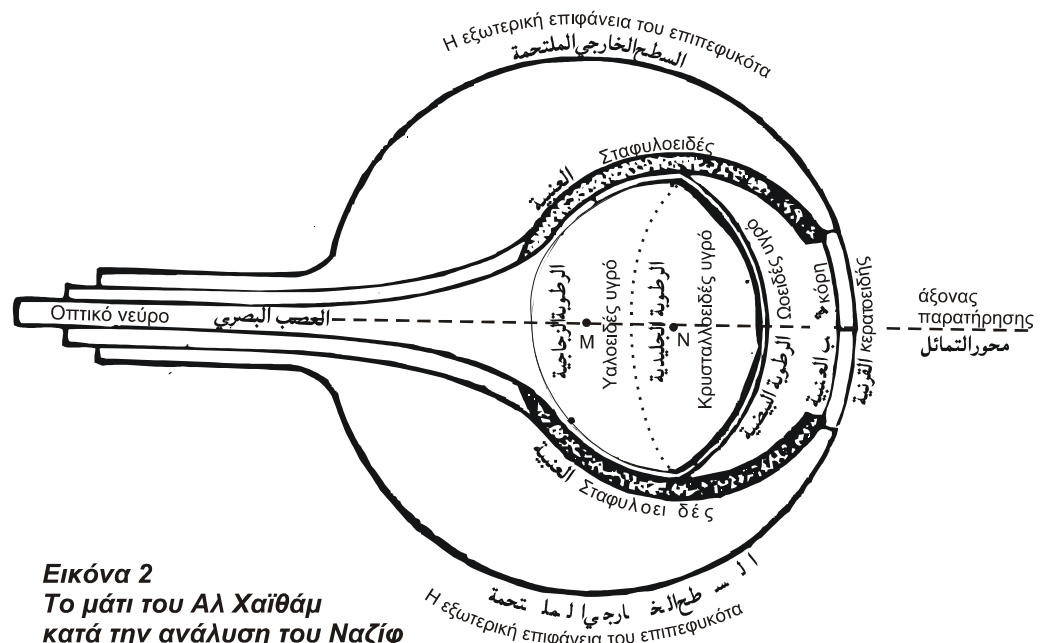
Τρίτο – Ο κερατοειδής (κουρνέια قرنية) είναι το λευκό στρώμα που είναι διαφανές, καλύπτει την κόρη και όλο το μπροστινό μέρος.

Τέταρτο – Ο κρυσταλλοειδής (Αλ Τζαλιντία الجليدية) (το κρυσταλλοειδές σύμφωνα με τον Γαληνό), που είναι γι' αυτόν μια μικρή λευκή σφαίρα μέσα στο σταφυλοειδές και βρίσκεται στο άκρο της κοιλότητας του νεύρου. Ο κρυσταλλοειδής χωρίζεται σε δύο τμήματα που έχουν διαφορετική διαφάνεια. Το πρώτο έχει διαφάνεια που μοιάζει μοιάζει με τη διαφάνεια του κρυστάλλου ενώ το δεύτερο κομμάτι του έχει διαφάνεια που μοιάζει με τη διαφάνεια του γυαλιού το ονομάζει υαλοειδές υγρό.

Ο Αλ Χαϊθάμ μας δίνει και άλλα βασικά τμήματα του ματιού. Η «λευκή υγρότητα» γεμίζει την κοιλότητα του σταφυλοειδούς και ονομάζεται ωοειδής υγρότητα (μπαϊνέια بيضية, ωοειδές σύμφωνα με τον Γαληνό), γιατί μοιάζει με το άσπρο του αυγού.

Ο Αλ Χαϊθάμ βλέπει ότι μπορεί να πλησιάσει τον κρυσταλλοειδή από την μεριά που προσκολλάται με τον σταφυλοειδή τα άκρα του οπτικού νεύρου και λέγει: «στο μπροστινό μέρος της κοιλότητας του σταφυλοειδούς, υπάρχει μια κυκλική οπή και αυτό είναι στο άκρο της νευρικής κοιλότητας. Ο κρυσταλλοειδής είναι τοποθετημένος σ' αυτήν την οπή».

Οι απόψεις του Αλ Χαϊθάμ για τη σύνδεση του οπτικού νεύρου με τον κρυσταλλοειδή στο σημείο όπου προσκολλάται με την σταφυλοειδή είναι γενικά σωστές, γιατί ο αμφιβληστροειδής είναι η προέκταση του οπτικού



Εικόνα 2
Το μάτι του Αλ Χαϊθάμ
κατά την ανάλυση του Ναζίφ

νεύρου και που εξαπλώνεται μέσα στην κοιλότητα του ματιού.

Στα λεγόμενα του φαίνεται ότι πιστεύει ότι η νευρική κοιλότητα πίσω από την κρυσταλλική υγρότητα είναι γεμάτη με το υαλοειδές υγρό.

Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την όραση.

Ο Αλ Χαϊθάμ ακύρωσε τη θεωρία της εκπομπής και έδωσε ένα τελείως νέο μοντέλο για τη θεωρία της όρασης.

Ο Αλ Χαϊθάμ κατάλαβε ότι το φως εκπέμπεται από κάθε σημείο της επιφάνειας του ορατού, προς το μέρος του ματιού που είναι ακάλυπτο. Απέναντι στο μάτι υπάρχουν διάφορα αντικείμενα που έχουν διάφορα χρώματα. Αν η όραση συμβαίνει με την ενέργεια των φώτων που εκπέμπονται από κάθε σημείο της επιφάνειας προς την επιφάνεια του ματιού, αυτό συμβαίνει από όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται απέναντι στο μάτι την ίδια στιγμή, αλλά το μάτι ξεχωρίζει το κάθε αντικείμενο και το χρώμα του. Αν το μάτι δεν νιώσει τα διάφορα φώτα που εκπέμπονται από τα σώματα δεν μπορεί να τα αντιληφθεί.

Η στάση του Αλ Χαϊθάμ προς το πρόβλημα υπενθυμίζει τη στάση των σημερινών ερευνητών όταν αντιμετωπίζουν ένα πρόβλημα. Λέγει: «ο τρόπος που γίνεται η όραση μπορεί να είναι τελείως διαφορετικός από αυτόν που δίνω εγώ αλλά μπορεί να ισχύει ένα μέρος της περιγραφής».

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε αρκετές λεπτομέρειες για τη στάση του και την νέα θεωρία για την όραση. Υπάρχουν δύο βασικές σκέψεις:

Πρώτη: Οι αισθήσεις γίνονται μόνο στον κρυσταλλοειδή. Κατά την κρίση του ο κρυσταλλοειδής είναι το πρώτο ειδικό όργανο που συναντά το φως καθώς μπαίνει στο μάτι. Όπως φαίνεται πήρε από τον Γαληνό πληροφορίες που αναφέρουν την περίπτωση του καταρράκτη που καταστρέφει την όραση ως απόδειξη ότι το ζωτικό μέρος του ματιού είναι ο κρυσταλλοειδής.

Δεύτερη: Αναφέρεται στο ότι το μάτι αντιλαμβάνεται ως χωριστές τις εικόνες καθενός σημείου της επιφάνειας προς την οποία βλέπει. Το φως που φτάνει από κάθε σημείο της επιφάνειας του ορατού αντικείμενου σε όλα τα σημεία του κερατοειδούς που είναι μπροστά στην κόρη, εισχωρεί μέσα από τον κερατοειδή μέχρις ότου να φτάσει ένα μέρος από το φως στο μπροστινό μέρος του κρυσταλλοειδή, όμως ο κρυσταλλοειδής δεν αισθάνεται το φως παρά μόνο αν η ακτίνα είναι κάθετη στην επιφάνεια του.

Αν θεωρήσουμε τον κώνο με κορυφή το σημείο Μ και βάση την κόρη, τότε οι ευθείες που ενώνουν τα σημεία από αυτό το αντικείμενο με το σημείο Μ δίνουν ακτίνες που εισχωρούν στο μάτι χωρίς να αλλάζει η πορεία τους λόγω διάθλασης. Ο κρυσταλλοειδής νιώθει αυτό το φως. Το αποτέλεσμα είναι να μην αναμειγνύονται οι εικόνες των διαφόρων αντικειμένων μεταξύ τους ούτε και τα χρώματά τους. Αυτό επιτρέπει να διακρίνει το μάτι τη διάταξη του αντικειμένου.



Η διάταξη των σημείων που προβάλλονται πάνω στον κρυσταλλοειδή ονομάζεται από τον Αλ Χαϊθάμ εικόνα (είδωλο) του αντικειμένου (*Σούρα αλ μαμπσουρ صورة المبصر*). Για το ορατό αντικείμενο AB της εικόνας 3 το είδωλο του είναι το A_1B_1 .

Το ερώτημα που τίθεται είναι: *Πώς αντιμετώπισε τις άλλες ακτίνες που προέρχονται από το σημείο και γιατί θεώρησε μόνο αυτές που κινούνται κατά την κάθετο; Πώς δικαιολόγησε ότι το μάτι τις αγνοεί;*

Για να δικαιολογήσει τη θεωρία του χρησιμοποίησε μια πορεία αποδεκτή από τη λογική του. Έθεσε το ερώτημα: Τι το παράξενο υπάρχει με το να εξειδικεύεται η όραση σε ορισμένες ακτίνες; Δεν υπάρχει κάποια ανάλογη εξειδίκευση με τις τροχιές των σωμάτων που πέφτουν; Τα σώματα που πέφτουν κινούνται μόνο στις γραμμές που είναι κάθετες πάνω στην επιφάνεια της γης δηλαδή πάνω στις ακτίνες της γης. Αυτό ήταν κάτι που του έδειξε ότι δεν απαγορεύεται λογικά να εξειδικεύεται η όραση στο να δέχεται μόνο τις επιδράσεις των φώτων και των χρωμάτων που κινούνται κάθετα προς τον κρυσταλλοειδή.

Για τις άλλες ακτίνες λέει ότι το μάτι δε νιώθει τις άλλες ακτίνες όπως συμβαίνει όταν φωτίζει ο Ήλιος το μεσημέρι και ταυτόχρονα έχουμε ένα κερύ αναμμένο, οπότε δε νιώθουμε το φως του κεριού αλλά μόνο το φως του Ηλίου. Ο Αλ Χαϊθάμ θεώρησε και τα αποτελέσματα της διάθλασης.

Η φυσιολογική πλευρά της θεωρίας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την όραση

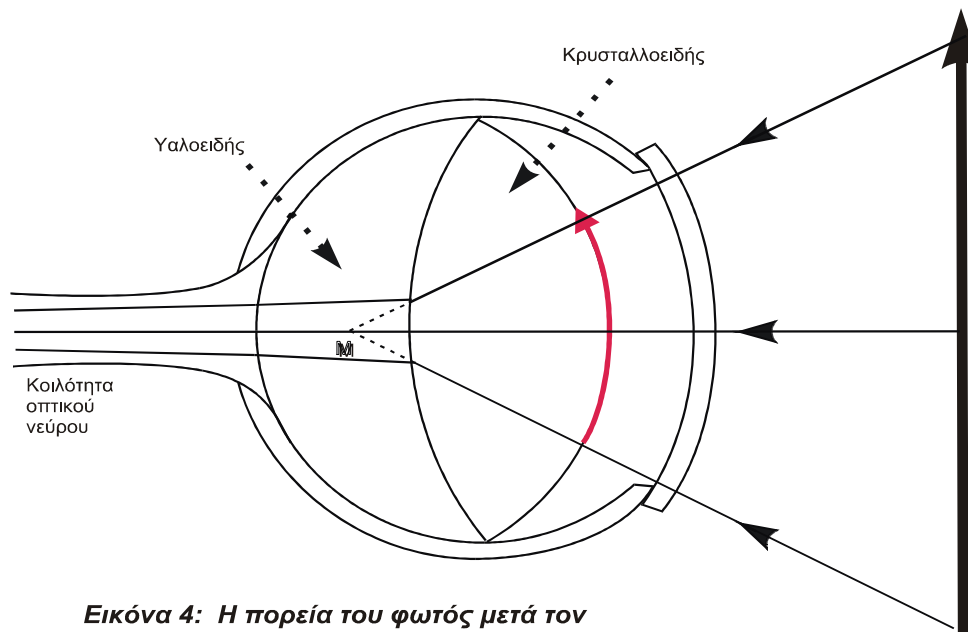
Δεν περιμένουμε από τον Αλ Χαϊθάμ να εκφράσει σύγχρονες απόψεις για αυτά τα θέματα. Όμως βρίσκομε στα γραφτά του μια προσπάθεια για να δώσει παρα-στατικά αυτά που συμβαίνουν,.

Ο κώνος που φαντάζεται να σχηματίζεται από το κέντρο όρασης με τις κάθετες ακτίνες δίνει μια ορισμένη επιφάνεια πάνω στον κρυσταλλοειδή. Σ' αυτό το τμήμα εμφανίζεται μια «συναρμολογημένη» εικόνα (*Μουρτάμπα مرتبة*) του αντι-κειμένου που τα τμήματά της αντιστοιχούν στα τμήματά του αντικειμένου. Οι ακτίνες που γίνονται αισθητές στον κρυσταλλοειδή διαδίδονται μέχρι την επιφάνεια που τον διαχωρίζει από το υαλοειδές. Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί ότι το τμήμα του κρυσταλλοειδούς που τέμνει αυτός ο κώνος είναι εκεί που για πρώτη φορά συμβαίνουν οι αισθήσεις στο μάτι. Θεωρεί ότι αυτή η αίσθηση ανήκει στο είδος της αίσθησης του πόνου και το εξηγεί την ενόχληση που νιώθει το μάτι στο έντονο φως, η οποία όμως διαφέρει ανάλογα με την ένταση.

Για να γίνει αυτή η μεταφορά της εικόνας και των αισθήσεων κατ' ευθείαν σύμφωνα με αυτά, ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί ότι ο κερατοειδής και η υωειδής υγρότητα είναι δύο σώματα διαφανή που δέχονται τη διάδοση του φωτός πάνω σε όλες τις ευθείες όπως κάθε άλλο διαφανές σώμα, όμως για τον κρυσταλλοειδή βλέπει ότι έχει δύο ιδιότητες. Η μία είναι η διαφάνεια, ενώ η δεύτερη είναι η ετοιμότητα για τις αισθήσεις που κινούνται μόνο κάθετα.

Μετά τον κρυσταλλοειδή: Το φως διεισδύει στο σώμα του κρυσταλλοειδούς μέχρις ότου να φτάσει στην ενδιάμεση επιφάνεια με την υαλοειδή υγρότητα (*ρουτούμπατ αλ ζουγκαγκέ'α رطوبة الزجاجية*). Αν η υαλοειδής υγρότητα είχε την ίδια διαφάνεια ή ήταν κυρτή σφαίρα με κέντρο της το

κέντρο της όρασης, τότε θα συνέχιζε η ίδια πορεία των ακτινών οι οποίες θα συγκεντρωνόντουσαν στο κέντρο του ματιού. Όμως τότε δε θα πήγαιναν στο κέντρο του νεύρου γιατί οι ευθείες μετά το κέντρο του ματιού δε θα συναντιόντουσαν στο κέντρο του νεύρου και δε θα διατηρούσαν τη διάταξη του ορατού. Όμως η διαφάνεια του υαλοειδούς είναι διαφορετική από τη διαφάνεια του κρυσταλλοειδούς, και το υαλοειδές είναι πιο



Εικόνα 4: Η πορεία του φωτός μετά τον κρυσταλλοειδή κατά τον Αλ Χαϊθάμ

διαφανές από το κρυσταλλοειδές,. Οι ακτίνες που διαθλώνται πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια δεν τέμνονται μεταξύ τους μετά την είσοδο τους στο υαλοειδές.

Το κρυσταλλοειδές έχει μια ιδιαίτερη διαφάνεια που δέχεται τις αισθήσεις του φωτός που κινείται κάθετα ενώ το υαλοειδές αισθάνεται μόνο την εικόνα που είναι διατεταγμένη στον κρυσταλλοειδή και διατηρεί αυτή τη διάταξη. Η διαφορά που προέρχεται από τη διαφορά στη διαφάνεια οδηγεί τελικά στην διάθλαση, όμως η διάθλαση αυτή διατηρεί την τάξη του κρυσταλλοειδούς δηλαδή τη διάταξη στο ορατό σώμα. Η εικόνα όπως λέγει παραμένει μέσα στο υαλοειδές ως μία και καταλήγει στο κοίλωμα του νεύρου.

Μια περίληψη της βασικής σκέψης του Αλ Χαϊθάμ φαίνεται στην εικόνα 4. Η εικόνα σχηματίζεται στο τμήμα του κρυσταλλοειδούς που το διαπερνούν οι κάθετες ακτίνες. Μετά η αίσθηση μεταφέρεται στο υαλοειδές και από εκεί στο νεύρο όπου καταλήγει στην τελική αίσθηση.



Εικόνα 5: Πείραμα για απόδειξη ότι οι διαθλώμενες ακτίνες παίζουν ρόλο στην όραση

Προσαρμογή της θεωρίας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ αναφορικά με τις απαιτήσεις της διάθλασης.

Ο Αλ Χαϊθάμ επιστρέφει στο θέμα της διάθλασης και προσπαθεί να την κάνει πιο ταιριαστή με τα φαινόμενα της φύσης και της ζωής. Με αυτήν την προσαρμογή έκανε ένα βήμα στη θεωρία του, την οποία επικαλείται όποτε παρουσιάζεται ανάγκη.

Μπορούμε να θεωρήσουμε διάφορες ευθείες που ξεκινούν από το κέντρο του ματιού, διαπερνούν κάθετα την επιφάνεια του ματιού και σχηματίζουν ένα κώνο που ο Αλ Χαϊθάμ ονομάζει κώνο των ακτινών. Ο Αλ Χαϊθάμ αναφέρει πειράματα και παρατηρήσεις που αποδεικνύουν ότι είναι δυνατό να παρατηρηθεί ένα αντικείμενο ακόμη και αν είναι έξω από το ύψος του κώνου των ακτινών.

Ο Αλ Χαϊθάμ εξηγεί το θέμα: «Ο πειραματιστής στηρίζει μια λεπτή βελόνα ή κάποιο αιχμηρό αντικείμενο και τοποθετείται σε μια θέση που είναι απέναντι από ένα λευκό τοίχο, καλύπτει το ένα μάτι και τοποθετεί τη βελόνα κοντά στο άλλο μάτι και την πλησιάζει στο μάτι μέχρις ότου αγγίξει τις βλεφαρίδες του οπότε την τοποθετεί κοντά στο μέσο του ματιού και παρατηρεί προς τον λευκό τοίχο που είναι απέναντι του, τότε βλέπει τη βελόνα ως ένα διαφανές αντικείμενο που έχει κάποια αδιαφάνεια. Βλέπει πίσω από τη βελόνα τον τοίχο» Επεκτείνει στην ανάλυση του πειράματος και λέγει «αν ο πειραματιστής στηρίζει ένα χαρτί και γράψει πάνω του με λεπτά γράμματα και τοποθετήσει το χαρτί στον τοίχο και μπει σε κάποια απόσταση έτσι που να μπορεί να διαβάσει αυτό που έγραψε, αν τώρα τοποθετήσει τη βελόνα κοντά στο μέσο του ματιού του όπως έκανε στην πρώτη περίπτωση, τότε αν κοιτάξει στο χαρτί μπορεί να διαβάσει αυτά που έγραψε.»

Ο Αλ Χαϊθάμ εξηγεί ότι όταν το μάτι βλέπει τον τοίχο ενώ καλύπτεται το μάτι από τη βελόνα, διότι δε βλέπει απ' ευθείας αλλά με διάθλαση από τις πλευρές της βελόνας.

Το σημείο που βλέπουμε μπορεί να θεωρηθεί ως η κορυφή ενός κώνου από ακτίνες με βάση το τμήμα του ματιού μπροστά στην κόρη, αυτές οι ακτίνες διαδίδονται με διάθλαση στα στρώματα του ματιού εκτός από αυτή που φτάνει πάνω στην κάθετη η οποία και διαδίδεται ευθύγραμμα χωρίς καμιά αλλαγή πορείας, το μάτι αισθάνεται όλες αυτές τις ακτίνες, όμως οι διαθλώμενες ακτίνες συναντούν την κάθετο σε ένα σημείο που κατά τον ισχυρισμό του είναι το σημείο του φανταστικού ειδώλου του σημείου του σώματος που βλέπουμε.

Η σκέψη αυτή του Αλ Χαϊθάμ συμφωνεί σε πολλά με τη σύγχρονη άποψη για αντίληψη του ειδώλου ενός σημείου.

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε ιδιαίτερη σημασία σ' αυτό το νόημα, και ανέφερε ότι σ' αυτό το θέμα κανένας από τους προγενέστερους του δεν ανέφερε τίποτε. Λέγει καταλήγοντας «με αυτό το νόημα εννοώ ότι όλα όσα αντιλαμβάνεται το μάτι τα αντιλαμβάνεται με τη διάθλαση και αυτό το νόημα δεν το είχε πετύχει κανένας από τους αρχαίους ούτε από τους κατοπινούς, και αυτός είναι ο τρόπος που αντιλαμβάνεται το μάτι όλα τα ορώμενα αντικείμενα και είναι στο άκρο αληθινός» (Ναζίφ).

2 - Η όραση από την ψυχολογική άποψη

Η μελέτη της όρασης από ψυχολογική άποψη ξεκίνησε από τις μελέτες του Πτολεμαίου. Τα φαινόμενα που εξέτασε ο Πτολεμαίος δεν έχουν

αξιοποιηθεί στη Διδακτική της Οπτικής, όμως πρόσφατα έχουν εμφανιστεί προσπάθειες για την ένταξη τους στη διδακτική πράξη (κεφάλαιο 12).

Για τον Πτολεμαίο οι ακτίνες κινούνται στο διαφανή χώρο μέχρις ότου σταματήσουν από ένα αδιαφανές σώμα, που δεν είναι λείο, φωτεινό και χρωματισμένο. Αυτό το σταμάτημα μεταφράζεται από μία αντίστοιχη αίσθηση της παρουσίας του έγχρωμου σώματος. Ο Πτολεμαίος διακρίνει δύο τρόπους εντοπισμού με την όραση. Ο ένας τρόπος έχει σχέση με το μήκος της ακτίνας όρασης, η ακτίνα αυτή θεωρείται ως ενσυνείδητη. Ο άλλος τρόπος εξαρτάται από τη σχετική θέση των ακτινών στο σύνολο του κώνου όρασης, κάθε ακτίνα θεωρείται ότι έχει την συνείδηση μιας σχετικής αξίας της διεύθυνσης.

Η αναπαράσταση του Πτολεμαίου συμπεριλαμβάνει αντικείμενα που φαίνονται στις πραγματικές τους κατευθύνσεις σε σχέση με την κορυφή του κώνου όρασης. Σε σύγχρονη γλώσσα, αυτό σημαίνει ότι η ψυχολογική προβολή των ειδώλων του αμφιβληστροειδούς προς το εξωτερικό έχει θέση ακριβώς αντίστροφη από την προβολή των σημείων-αντικειμένων πάνω στον αμφιβληστροειδή και με το ίδιο κέντρο: *το μέσο κομβικό σημείο. Στην πραγματικότητα οι κατευθύνσεις πάνω στις οποίες εξωτερικεύουμε τις αισθήσεις του αμφιβληστροειδούς αναφέρονται σε μία αρχή εγωκεντρική: το κέντρο κυκλωπικής προβολής που βρίσκεται μεταξύ των δύο ματιών. Ως κυκλωπική προβολή θεωρείται από τον Nicholas Wade (1994) το σημείο ενός φανταστικού ματιού που βρίσκεται στο κέντρο του μετώπου και είναι η θέση που αναφέρεται η διόφθαλμη όραση.*

Ελάχιστα των αισθήσεων: Μια ενδιαφέρουσα έννοια που παρουσίασε ο Πτολεμαίος αφορά τα ελάχιστα των αισθήσεων. Η έννοια αυτή είναι πολύ χρήσιμη στη Διδακτική της όρασης (κεφάλαιο 10).

Ο Πτολεμαίος λέγει ότι το όργανο όρασης δεν είναι τέλειο. Έχουμε περιορισμένη ικανότητα για διαχωρισμό των διαφόρων στοιχείων. Έχουμε ελάχιστα κάτω από τα οποία δε μπορούμε να έχουμε αισθήσεις των διαφορών

Αυτό είναι προφανές για τα μεγέθη. Όταν απομακρύνεται ένα αντικείμενο εξαφανίζεται. Ενώ η γωνία είναι διάφορος του μηδενός το σώμα γίνεται αόρατο. Δύο άνισες γωνίες δίνουν ίδιες πληροφορίες όταν η διαφορά τους δε ξεπερνά μια ορισμένη τιμή. Αυτά μας θυμίζουν σύγχρονες έννοιες της Ψυχοφυσικής (Sekuler 1994).

1. Φως	7. Μέγεθος	13. Τραχύτητα	19. Ομορφιά
2. Χρώμα	8. Διαχωρισμός	14. Λειότητα	20. Ασχήμια
3. Απόσταση	9. Πλησίασμα	15. Διαφάνεια	21. Ομοιότητα
4. Θέση	10. Αριθμός	16. Αδιαφάνεια	22. Διαφορά
5. Τρισδιάστατο σώμα	11. Κίνηση	17. Σκιά	
6. Σχήμα	12. Ακίνησία	18. Σκότος	

Για τις αποστάσεις λέγει ότι δύο σημεία που είναι σε άνισες αποστάσεις, το μάτι μπορεί να τα βλέπει σε ίσες αποστάσεις. Αυτή η ελάχιστη διαφορά αποστάσεων εξαρτάται από τα υπό σύγκριση μεγέθη.

Σε μεγάλες αποστάσεις αυξάνεται πολύ το ελάχιστο των διαφορών που μπορούν να γίνουν αντιληπτές π.χ. οι διαφορές στις γωνίες τείνουν να μηδενιστούν.

Όταν θέλουμε να ξεχωρίσουμε τα κοίλα, κυρτά από επίπεδα σχήματα, αν οι διαφορές αποστάσεων δεν είναι μεγάλες τότε δε μπορούμε να ξεχωρίσουμε το επίπεδο σχήμα από ένα κοίλο ή κυρτό.

Οι διαφορές κάθε είδους για να γίνονται αντιληπτές πρέπει να ξεπερνούν ένα ελάχιστο (κατώφλι). Όλες οι μεταβολές (χρώματος, μεγέθους, παραμόρφωση, μετακίνηση) για να καταγραφούν πρέπει να είναι αισθητές.

Κίνηση τοπική: Μπορεί να μην γίνεται αισθητή, για πολύ απομακρυσμένα σώματα, όπως τα άστρα ή τα πλοία. Μια περιοδική κίνηση μπορεί να είναι τόσο γρήγορη που μια πλήρης περίοδος να γίνεται σε λιγότερο χρόνο από όσο είναι το ελάχιστο κατανοητό του χρόνου, π.χ. οι ακτίνες της ρόδας καθώς περιστρέφεται.

Τα μερικά νοήματα της όρασης και τα σύνθετα νοήματα της όρασης.

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε τη δική του ψυχολογική θεώρηση της όρασης. Σε πολλά σημεία συνέχισε το έργο του Πτολεμαίου, ενώ σε άλλα έδωσε νέα θέματα που εγγίζουν θέματα της σύγχρονης Ψυχολογίας. Ο άνθρωπος από ένα ορώμενο αντιλαμβάνεται το φως και το χρώμα. Επιπρόσθετα αντιλαμβάνεται την απόσταση του, το σχήμα του, το μέγεθος του. Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε είκοσι δύο νοήματα που αντιλαμβανόμαστε ως μερικά νοήματα:

Δίνει διάφορα παραδείγματα: Η ευθύτητα, η κυρτότητα ανήκουν στο σχήμα, αν έχουμε πολλά ή λίγα αντικείμενα στον αριθμό, η ισότητα ανήκει στην ομοιότητα και στη διαφορά, το γέλιο και το κατσούφιασμα ανήκουν στο σχήμα, η υγρότητα και η ξηρότητα (αναφέρεται στα υγρά) ανήκουν στην κίνηση και ακινησία, καθώς όταν έχουμε υγρασία παρατηρούμε ότι τα τμήματα κινούνται. Στα σύνθετα νοήματα αναφέρει την ανάγνωση, τη ζωγραφική που απαιτούν τα διάφορα επιμέρους νοήματα και ανήκουν στο σχήμα. Το κλάμα ανήκει στο σχήμα και στην κίνηση γιατί έχουμε την κίνηση των δακρύων.

Η γενική ιδέα που βάσισε ο Ιμπν Αλ Χαϊθάμ την έρευνα του για την αντίληψη.

Δίνει λεπτομέρειες για το κάθε ένα από τα 22 χαρακτηριστικά.

Η αντίληψη γίνεται με τρεις τρόπους:

Α)η απλή αίσθηση, Β)η γνώση Γ) η σύγκριση με τη διάκριση.

Η απλή αίσθηση αφορά το φως και το χρώμα. Αν κανείς αντιληφθεί δύο χρώματα που είναι ίσα στην ένταση ή διαφορετικά, ή αν αντιληφθεί δύο όμοια ή διαφορετικά χρώματα, τότε αντιλαμβάνεται την ομοιότητα ή τη διαφορά και αυτό δε γίνεται με μόνο την απλή αίσθηση αλλά έχουμε σύγκριση. Αν κανείς αντιληφθεί το διαφανές δεν τελειώνει παρά μόνο αν έχει αντιληφθεί τι υπάρχει πίσω από το διαφανές σώμα,. Σ'αυτή την περίπτωση πρέπει να κάνει μια επαγωγή, το ίδιο και για αντίληψη της αδιαφάνειας σε αντίθεση με τη διαφάνεια.

Θεωρεί ότι τα επιπρόσθετα στοιχεία αφορούν τη σύγκριση και τη διάκριση. Δεν είναι θέματα που αφορούν την όραση μόνο αλλά όλα τα

αισθητήρια όργανα.

Αντίληψη με γνώση και αντίληψη με σύγκριση και διάκριση

Την αντίληψη που δεν προέρχεται από την απλή αίσθηση τη χωρίζει σε δύο τμήματα: α) «αντίληψη με τη γνώση (*ιντράκ μπι αλ μααρίφα إدراك بالمعرفة*)» και β) «αντίληψη με τη σύγκριση και τη διάκριση (*ιντράκ μπι αλ κιάς ονα αλ ταμίζ إدراك بالقياس والتمييز*)» και δίνει διάφορα παραδείγματα όπως: αν αντιληφθούμε ένα γνωστό ζώο είναι αντίληψη με τη γνώση. Σ' αυτή την περίπτωση η αντίληψη συμπληρώνεται με τη σύγκριση της εικόνας του ορώμενου με την εικόνα που έχει δει κανείς από πριν. Σ' αυτή την περίπτωση κάνουμε σύγκριση. Όμως αυτή η σύγκριση δεν είναι πλήρης και δε γίνεται μια διαπίστωση όλων των ιδιοτήτων και νοημάτων που έχει η παρούσα εικόνα στο νου, αλλά αρκείται σε ένα χαρακτηριστικό που το ονομάζει ο Αλ Χαϊθάμ «σημείο» (*αμάρα أمارة*) με βάση το οποίο μπορεί ο άνθρωπος να αντιληφθεί κάτι από μια εικόνα που είχε δει από πριν. Τότε έχουμε μια αντίληψη με γνώση. Αν έχουμε αντίληψη με σύγκριση και διάκριση, τότε απαιτείται η παρατήρηση και η κρίση, η επαγωγή από όλα τα νοήματα ή από τα περισσότερα τους. Παραδειγματος χάρη αν ο άνθρωπος δει μια παράξενη λέξη που δεν την έχει ξαναδεί, αν δε μπορεί να τη συνδέσει με κάτι προηγούμενου στο νου του, δεν την αντιλαμβάνεται παρά μόνο αφού διαπιστώσει ένα – ένα τα γράμματα της.

Δύναμη διάκρισης

Στην αντίληψη με βάση ένα σημείο ή μερικά σημεία, που είναι αντίληψη με γνώση, θεωρεί αυτό που ονομάζει «δύναμη διάκρισης (*κούατ αλ μουμιάζα قوة المميّزة*)» που μπορεί να διακρίνει τα νοήματα και τις διαφορές ιδιότητες από το αντιλαμβανόμενο αντικείμενο.

Η αιτία του διαχωρισμού της αντίληψης με γνώση και της αντίληψης με «σύγκριση και διάκριση» είναι ότι στη δεύτερη απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στην πραγματικότητα ο άνθρωπος δεν αντιλαμβάνεται αυτή τη διαφορά γιατί τις περισσότερες περιπτώσεις οι λειτουργίες τους γίνονται πολύ γρήγορα.

Θεωρεί ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ της αντίληψης με γνώση και της μνήμης. Θεωρεί ότι πρέπει να ξεκαθαρίσει δύο θέματα. Πρώτον ο άνθρωπος δεν διακρίνει στην περίπτωση της αντίληψης με γνώση ότι έχει αντίληψη με γνώση και δεύτερον ότι η δύναμη διάκρισης μπορεί να κάνει κάποια διάκριση των εννοιών και των ιδιοτήτων μετά την αντίληψη με γνώση ενός αντικειμένου.

Η θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τον τρόπο της αντίληψης με την όραση

Ο Αλ Χαϊθάμ εφαρμόζει τα προηγούμενα στην αντίληψη με την όραση. Υπάρχουν οι τρεις προαναφερθέντες τρόποι αντίληψης. Η όραση αντιλαμβάνεται με τη σύγκριση και τη διάκριση αν επαναλάβει την παρατήρηση και κάνει μια τελική διαπίστωση, οπότε στο μέλλον μια επανάληψη της ίδιας αντίληψης γίνεται με τη γνώση. Με αυτή τη μέθοδο για κάθε μία από τις μερικές έννοιες σχηματίζεται «μία εικόνα

ολοκληρωμένη και παγιωμένη στην ψυχή» και για τη διάκριση δεν απομένει από του να ξεχωρίσει τις ατομικές περιπτώσεις. Ο Αλ Χαϊθάμ λέγει ότι ο άνθρωπος κερδίζει με την ωρίμανση και την εμπειρία στο να αντιλαμβάνεται τις έννοιες κάθε σχήματος ή θέσης ή μεγέθους και των ομοίων με τη γνώση, αλλά χρειάζεται τη σύγκριση και τη διάκριση επί πλέον στη γνώση όταν αντιλαμβάνεται ένα ορισμένο σχήμα ή μια ορισμένη θέση ή ορισμένο μέγεθος.

Ανάλυση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αντίληψη των μερικών εννοιών

Μετά από αυτά προχωρά στην ανάλυση των 22 εννοιών και εξηγεί τις «μεθόδους της σύγκρισης» που κερδίζει η δύναμη της διάκρισης από αυτά τα νοήματα. Πολλές από τις εξηγήσεις του και τις θεωρίες του αφορούν τα σφάλματα της όρασης και τις αιτίες τους και πολλές από τις θεωρίες του παρέμειναν σωστές στο πέρασμα των αιώνων

Τρόπος αντίληψη του φωτός και του χρώματος

Ο Αλ Χαϊθάμ ασχολείται με τον καθορισμό των εννοιών που αντιλαμβάνεται με την απλή αίσθηση της όρασης (*Αλ χας αλ μούντζριντ* (الحس المجرد)). Προσπαθεί να εφαρμόσει αυτά που διατύπωσε για τη θεωρία της όρασης και της κατασκευής του ματιού που έδωσε προηγουμένως. Θεωρεί ότι η φυσική και η φυσιολογική πλευρά της όρασης τελειώνει με την άφιξη του αισθήματος στο κοινό νεύρο. Από εκεί και πέρα αρχίζει η ψυχολογική πλευρά της όρασης.

Στο αισθητήριο όργανο φτάνει η αίσθηση του φωτός και του χρώματος. Σ' αυτή την περίπτωση αναφέρει το φως μαζί με το χρώμα που όμως έχει ανεξάρτητη ύπαρξη από το χρώμα.

Η αντίληψη του φωτός και του χρώματος γίνεται με την απλή αίσθηση. Όμως η διάταξη των τμημάτων του αντικειμένου, το σχήμα της περιφέρειας της εικόνας του, η θέση των τμημάτων του, η ομοιότητα και η διαφορά του ενός με το άλλο, όλα αυτά δεν γίνονται αντιληπτά από την απλή αίσθηση και μόνο.

Μερικά από αυτά που ανέφερε ο Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη μετάδοση της παρατήρησης με την αίσθηση.

Η παρατήρηση με την οποία αντιλαμβανόμαστε το χρώμα και το φως διαρκεί για ένα χρονικό διάστημα που κατά την άποψη του συνίσταται από δύο χρόνους: α) Το χρόνο μεταφοράς της αίσθησης από τη μπροστινή επιφάνεια του κρυσταλ-λοιδούς μέχρι την τελική αίσθηση, και β) το χρόνο που χρειάζεται για να επιδράσει το φως και το χρώμα στο αισθητήριο όργανο, καθώς απαιτείται ορισμένο χρονικό διάστημα γιατί χρειάζεται ένας χρόνος για να υπάρξει η επίδραση και η αλλαγή.

Ο Αλ Χαϊθάμ έχει την άποψη ότι όταν η αντίληψη των νοημάτων δεν τελειώνει με την απλή αίσθηση, τότε χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα που είναι περισσότερο από όσο χρειάζεται για να αντιληφθούμε απλώς το φως ως φως και το χρώμα ως χρώμα. Το παρομοιάζει με την αντίληψη της φύσης (*μαχέια* ماهية) του χρώματος. Ο άνθρωπος καταλαβαίνει τη φύση των χρωμάτων όταν είναι ακίνητα. Δε μπορεί να αντιληφθεί τη φύση τους όταν

κινούνται. Ο Αλ Χαϊθάμ εννοεί ότι η αντίληψη της φύσης των χρωμάτων είναι αντίληψη με γνώση και όχι με την απλή αίσθηση, απαιτεί να παραμείνει το ορώμενο αντικείμενο μπροστά στο μάτι για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, γιατί στην περίπτωση της κίνησης το μάτι αντιλαμβάνεται ότι υπάρχει χρώμα, αλλά δε μπορεί να αντιληφθεί ποια είναι ακριβώς η φύση του χρώματος.

Ο Αλ Χαϊθάμ αντελήφθη επίσης ότι η επίδραση του φωτός και του χρώματος στο μάτι διατηρείται για ένα μικρό χρονικό διάστημα μετά που έχει διακοπεί η επίδραση τους και έδωσε παραδείγματα γι' αυτά.

Ο Αλ Χαϊθάμ παρατήρησε την κόπωση των ματιών. Αναφέρει ότι το δυνατό φως βλάπτει το μάτι, «βρίσκομε ότι αν κάποιος κοιτάξει ένα σώμα με καθαρό άσπρο χρώμα, όπου λάμπει το φως του Ήλιου και το παρατηρήσει πολύ ώρα, αν μετά στραφεί προς μια περιοχή με ασθενικό φως, τότε δε μπορεί να αντιληφθεί τα διάφορα αντικείμενα αυτής της περιοχής, είναι σαν να υπάρχει ένα κάλυμμα στα μάτια του, όμως σιγά - σιγά καθαρίζει η όραση και το μάτι επιστρέφει στην κανονική του κατάσταση(Ναζίφ σελ. 256)». Το όργανο της αίσθησης έχει κουραστεί με την επίδραση του έντονου φωτός και δεν αισθάνεται τα ασθενικά φώτα. Στην ίδια αιτία αποδίδει το γεγονός ότι τα δυνατά φώτα εμποδίζουν τον παρατηρητή να αντιληφθεί τα ασθενικά φώτα.

Τρόπος αντίληψης του σκότους

Ο Αλ Χαϊθάμ εκφράζει τη θεωρία του στην αντίληψη του σκότους. Λέγει ότι το σκοτάδι είναι η έλλειψη της αίσθησης του φωτός.

Σήμερα φαίνεται εύκολη η έννοια και πολλές φορές θεωρούμε ότι δεν αξίζει μια ιδιαίτερη μνεία. Όμως, όπως γνωρίζουμε, και σήμερα υπάρχει σύγχυση σ' αυτό το θέμα.

Ο τρόπος αντίληψης της απόστασης

Ο Αλ Χαϊθάμ δίνει δύο έννοιες που αφορούν τη λέξη «απόσταση (Αλ μπόοντ**البعد**)».

Η πρώτη είναι η απόσταση καθ' εαυτή, σύμφωνα με την έκφραση του «η απόσταση που είναι απόσταση» (*μπίμα χούα μπόοντ* **بما هو بعد**), για την οποία εννοεί ότι δεν υπάρχει επαφή, ή ότι υπάρχει απόλυτος διαχωρισμός μεταξύ δύο σωμάτων. Αυτή η έννοια δεν υπάρχει με την απλή αίσθηση αλλά αναπτύσσεται αρχικά με τη σύγκριση και τη διάκριση.

Η δεύτερη έννοια αφορά τον προσδιορισμό της απόστασης ή το μέγεθος της και ανήκει στο είδος της ποσότητας, ενώ η πρώτη έννοια είναι τοπολογική. Η πρώτη έννοια γίνεται αντιληπτή για κάθε ορατό αντικείμενο, και επιβεβαιώνεται σε κάθε περίπτωση, ενώ η δεύτερη έννοια δεν αληθεύει σε κάθε περίπτωση. Η βασική σκέψη του Αλ Χαϊθάμ είναι ότι ο άνθρωπος δε μπορεί να αντιληφθεί την ποσότητα της απόστασης αν δεν υπάρχουν μεταξύ του ματιού του και του σώματος ενδιάμεσα σώματα που υποδεικνύουν με τη θέση τους την ποσότητα της απόστασης.



Εικόνα 6: Πείραμα για την απόδειξη της ανάγκης ύπαρξης ενδιάμεσου σώματος

Κάνει ένα πείραμα για να δείξει την ανάγκη του ενδιάμεσου σώματος. Ο πειραματιστής κάνει μια στενή τρύπα σε ένα τοίχο ενός σπιτιού πίσω από το οποίο υπάρχει κενός χώρος που δεν τον έχει παρατηρήσει προηγουμένως. Σ' αυτόν τον κενό χώρο υπάρχουν δύο παράλληλοι τοίχοι που είναι ένα-ντι της οπής, ο ένας πιο κοντά και ο άλλος πιο μακριά. Ο κοντινός καλύπτει τμήμα του μακρινού, όμως η οπή είναι ψηλότερα από το έδαφος έτσι που ο πειραματιστής να μη μπορεί να δει το έδαφος. Όταν παρατηρεί από την οπή βλέπει τους 2 τοίχους ταυτόχρονα και δεν μπορεί να αντιληφθεί την απόσταση μεταξύ τους. Ακόμη και αν ο κοντινός έχει

πολύ διαφορετική απόσταση από τον μακρινό και αν η απόσταση τους είναι πολύ μεγάλη, θεωρεί ότι εφάπτονται και, αν το χρώμα τους είναι το ίδιο, θεωρεί ότι είναι ένας (εικόνα 6).

Ένα άλλο πείραμα είναι το εξής: Αν κάποιος βλέπει δύο κατακόρυφους στύλους, και υπάρχει απόσταση μεταξύ τους αλλά ο ένας καλύπτει μερικά τον δεύτερο και το έδαφος μεταξύ τους δε φαίνεται γιατί ο κοντινός το καλύπτει, ο παρατηρητής τους βλέπει σε ίση απόσταση. Αν φύγει από τη θέση του και δει το έδαφος τότε αντιλαμβάνεται την απόσταση τους.

Μέτριες και μη μέτριες αποστάσεις

Η αντίληψη της απόστασης έχει δύο πλευρές. «Είτε τα σώματα είναι πολύ κοντά ή πολύ μακριά (μη μέτριες αποστάσεις)» είτε σε μια «μέτρια απόσταση». Η μέτρια απόσταση είναι όταν ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται το αντικείμενο σωστά, ενώ η μη μέτρια «όταν γίνεται αμφίβολη η εικόνα του αντικειμένου και κρύβονται τα μικρά του τμήματα και τα λεπτά χαρακτηριστικά που έχει, γίνεται θολό και όχι καλά διακριτό». Η μέτρια απόσταση δεν είναι ορισμένη, αλλά υπάρχουν όρια γι' αυτήν. Σήμερα βέβαια ξέρουμε ότι το μάτι δε μπορεί να προσαρμοστεί. Για τις μεγάλες αποστάσεις γνωρίζουμε ότι υπάρχει το όριο της διακριτικότητας (που είναι περίπου ένα λεπτό της μοίρας για δύο σημεία) και ονομάζεται οπτική οξύτητα.

Αν η απόσταση είναι μέτρια, τότε έχουμε μια σωστή αντίληψη, και τα ενδιάμεσα σώματα τα αντιλαμβανόμαστε σωστά αν δεν είναι υπερβολικά κοντά, οπότε και οι αποστάσεις των άκρων τους εκτιμώνται σωστά.

Για τα σώματα που δεν έχουν ίσες κατά προσέγγιση αποστάσεις από τον παρατηρητή, τότε το μέγιστο που μπορεί να κάνει η δύναμη διάκρισης είναι να κάνει μια εικασία και να συγκρίνει την απόστασή τους με την απόσταση κάποιου άλλου σώματος που είχε παρατηρήσει στο παρελθόν. Σε τέτοια περίπτωση μπορεί να πετύχει στην εικασία του αλλά πολλές φορές σφάλλει.

Μονάδες μέτρησης αποστάσεων

Σωστή διάκριση της απόστασης δε σημαίνει ότι ο παρατηρητής θα δώσει μέτρηση σε μια δεδομένη μονάδα όπως τον πήχη (*dirāʿ ذراع*) και την παλάμη (*shibr شبر*). Βλέπει ότι οι μονάδες που χρησιμοποιεί όπως ο πήχης, το πόδι, η παλάμη αποκτούν με την επανάληψη και την επαφή μια εικόνα στο μυαλό που δίνει τα όρια της μονάδας αυτής στο νου. Έτσι οι άνθρωποι λένε «ανάμεσα σε μένα και στον τάδε είναι δέκα βήματα ή πέντε βήματα ή τόσοι πήχεις ή τόσα ριξίματα ή τόσα μαστίγια αλόγου ή τόσα ριξίματα βέλους (Ναζίφ σελ. 262)» χωρίς στην πραγματικότητα να κάνει μια πραγματική μέτρηση.

Η κίνηση του ματιού στις εκτιμήσεις των αποστάσεων

Μια άλλη σκέψη πάνω στην οποία στέκεται, είναι η κίνηση του ματιού προς στα διάφορα τμήματα της γης, ή στην εκτίμηση των αποστάσεων μεταξύ των ενδιά-μεσων σωμάτων. «Ο παρατηρητής που αντιλαμβάνεται κάτι ορατό που βρίσκεται στη Γη (επί του προσώπου της γης) και θέλει να επιβεβαιώσει την απόσταση του, παρατηρεί τα ενδιάμεσα τμήματα της γης που βρίσκονται μεταξύ του και μεταξύ του σώματος και κινεί το βλέμμα του κατά μήκος του ενδιάμεσου αυτού τμήματος. Αν κινηθεί το βλέμμα του σε όλο το μήκος της γης, κινείται και ο άξονας των ακτινών που βρίσκονται σ' αυτό το τμήμα, και σαρώνει την επιφάνεια, και το αντιλαμβάνεται τμηματικά, έτσι έχει την αίσθηση των μικρών του τμημάτων, αν η απόσταση είναι μέτρια (Ναζίφ σελ. 263)».

Τρόπος αντίληψης της θέσης

Ο Αλ Χαϊθάμ χωρίζει το θέμα σε τρία μέρη.

- Α. Η θέση του ορώμενου στο σύνολο ή κατά τμήμα σε σχέση με το μάτι. Για το μέρος αυτό ο Αλ Χαϊθάμ χρησιμοποιεί τον όρο το «απέναντι (*Μονκάμυλα مقابلَة*)».
- Β. Η θέση των τμημάτων του ορατού αντικειμένου το ένα προς το άλλο.
- Γ. Η θέση της επιφάνειας του αντικειμένου που είναι απέναντι από το μάτι σε σχέση με το μάτι.

Α. Παράγοντες για εκτίμηση της θέσης του «απέναντι»

Η θέση του αντικειμένου εξαρτάται από δύο παράγοντες: α) την απόσταση β) τη διεύθυνση της θέσης. Αυτό που έχει προηγηθεί είναι η εξήγηση της γνώμης του ότι η απόσταση που θεωρεί είναι αυτή που αντιλαμβάνεται πρώτα με τη σύγκριση και τη διάκριση και μετά με τη γνώση, ενώ τον τρόπο της αντίληψης της διεύθυνσης τον εξετάζει από φυσική πλευρά. Το κρυσταλλοειδές υγρό κατά την άποψη του είναι εξειδικευμένο στην αίσθηση του φωτός που κινείται σε καθέτους διευθύνσεις προς την επιφάνεια του κρυσταλλοειδούς. Γι' αυτό το μάτι δεν αντιλαμβάνεται το ορατό παρά μόνο όταν είναι προσανατολισμένο προς την κατεύθυνση που εκτείνονται αυτές οι ευθείες, αν πετύχει αυτή την κατεύθυνση τότε μπορεί η διακριτική δύναμη να την αντιληφθεί και επιπρόσθετα τις άλλες κατευθύνσεις.

Β. Θέση αντικειμένων το ένα ως προς το άλλο

Όσον αφορά τη θέση των αντικειμένων το ένα σε σχέση με το άλλο, ή τη θέση των τμημάτων του ίδιου αντικειμένου το ένα σε σχέση με το άλλο, και σ' αυτή την περίπτωση έχουμε δύο πλευρές: η πρώτη αφορά τη θέση κατά πλάτος των ακτινών: καταλαβαίνουμε τη διαφορά στη θέση από τις εικόνες (είδωλα) των αντικειμένων που φτάνουν στο μάτι. Διακρίνουμε αν είναι δεξιά, αριστερά, πάνω ή κάτω με τη διαφορά των θέσεων των ειδώλων. Η αντίληψη της διάταξης των τμημάτων του σώματος και των χρωμάτων των διαφόρων τμημάτων ανήκει σ' αυτό το είδος της αναγνώρισης. Η δεύτερη πλευρά αφορά την αντίληψη των βαθουλωμάτων και προεξοχών που έχει ένα αντικείμενο και αυτό ανήκει στην αντίληψη της απόστασης.

Γ. Αντίληψη της θέσης των επιφανειών

Ο Αλ Χαϊθάμ δίνει την ίδια εξήγηση για τον τρόπον αντίληψης της θέσης των επιφανειών του σώματος είτε η επιφάνεια είναι κεκλιμένη είτε παράλληλη προς τον παρατηρητή. Λέγει «η επιφάνεια είναι απέναντι (παράλληλη προς παρατηρητή) όταν ο άξονας των ακτινών συναντά ένα σημείο της επιφάνειας και είναι αρμονικά κάθετος στην επιφάνεια.

Η βασική σκέψη του Αλ Χαϊθάμ είναι ότι η αντίληψη της κλίσης των επιφανειών και των ευθειών ή της περίπτωσης που είναι «απέναντι» βρίσκεται στην εύρεση της διαφοράς των αποστάσεων των άκρων των επιφανειών ή των ευθειών ή της ισότητας των από το μάτι. Θεωρεί ότι αν ένας άνθρωπος αντιληφθεί μια ευθεία και παρατηρήσει ένα σημείο που βρίσκεται πάνω της και μετά αντιληφθεί ότι υπάρχουν άλλα δύο σημεία σε ίση απόσταση από το μάτι με την απόσταση του αρχικού σημείου, τότε αυτή η γραμμή είναι απέναντι. Θα είναι απέναντι στο άκρον άωτον (*في الغاية* *αλ γάια*), αν το σημείο που παρατηρούμε και που συναντά το «βέλος» των ακτινών προς την ευθεία, είναι το μέσο της ευθείας.

Τρόπος αντίληψης του τρισδιάστατου σώματος (Αλ Ταγκάσουμ **التجسم**)

Ο Πτολεμαίος είχε κάνει μια αναπαράσταση για την αντίληψη του ανάγλυφου που όμως δεν είχε ξεπεράσει την κοινή εμπειρία. Λέγει: διακρίνουμε πολύ καλά τις διαφορές σε βάθος των διαφόρων επιπέδων. Θέτει αμέσως την εξήγηση: έχουμε συνείδηση του μήκους των ακτινών που συναντούν το αντικείμενο.

Ο Αλ Χαϊθάμ βάσισε την αντίληψη του τρισδιάστατου αντικειμένου, στην αντίληψη των θέσεων των διαφόρων τμημάτων του ενός προς το άλλο. Η βάση για αυτό εξαρτάται από τη διαφορά των θέσεων των ειδώλων αυτών των τμημάτων στο μάτι.

Η αντίληψη του ματιού για την έκταση του αντικειμένου στην τρίτη διάσταση εξαρτάται από διάφορες καταστάσεις. Το σώμα περιβάλλεται από διάφορες επιφάνειες που είναι τεμνόμενες, αν κάποια από αυτές τις επιφάνειες είναι επίπεδη και είναι «απέναντι» στο μάτι στο άκρο άωτο, οι άλλες επιφάνειες είναι είτε κάθετες προς την απέναντι είτε έχουν κλίση προς αυτή και δίνουν ένα στένεμα προς τα πίσω, τότε δεν αντιλαμβάνεται

το μάτι την έκταση του σώματος στην διεύθυνση του βάθους ή στη διεύθυνση των ευθειών των ακτινών.

Τρόπος αντίληψης του σχήματος

Το σχήμα (μορφή) για τον Πτολεμαίο είναι κάτι ξεχωριστό από τον εντοπισμό του σώματος στο χώρο. Ο Πτολεμαίος δίνει στο σχήμα (μορφή) μια «*ποιοτική δομή*», δεν είναι η μορφή το άθροισμα των θέσεων, αλλά υπάρχει κάποια τάξη και κάποιες σχέσεις π.χ. θεωρεί δύο βασικά είδη γραμμών: ευθείες και κύκλους και εφαρμόζει ότι αντιλαμβανόμαστε κάτι ως ευθεία όταν είναι η ελάχιστη γραμμή που συνδέει δύο σημεία και ως κύκλο όταν όλα τα σημεία της περιφέρειας έχουν ίσες γωνίες όρασης με το κέντρο.

Η αντίληψη των ομογενών επιφανειών γίνεται σε μια αντίληψη ενός συνόλου από γραμμές: αν μια επιφάνεια είναι επίπεδη τότε σε όλη τη βάση πέφτουν ακτίνες που προσαρμόζονται σε κάθε περίπτωση προς ευθείες, σφαιρική όταν οι ακτίνες προσαρμόζονται σε κυκλικά τόξα.

Πιο σημαντικό είναι εκεί που δίνει τη βάση για αντίληψη του ανάγλυφου: μια επιφάνεια μας φαίνεται κοίλη όταν ο λόγος (των μηκών) της κάθετης ακτίνας όρασης στο κέντρο προς τις πλάγιες ακτίνες όρασης είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο λόγο σε επίπεδη επιφάνεια, για κυρτές επιφάνειες έχουμε το αντίστροφο.

Ο Αλ Χαϊθάμ για το σχήμα έχει δύο απόψεις. Σύμφωνα με την πρώτη «το σχήμα της περιφέρειας του αντικειμένου», ή την περιφέρεια τμήματος της επιφάνειας, θεωρεί ότι την αντιλαμβάνεται από τη διαφορά στη σχέση των ειδώλων των σημείων αυτής της περιφέρειας όπως συμβαίνει και με την αντίληψη στη θέση. Σύμφωνα με τη δεύτερη άποψη «το σχήμα του τρισδιάστατου σώματος του αντικειμένου» ή ενός τμήματος του, θεωρεί ότι το αντιλαμβάνεται από την αντίληψη των τμημάτων της επιφάνειας σε σχέση με το μάτι ή των θέσεων του ενός τμήματος σε σχέση με το άλλο πάνω στις ευθείες των ακτίνων που βοηθούν στην αντίληψη της θέσης και του τρισδιάστατου.

Τρόπος αντίληψης του μεγέθους.

Πριν από τον Αλ Χαϊθάμ ο Πτολεμαίος ερεύνησε την αντίληψη του μεγέθους. Το μέγεθος που αντιλαμβανόμαστε με την όραση δεν είναι το ίδιο με αυτό που δίνει η αφή. Το ανάγλυφο δεν ενδιαφέρει, αυτό που ενδιαφέρει είναι η *φαινόμενη διάμετρος*. Ο Πτολεμαίος αφαιρεί το συγκεκριμένο μέγεθος και η έννοια που δίνει (*magnitudo*) δεν έχει αξία παρά μόνο για την όραση.

Δεν έχει σημασία πόσες ακτίνες κόβει το αντικείμενο, αλλά η γωνία που εξαρτάται από την απόσταση και από την κατεύθυνση (αν είναι κάθετο ή πλάγιο προς άξο-να), όμως τα γωνιακά δεδομένα του κώνου δεν είναι ποτέ μεμονωμένα. Δεν γίνονται δεκτές οι πληροφορίες από τις γωνίες όπως είναι. Από τις γνώσεις που έχουμε υπολογίζουμε τα αποτελέσματα της απομάκρυνσης και της κλίσης στο φαινόμενο μέγεθος, και έτσι τελικά «αποκαθιστούμε» το πραγματικό του μέγεθος.

Ο Πτολεμαίος συγκεκριμενοποίησε αυτή τη διορθωτική κρίση με μια σειρά θεωρημάτων στα οποία εξετάζει ποιο αντικείμενο (ευθεία) φαίνεται πιο μεγάλο όταν οι 3 συνιστώσες της κρίσης του μεγέθους (γωνία, απόσταση, κατεύθυνση), μεταβάλλονται (Lejeune, 1948).

Για τον Αλ Χαϊθάμ η αντίληψη του μεγέθους «είναι από τις περίπλοκες έννοιες (Αλ μανά αλ μουλτάμπσα **المعاني المتبسة**)». Η αντιμετώπιση του γινόταν μέχρι τότε σύμφωνα με τον Ευκλείδη, που ακολουθούσαν οι οπαδοί της θεωρίας της εκπομπής. Σύμφωνα μ' αυτήν, η αντίληψη του μεγέθους στηρίζεται στην γωνία με την οποία διατέμνει προς το κέντρο της όρασης, σύμφωνα με την άποψη του Αλ Χαϊθάμ ή το κομβικό σημείο σύμφωνα με τη σύγχρονη άποψη. Ο Αλ Χαϊθάμ ερεύνησε το θέμα, και έδειξε ότι η γωνία μόνη δεν αρκεί για την αντίληψη του μεγέθους. Απαιτείται ταυτόχρονα η αντίληψη της απόστασης.

Για να το εξηγήσει δίνει παραδείγματα από την καθημερινή ζωή: Αν κάποιος κοιτάξει ένα τοίχο σε μια μέτρια απόσταση και σηκώσει το χέρι του και καλύψει ένα τμήμα του τοίχου, παρόλο που το καλυμμένο τμήμα και το χέρι του τέμνουν ίση γωνία, αντιλαμβάνεται το τμήμα του τοίχου ως μεγαλύτερο.

Για την απόσταση υπάρχει και μια άλλη σύνδεση με το μέγεθος. Αν ο άνθρωπος παρατηρεί δύο αντικείμενα σε ίση απόσταση και αν η γωνία που διατέμνουν στο μάτι είναι ίση, τότε αν αντιληφθεί ότι το ένα σώμα έχει κλίση τότε αντιλαμβάνεται ότι είναι μεγαλύτερο. Η αντίληψη της κλίσης ανήκει στην κατηγορία της αντίληψης της θέσης.

Τρόπος αισθητικής αντίληψης της ομορφιάς

Για αυτήν υπάρχουν δύο θέματα: Πρώτα είναι η μερική και δεύτερον η ολική. Δίνει διάφορα παραδείγματα. Το χρώμα, το φως επηρεάζουν το κατά πόσο βλέπουμε κάτι σαν ωραίο. Μέσα στην αντίληψη αυτή συμβάλουν η κατανομή των σκιών καθώς και η αντίληψη της θέσης. Επίσης η απόσταση στην οποία παρατηρούμε κάτι μεταβάλλει την αντίληψη του κατά πόσο βλέπουμε κάτι σαν ωραίο. Για παράδειγμα οι διάφορες ανωμαλίες εξαφανίζονται αν δούμε ένα αντικείμενο από αρκετά μεγάλη απόσταση, οπότε δε φαίνονται τα ελαττώματα. Από την άλλη αν σε μια εικόνα υπάρχουν λεπτά χαρακτηριστικά, τότε η ελάττωση της απόστασης τα κάνει διακριτά και αυξάνει η ωραιότητα της όπως στην περίπτωση των αγαλμάτων. Στην αντίληψη της ωραιότητας συμβάλλουν επίσης το σχήμα, η διάκριση, το πλησίασμα, η κίνηση, η ηρεμία και οι άλλες έννοιες.

Λεπτομέρειες των απόψεων του για την αίσθηση της όρασης

Ο Αλ Χαϊθάμ ξεχωρίζει την αντίληψη από την αίσθηση.

Για να αντιληφθεί ο παρατηρητής τις μερικές έννοιες από τις οποίες αποτελείται η εικόνα πρέπει να αντιληφθεί την εικόνα. Πρώτα να δει το όλο. Η αντίληψη των διαφόρων εννοιών και η διάκριση της μιας από την άλλη, γίνεται με αφαίρεση από την ολική εικόνα.

Αυθόρμητη αντίληψη και αντίληψη με συλλογισμό

Για το λόγο αυτό, ο Αλ Χαϊθάμ χωρίζει την αντίληψη σε δύο βασικά τμήματα. Το ένα ασχολείται με την ανάλυση, την αναζήτηση, την αντίληψη των χωριστών εννοιών και τη διάκριση τους, το άλλο δε συνδέεται μ' αυτές. Ονομάζει την πιο απλή «αυθόρμητη αντίληψη (*Ιντράκ μπιαλ μπαντίχα إدراك بالبدية*)» ενώ η δεύτερη ονομάζεται «αντίληψη με θεώρηση - συλλογισμό (*ιντράκ μπιαλ ταάμουλ إدراك بالتأمل*)».

Η αυθόρμητη αντίληψη μπορεί να είναι είτε απλή είτε με γνώση. Το ίδιο συμβαίνει και στην αντίληψη με θεώρηση.

Αντίληψη και προσοχή

Ο Αλ Χαϊθάμ μας δίνει την αντίληψη με θεώρηση ως μια αντίληψη που συνδέεται με την έννοια της προσοχής. Η απλή αυθόρμητη αντίληψη δεν ισούται για τον Αλ Χαϊθάμ με την αίσθηση. Η αίσθηση συνδέεται με το φως και το χρώμα. Εδώ αναφέρεται σε αισθήματα που όμως καθορίζονται από κάτι το εσωτερικό. Αυτό μπορούμε σήμερα να το εκφράσουμε με την έννοια της «επίγνωσης». Στην περίπτωση της αυθόρμητης αντίληψης με γνώση ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται γρήγορα το αντικείμενο από κάποιο σημείο ή ορισμένα σημεία.

Αντίληψη με θεώρηση όταν υπάρχει γνώση

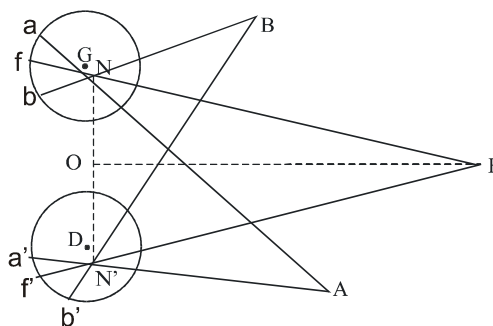
Στη συνέχεια δίνει ανάλυση της αντίληψης όταν υπάρχει γνώση. «Αν το μάτι αντιληφθεί ένα αντικείμενο που το έχει ξαναδεί, ή έχει δει κάτι από το είδος του, τότε αν στην κατάσταση της παρατήρησης αυτού του ορώμενου αντιλαμβάνεται ολόκληρη την εικόνα με αυθόρμητη αντίληψη, και με ευκολία κάνει θεώρηση για τη μορφή αυτού που αντελήφθηκε (Ναζίφ σελ. 291)». Δηλ. στην αρχή η αντίληψη γίνεται αυθόρμητα.

3-Η διοφθαλμική όραση

Πρώτη προσέγγιση του Πτολεμαίου

Σύγχρονη θέση του προβλήματος.

Ο Lejeune (1948) στο έργο του για τον Πτολεμαίο αναφέρει τα εξής στοιχεία για τη γεωμετρία της διοφθαλμικής όρασης: όταν παρατηρούμε ένα σημείο προς το οποίο εστιάζουμε την προσοχή μας και ταυτόχρονα πολλά άλλα μαζί, τότε το πρώτο σημείο φαίνεται μονό, τα πιο πολλά από τα άλλα σημεία φαίνονται και αυτά μονά (απλά) ενώ μερικά φαίνονται διπλά. Βγάζουμε την ακόλουθη υπόθεση: σε κάθε στοιχείο του κάθε αμφιβληστροειδούς αντιστοιχεί ένα



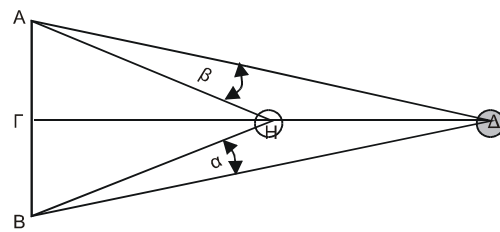
Εικόνα 7: Γεωμετρία της διοφθαλμικής όρασης κατά τον Lejeune

στοιχείο του άλλου αμφιβληστροειδούς όταν τα δύο αυτά στοιχεία συνδέονται στο ίδιο εγκεφαλικό κέντρο. Αν διεγερθούν δύο διαφορετικά κέντρα τότε έχουμε την αίσθηση διαφορετικών σημείων.

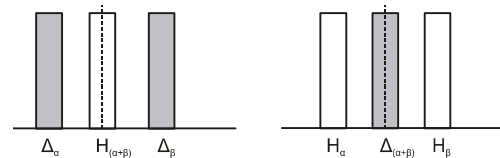
Στην εικόνα 7 το σημείο στο οποίο εστιάζεται η προσοχή είναι το F. Αν το σημείο A φαίνεται απλό (μονό) τότε τα είδωλα του A: a, a' στους δύο αμφιβληστροειδείς ονομάζονται αντίστοιχα και οι ευθείες NA, N'A ονομάζονται αντίστοιχες.

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων όπου τα σημεία φαίνονται ταυτόχρονα απλά ονομάζεται *ορόπτερος* και μεταβάλλεται με το σημείο που παρατηρούμε σταθερά. Σύμφωνα με τον Nicholas Wade ο όρος *ορόπτερος* εισήχθη από τον μελετητή Aguilinius το 1613 στο έργο του *Opticorum Libri Sex. Philosophis juxta ac Mathematicis utiles*.

Το πρόβλημα στους αρχαίους



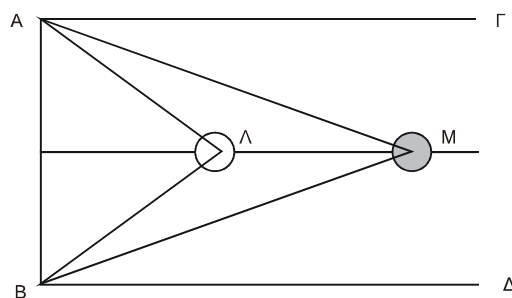
Εικόνα 8: Το βασικό πείραμα



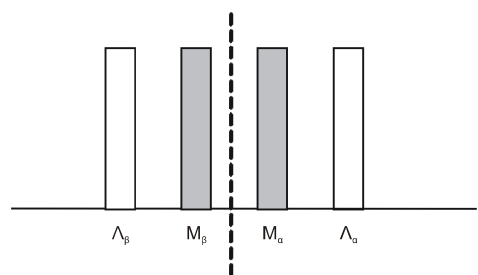
Εικόνα 9: Ανάλογα με τον κύλινδρο στον οποίο εστιάζουμε την προσοχή ο άλλος φαίνεται διπλός

Πτολεμαίου. Υπάρχει το βιβλίο του Ήρωνα σχετικά με τη χρήση της διόπτρας με λεπτομερή περιγραφή της κατασκευής και χρήσης. Ο Πτολεμαίος έδωσε αξιοσημείωτα πειράματα από τα οποία εξήγαγε «θεωρήματα».

Χωρίζει την έκθεση του σε δύο μέρη: στο βιβλίο II και στο βιβλίο III.



Εικόνα 10: Εστίαση στο άπειρο (ευθείες ΑΓ, ΒΔ)



Στην διοφθαλμική όραση κάθε σημείο προβάλλεται σε δύο διευθύνσεις που συγκλίνουν σε ένα σημείο.

Οι Αρχαίοι, είχαν αναπτύξει τις αστρονομικές και τις γεωδαιτικές μετρήσεις. Αν ένας παρατηρητής έχει δύο σημεία αναφοράς και ξεχάσει να κλείσει το ένα μάτι, βρίσκει τότε να έχει διπλωπία, που είναι το πρώτο πείραμα του Πτολεμαίου. Ο κανόνας με κυλίνδρους του Πτολεμαίου δεν είναι παρά μία *διόπτρα* που χρησιμοποίησε ο Αρχιμήδης για να μετρήσει τη φαινόμενη διάμετρο του Ηλίου. Τέτοιου είδους εργαλεία είχαν εξαπλωθεί την εποχή του

Το βασικό πείραμα

α. Συνθήκες:

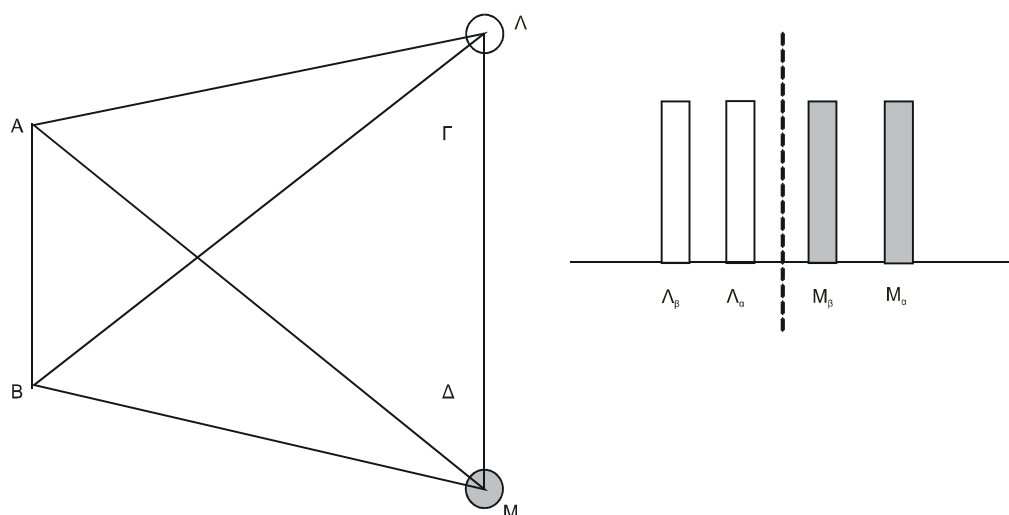
Ένας κοντ ός κανόνας έχει δύο κυλίνδρους κατακόρυφους και λεπτούς, και αυτοί βρίσκονται σε μια όχι και πολύ μεγάλη απόσταση από τα άκρα του κανόνα. Τοποθετείται κατακόρυφα προς τη γραμμή που συνδέει τα μάτια ΑΒ στο μέσο της (εικόνα 8).

β. Γεγονότα:

1η περίπτωση: Κοιτάζουμε σταθερά τον πιο κοντινό κύλινδρο Η. Ενώ αυτός φαίνεται απλός ο Δ φαίνεται διπλός.

Κλείνουμε ένα μάτι και εξαφανίζεται η εικόνα του διπλού κυλίνδρου που βρίσκεται από την ίδια πλευρά με αυτό το μάτι.

2η περίπτωση: Παρατηρούμε σταθερά τον πιο απομακρυσμένο κύλινδρο, αυτός φαίνεται απλός ενώ ο Η φαίνεται διπλός και από τα δύο μέρη (εικόνα 9).

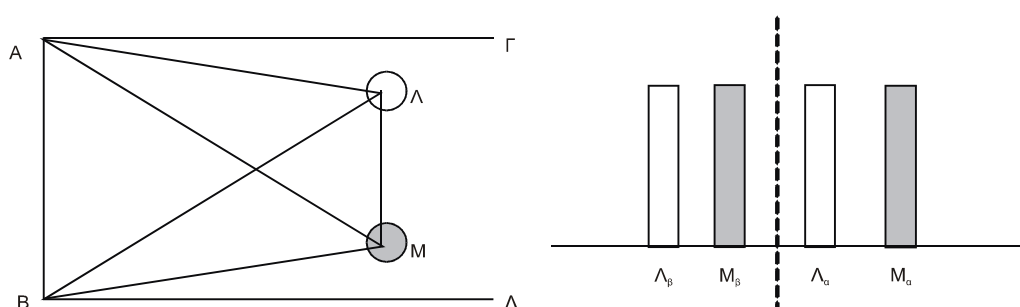


Εικόνα 11

Αυτό το πείραμα έμεινε κλασσικό. Είναι η πιο εύκολη παρατήρηση διπλών ειδώλων.

Ο Πτολεμαίος δεν αναφέρει σε ποιες αποστάσεις εμφανίζονται τα είδωλα, ζήτημα που αντιμετωπίζεται σε μια επόμενη προσέγγιση.

Ο Πτολεμαίος παρουσιάζει διάφορες παραλλαγές του προηγούμενου πειράματος. Με τα πειράματα αυτά προσπαθεί να βρει τη σχέση μεταξύ των σημείων στα οποία προσηλώνεται το βλέμμα και της εμφάνισης διπλού σημείου.

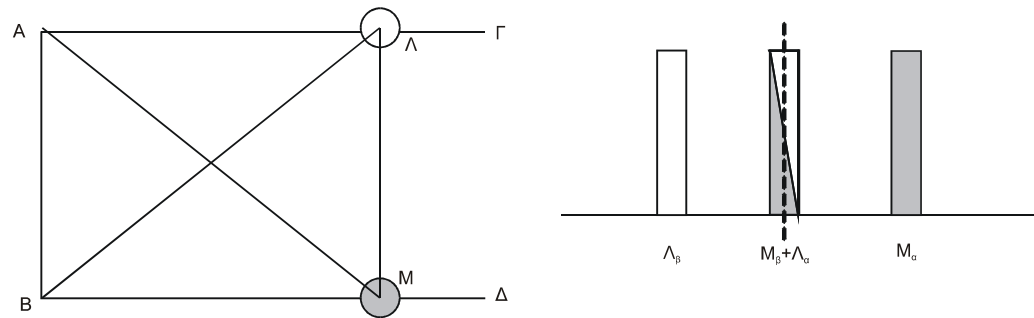


Εικόνα 12

Στα επόμενα πειράματα (εικόνες 10, 11, 12) το σημείο που προσηλώνεται η προσοχή είναι το άπειρο. Δίπλα δείχνονται οι διευθύνσεις στις οποίες εμφανίζεται το μαύρο σώμα και το άσπρο.

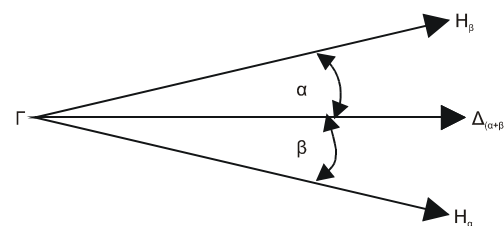
Το σχήμα δείχνει τις διευθύνσεις στις οποίες παρατηρούνται τα διπλά είδωλα. Π.χ. με Λ_β παριστάνεται το είδωλο του λευκού κυλίνδρου από το μάτι B.

Στο ακόλουθο πείραμα (εικόνα 11) έχουμε μια παρόμοια διάταξη μόνο που τώρα οι κύλινδροι έχουν τοποθετηθεί παράλληλα προς την ευθεία



Εικόνα 13

ΑΒ των ματιών και απέχουν περισσότερο από όσο απέχουν τα μάτια.

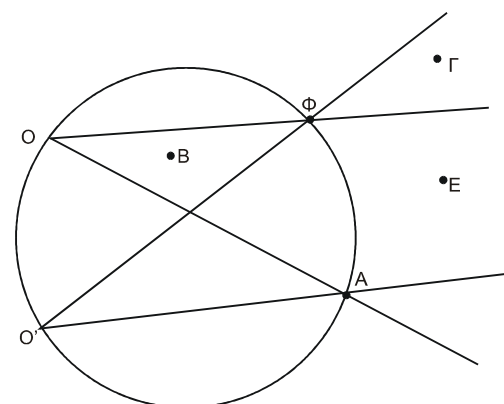


Εικόνα 14

Το δεξιό μάτι B καταγράφει με τη ΒΜ ένα είδωλο του κυλίνδρου που είναι πιο αριστερά από το είδωλο του αριστερού ματιού με την ΑΜ. Αυτό φαίνεται από τις κλίσεις των δύο ακτίνων.

Το επόμενο πείραμα (εικόνα 12) είναι παρόμοιο με το προηγούμενο αλλά τώρα οι κύλινδροι απέχουν λιγότερο από όσο απέχουν τα μάτια:

Στην οριακή περίπτωση που έχουμε τα Λ και Μ πάνω στις ευθείες ΑΓ και ΒΔ, εμφανίζονται δύο είδωλα (Λ_β και M_α) ενώ τα M_β και Λ_α συνενώνονται (εικόνα 13).



Φ: σημείο εστίασης
Αν Α επί της περιφέρειας ΟΡΟ' τότε οι ΟΑ και ΟΑ' είναι αντίστοιχες διότι η γωνία ΟΑΟ' είναι ίση με την γωνία ΟΦΟ' και οι ακτίνες βρίσκονται στην ίδια πλευρά των αξόνων, άρα η περιφέρεια είναι "ορόπτερος"

Εικόνα 15:
Κύκλος των Vieth και Müller

Ο Πτολεμαίος έδωσε μια σύνθεση για αυτά τα πειράματα που σε πιο πέρα ανάλυση την ανέτρεψε: αν το αντικείμενο τέμνει αντίστοιχες ακτίνες τότε το είδωλο είναι απλό, αν το αντικείμενο τέμνει μη αντίστοιχες ακτίνες τότε είναι διπλό. Ως αντίστοιχες ακτίνες ορίζει τις ακτίνες που είναι «όμοιες» ως προ τη θέση των αξόνων τους. Δύο ακτίνες θα είναι μη αντίστοιχες αν η μία είναι περισσότερο δεξιά ή περισσότερο αριστερά από την άλλη ή αν δεν είναι από την ίδια μεριά του άξονα.

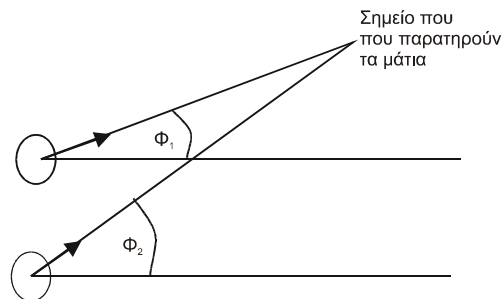
Στην διόφθαλμη όραση οι άξονες που είναι η βάση για την

αντιστοιχία των δύο κώνων όρασης, συνενώνουν τις αισθήσεις τους πάνω στη μεσοκάθετο προς στη γραμμή που συνδέει τα δύο μάτια. Οι άλλες ακτίνες προβάλλουν τα άλλα αντικείμενα που συναντούν δεξιά ή αριστερά από το αντικείμενο στο οποίο εστιάζεται η προσοχή. Όλα τα διπλά είδωλα φαίνονται σαν να αναφέρονται προς μία κοινή διεύθυνση των δύο κώνων που έχει βάση το σημείο που η μεσαία γραμμή συναντά την ευθεία των δύο ματιών. Το σημείο το οποίο προσέχουμε φαίνεται να βρίσκεται πάνω στη μεσαία γραμμή.

Αυτό θα εξηγηθεί με βάση το βασικό πείραμα σύμφωνα με την εικόνα 8.

Το αντικείμενο Η διακόπτει την ακτίνα ΑΗ του αριστερού ματιού και την ακτίνα ΒΗ του δεξιού ματιού. Η διόφθαλμη συνένωση των ειδώλων συνίσταται στο να φαίνεται ως να συνενώνονται οι κορυφές των αξόνων πάνω στο σημείο Γ. Η αναπαράσταση που δίνουν φαίνεται στο επόμενο σχήμα (εικόνα 14).

Σύμφωνα με το Lejeune (1948) η ορόπιερος θα είναι κυκλική. Ο Nicholas Wade αναφέρει ότι η ανακάλυψη αυτή οφείλεται στους Bell (1803) και Prevost. Αργότερα επαναανακαλύφθηκε από τους Vieth και αργότερα από τον Möller (εικόνα 15).



Εικόνα 16

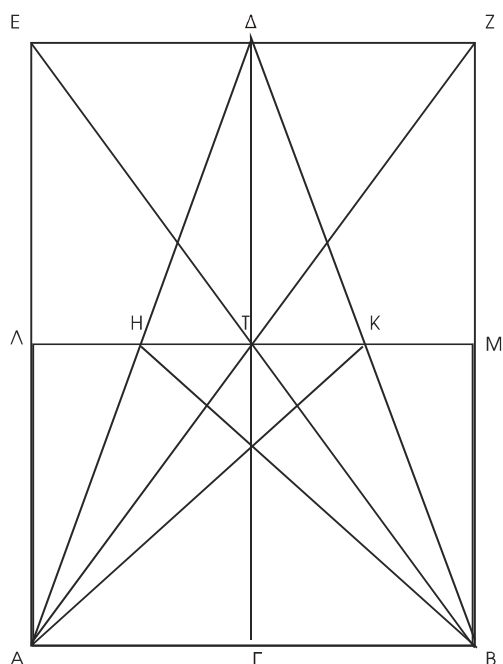
Τα άλλα σημεία του επιπέδου είτε θα τέμνουν ακτίνες που βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές του άξονα (όπως τα Β και Γ) ή θα είναι στην ίδια πλευρά του άξονα αλλά θα κάνουν διαφορετικές γωνίες (όπως το Ε στην εικόνα 15).

Η Δεύτερη προσέγγιση του Πτολεμαίου

Σ' αυτή την προσέγγιση ο Πτολεμαίος προσφέρει άλλα πειράματα.

Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι καθώς στρέφονται τα μάτια για να παρατηρήσουν ένα αντικείμενο, οι γωνίες που διαγράφουν οι άξονες τους δεν είναι οι ίδιες. Για να μελετήσει την στερεοσκοπική παρατήρηση κάνει το ακόλουθο πείραμα.

Η διάμεση ευθεία ΓΔ (εικόνα 17), είναι μεσοκάθετος στην ευθεία που συνδέει τα δύο μάτια ΑΒ. Αν το σημείο Δ είναι το σημείο προς το οποίο εστιάζουμε την προσοχή μας, τότε πάνω στην ευθεία ΕΔΖ

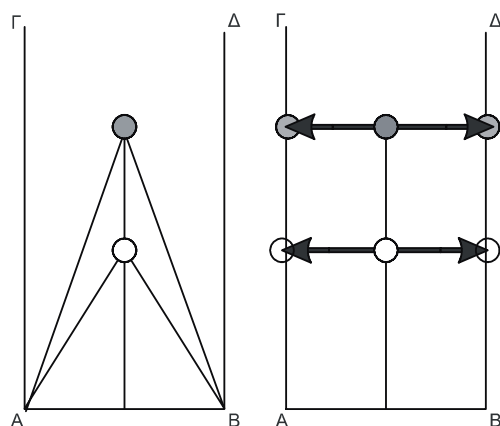


Εικόνα 17

(μετωπική ευθεία του σημείου εστίασης προσοχής) όλα τα σημεία θα φαίνονται απλά.

Ένα αντικείμενο που έχει τοποθετηθεί στο T δίνει δύο ειδώλα, τα H και K. Δύο αντικείμενα που τοποθετούνται στην ευθεία HK στα H και K δίνουν ένα κοινό είδωλο στο T, το H δίνει ακόμη ένα είδωλο που εμφανίζεται στο Λ και το K εμφανίζεται στο Μ. Η απόσταση $\Lambda T = HK = TM$. Αν αντί για το Δ εστιάσουμε την προσοχή μας στο T, τότε αυτό δίνει δύο ειδώλα, ένα στο Ε και ένα στο Ζ

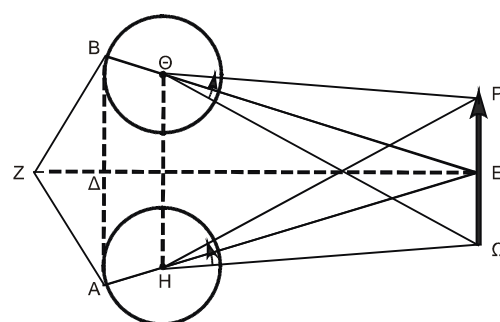
Το πείραμα του Πτολεμαίου φαίνεται να προβλέπει με ακρίβεια τις θέσεις των ειδώλων για τα H και K. Όπως παρατηρεί ο Lejeune είναι αδύνατο να μετρηθούν οι αποστάσεις αυτές. Αυτό αποτελεί ένα παράδειγμα «μέτρησης» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αναλογικά στη διδασκαλία της Κβαντομηχανικής. Εδώ ο παρατηρητής προσπαθώντας να μετρήσει με περισσότερη ακρίβεια τις θέσεις των ειδώλων τα χάνει γιατί απλούστατα αυτά παρατηρούνται αν δεν εστιάζεται η προσοχή του πάνω τους. Το ότι η ορόπτερος είναι ευθεία και όχι τμήμα κύκλου των Vieth και Möller δεν αντιβαίνει



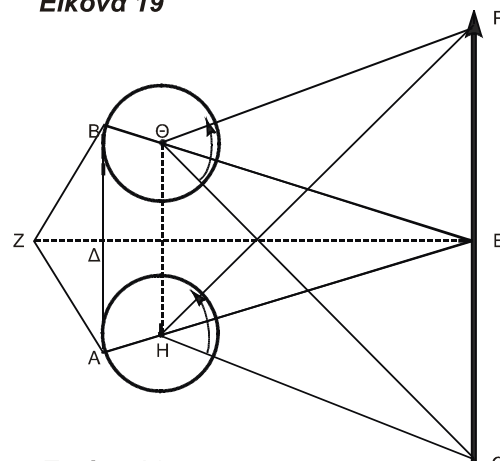
Στη δεύτερη προσέγγιση θα πρέπει και οι δύο κύλινδροι να φαίνονται διπλοί και πάνω στους κύριους άξονες ΑΓ και ΒΔ

Εικόνα 18

με τα πειραματικά αποτελέσματα γιατί στην πράξη δεν έχουμε μια τόσο λεπτή περιοχή όπου τα ειδώλα είναι απλά, όπως φαίνεται να υπονοείται από τη Γεωμετρική κατασκευή αλλά μία ζώνη συνένωσης των ειδώλων.



Εικόνα 19



Εικόνα 20

Ο Πτολεμαίος έβγαλε ένα γενικό κανόνα:

Για ένα δεδομένο κώνο όρασης, σε περίπτωση διόφθαλμης όρασης, το είδωλο φαίνεται να κατέχει τη θέση που θα έπαιρνε το αντικείμενο αν μετακινούνταν κατά μήκος της καθέτου - που φέρεται από την πραγματική του θέση στον κοινό άξονα - κατά μια απόσταση που κινείται ένα κινητό καθώς προχωρά από τον άξονα του ματιού στον κοινό άξονα.

Έτσι για το μάτι Α το Η έχει μετακινηθεί κατά ΛΗ προς τα δεξιά γι' αυτό φαίνεται στο Τ, ενώ για το δεξιό μάτι Β έχει μετακινηθεί κατά ΗΤ προς τον κοινό άξονα γι' αυτό φαίνεται στο Λ.

Σύμφωνα με την άποψη αυτή, τα ειδώλα διατηρούν τη θέση του αντικειμένου όσον αφορά το βάθος.

Με αυτή τη γεωμετρική κατασκευή φαίνεται ότι οι μετακινήσεις θα έχουν μια διαφορετική φορά αν τα σημεία αυτά είναι μπρος ή πίσω από το επίπεδο που περνά από το υπό εστίαση σημείο.

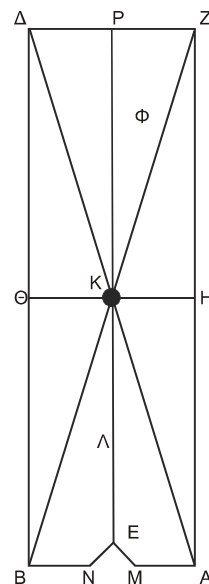
Με τον προηγούμενο του κανόνα ο Πτολεμαίος βρίσκει τα είδωλα με βάση το «κυκλώπειο κέντρο» Γ.

Ο κανόνας προέβλεπε τη διεύθυνση (εικόνα 14) αλλά όχι τη θέση των δύο ειδώλων.

Με το προηγούμενο πείραμα (εικόνα 17) ο Πτολεμαίος έδωσε μια λύση για το ερώτημα «σε ποια θέση σχηματίζονται τα είδωλα».

Για κάθε περίπτωση που κύλινδροι τοποθετούνται σε μία ευθεία παράλληλη με την ευθεία ΕΔΖ (που περιέχει το σημείο Δ της εστίασης), οι κύλινδροι διπλασιάζονται και τα είδωλα που δίνουν είναι στην ίδια μεριά που είναι το μάτι που δημιουργεί το είδωλο αυτό.

Οι δύο προσεγγίσεις του Πτολεμαίου δεν είναι ταυτόσημες (εικόνα 18). Η πρώτη προσέγγιση στο δεύτερο πείραμα δίνει την περίπτωση που το μάτι είναι εστιασμένο στο άπειρο. Σ' αυτή την περίπτωση οι άξονες είναι παράλληλες ευθείες. Οι προβλέψεις της δεύτερης προσέγγισης δίνουν είδωλα που είναι τοποθετημένα πάνω στους άξονες. Στην πράξη όμως τα είδωλα του πιο κοντινού κυλίνδρου φαίνονται πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους. Με βάση την πρώτη πρόταση αυτό εξηγείται με βάση τις κλίσεις των ευθειών.



Εικόνα 21

Κατά τον Lejeune η πρώτη πρόταση αφορά μια μονόφθαλμη προσέγγιση και η έμφαση είναι στα σημεία όπου τα είδωλα φαίνονται διπλά, ενώ η δεύτερη αφορά μια προσπάθεια για εξήγηση μιας διόφθαλμης όρασης και η έμφαση δίνεται στα σημεία όπου έχουμε απλά είδωλα καθώς και σε μια προσπάθεια δημιουργίας ενός κανόνα που θα δίνει τη θέση τους.

Συμπέρασμα για τις προσεγγίσεις του Πτολεμαίου στο θέμα της όρασης.

Ο Πτολεμαίος θεωρεί ως ορόπτερο την ευθεία που περνά από το σημείο εστίασης και είναι κάθετος στη διάμεση ευθεία. Όπως αποδεικνύεται αυτό δεν είναι σωστό, όμως το σφάλμα που διαπράττει ο Πτολεμαίος είναι μικρό.

Η ανακρίβεια προέρχεται από τις συνθήκες παρατήρησης, ίσως επειδή ο Πτολεμαίος μάλλον χρησιμοποίησε μεγάλους κυλίνδρους. Ταυτόχρονα ο Πτολεμαίος ήταν προϊδεασμένος για τη χρήση ευθείας. Η μία προϊδέαση φαίνεται ήταν η ανάγκη να εκφραστεί με μαθηματική ακρίβεια. Από την άλλη φαίνεται ότι είχε επιδίωξη να μελετήσει τα είδωλα στα κάτοπτρα (Lejeune 1948).

Η πρώτη προσέγγιση είναι πιο κοντά στην αλήθεια αλλά δεν του επέτρεπε να προσδιορίσει τη θέση του ειδώλου. Με τη δεύτερη μέθοδο μπόρεσε να κάνει προβλέψεις για τις θέσεις.

Ως ένα γενικό κανόνα έδωσε το ότι οι κύλινδροι που τοποθετούνται πάνω στην ευθεία που περνά από το σημείο εστίασης δεν υφίστανται καμία μετατόπιση. Σε άλλες ευθείες παράλληλες προς την πρώτη, έχουμε μια μετατόπιση. Οι κύλινδροι που βρίσκονται πάνω στους άξονες του ματιού προς το σημείο εστίασης υφίστανται μία μετατόπιση πάνω στην ενδιάμεση ευθεία (τη μεσοκάθετο από το σημείο εστίασης προς την ευθεία που ενώνει τα δύο μάτια).

Τα θέματα που μελέτησε ο Πτολεμαίος είναι θέματα που εξετάζει σήμερα η πειραματική ψυχολογία.

Προσέγγιση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την διοφθαλμική όραση

Ο Αλ Χαϊθάμ διέφερε στην θεωρία του για την όραση από τον Πτολεμαίο.

Θεωρεί ότι ο κρυσταλλοειδής είναι η βάση για την όραση. Το είδωλο σχηματίζεται ορθό (και όχι ανεστραμμένο όπως αποδείχτηκε από τον Kepler).

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε την εξής εξήγηση για την διοφθαλμική όραση:

Κατά τον Αλ Χαϊθάμ για να φαίνεται ένα αντικείμενο μονό θα πρέπει τα δύο είδωλα που σχηματίζονται στα δύο μάτια να είναι ακριβώς τα ίδια.

Δίνει ένα πείραμα για τη διαπίστωση του: Αν αγγίξουμε ελαφρά το ένα από τα μάτια αφού έχουμε εστιάσει την προσοχή μας προς ένα αντικείμενο τότε παρατηρούμε δύο αντικείμενα.

Ο Αλ Χαϊθάμ δίνει περισσότερες εξηγήσεις για το θέμα της ομοιότητας της θέσης με βάση την θεωρία του για τη δομή του ματιού και τη θεωρία του για την όραση. Ο άξονας συμμετρίας που περνά από το κέντρο της κοιλότητας του νεύρου και από το κέντρο της οπής που βρίσκεται στο οστό από το οποίο περνά το νεύρο, ονομάζεται από τον Αλ Χαϊθάμ ύψος του κώνου με κορυφή το κέντρο του ματιού Μ και βάση του την κόρη του ματιού. Αυτόν τον κώνο τον ονόμασε «κώνο των ακτινών». Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί την ακόλουθη γεωμετρική διάταξη που αναπαριστάει τα δύο μάτια:

Έστω Α, Β τα σημεία των κέντρων των οπών των οστών. Αν το σημείο που συναντιούνται τα δύο νεύρα είναι το Ζ, αν φέρουμε την ΑΒ και βρούμε το μέσο της Δ και φέρουμε τις ΑΖ και ΒΖ και φέρουμε την ΖΔ μέχρι το Ε, τότε οι τρεις ευθείες ΖΑ, ΖΒ και ΖΕ παραμένουν αναλλοίωτες. Την ευθεία ΖΕ την ονομάζει ο Αλ Χαϊθάμ «κοινό βέλος (άξονα)». Αν παρατηρείται κατά μήκος του κοινού βέλους ένα μικρό αντικείμενο στο Ε και παρατηρήσουν τα δύο μάτια αυτό το σημείο τότε κλίνουν προς αυτό με μια κλίση έτσι που να συναντηθούν οι άξονες των ματιών στο Ε. Η θέση των δύο ματιών φαίνεται στην εικόνα 19. Στον κρυσταλλοειδή κάθε ματιού σύμφωνα με τη θεωρία του θα σχηματίζεται το είδωλο του αντικειμένου. Τα κέντρα των δύο ματιών, του αριστερού Θ και του δεξιού Η θα βρίσκονται στις ευθείες ΕΒ και ΑΕ αντίστοιχα. Το είδωλο του Ε βρίσκεται στον πόλο της μπροστινής επιφάνειας του κρυσταλλοειδούς και οδηγείται σε μία ευθεία στο κέντρο της οπής του οστού. Αν θεωρήσουμε τα σημεία Ω και Ρ στις δύο πλευρές του Ε, τότε το είδωλο του Ω φθάνει στην επιφάνεια του κρυσταλλοειδούς του κάθε ματιού σε μια θέση που συναντιέται η ευθεία από το κέντρο στο σημείο αυτό με τον κρυσταλλοειδή. Οι θέσεις των ειδώλων του Ω στα δύο μάτια θα είναι

αντί-στοιχες. Τότε θα έχουμε μία εικόνα για το σημείο Ω .

Στην εικόνα 20, όπου τα δύο σημεία Ω και P είναι πιο απομακρυσμένα, τα είδωλα του δεξιού σημείου δίνουν είδωλα που είναι δεξιά ως προς τον άξονα όπως και πριν, οπότε φαίνεται ότι στην μία περίπτωση που τα Ω και P είναι κοντά δεν υπάρχει αισθητή διαφορά μεταξύ των ειδώλων.

Πειραματική προσέγγιση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη διοφθαλμική όραση

Ο Αλ Χαϊθάμ προχώρησε σύμφωνα με την πορεία που χάραξε ο Πτολεμαίος. Χρησιμοποίησε μία σανίδα που ονόμασε «σανίδα της θέασης (λάουχατ αλ αμπσάρ *لوحة الابصار*)», με μήκος ένα πήχη (περίπου 50 cm) και πλάτος επτά δαχτύλων (περίπου 8 cm), και πάνω στην επιφάνεια της σχεδιάζονται οι ευθείες AD και BZ με διαφορετικά χρώματα, και στο σημείο που τέμνονται φέρει τη ΘH παράλληλη προς τις μικρότερες πλευρές της σανίδας. Δημιουργεί στο κέντρο της AB μία εσοχή MEN για να μπορεί εκεί να τοποθετεί τη μύτη του (εικόνα 21).

Τοποθετεί τη σανίδα έτσι που να είναι στο επίπεδο των ματιών του παρατηρητή και τοποθετεί τρεις μικρούς κυλίνδρους χρωματισμένους με διάφορα χρώματα σε διάφορα σημεία:

A. Αν τοποθετήσει τους δύο κυλίνδρους στην ευθεία PE τον ένα στο Λ και τον άλλο στο Φ , και αν εστιάσει ο παρατηρητής το βλέμμα του στον κύλινδρο που βρίσκεται στο K , τότε τον βλέπει ως ένα ενώ τους άλλους δύο τους βλέπει διπλούς.

B. Αν μεταφέρει τους δύο κυλίνδρους και τους τοποθετήσει στα H και Θ , ή λίγο πιο κοντά στο K τον κάθε ένα τους, και αν εστιάσει την προσοχή του στον K , βλέπει τον κάθε κύλινδρο μονό. Αν οι κύλινδροι βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον K , έτσι που η διαφορά των γωνιών HAK και HVK , ή ΘBK και ΘAK να είναι αισθητή, τότε τους αντιλαμβάνεται διπλούς.

Έβγαλε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Αν σε ένα αντικείμενο συναντιούνται οι άξονες των δύο ματιών το βλέπουμε μονό.
2. Αν έχουμε διάφορα αντικείμενα στα οποία συναντιούνται οι αντίστοιχες ακτίνες και δεν υπάρχει μεταξύ τους μεγάλη διαφορά στην απόσταση από τον άξονα, τότε το κάθε ένα το βλέπουμε μονό.
3. Αν οι αντίστοιχες ακτίνες που συναντιούνται στο αντικείμενο, αυτές έχουν αισθητή διαφορά στην απόσταση τους από τους άξονες, τότε βλέπουμε το αντικείμενο διπλό.
4. Αν βλέπουμε ένα αντικείμενο με ακτίνες διαφορετικής θέσης, τότε το βλέπουμε διπλό ακόμη και αν είναι ίσες οι αποστάσεις των ακτινών από τους δύο άξονες.

4 -Οι απόψεις του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τα σφάλματα

Για τον Αλ Χαϊθάμ χρειάζονται τρεις όροι για να είναι σωστή η αντίληψη:

Να βρίσκεται το αντικείμενο σε «μέτρια» απόσταση.

Να βρίσκεται στον κοινό άξονα (κοινό βέλος) των δύο ματιών, αν η παρατήρηση γίνεται με τα δύο μάτια.

Να υπάρχει ο κατάλληλος χρόνος για τον συλλογισμό.

Ταυτόχρονα υπάρχουν έξι όροι για να μπορεί κανείς να δει κάτι:

Να είναι φωτισμένο το αντικείμενο.

Να βρίσκεται σε κάποια απόσταση από το μάτι.

Να είναι «απέναντι» από το μάτι.

Να έχει ένα δεδομένο όγκο.

Να έχει κάποια αδιαφάνεια.

Να βρίσκεται μεταξύ αυτού και του αντικειμένου ένα διαφανές μέσο.

Επί πλέον θεωρεί άλλους παράγοντες όπως η υγεία των ματιών. Τελικά καταλήγει σε οχτώ όρους που είναι περιληπτικά: 1) ο φωτισμός, 2) η μέτρια απόσταση, 3) το να είναι «απέναντι» από το μάτι, 4) να βρίσκεται στον κοινό άξονα, 5) να έχει όγκο, 6) να έχει μέτρια διαφάνεια και αδιαφάνεια, 7) να υπάρχει χρόνος και 8) υγεία.

Το «εύρος του μέτρου»

Ο Αλ Χαϊθάμ μίλησε για την έννοια του «εύρους του μέτρου» (*ar-rūḥ al-miḥrāḡ* عرض المعتدال). Αυτός είναι ένας γενικός όρος που εξαρτάται από τις συνθήκες της παρατήρησης. Π.χ. για την απόσταση το «εύρος του μέτρου» εξαρτάται από το φως του αντικειμένου, το χρώμα του, το μέγεθος του, την διαφάνεια του.

Κατά τον Αλ Χαϊθάμ έχουμε σφάλματα όταν είμαστε έξω από την περιοχή του εύρους του μέτρου.

Οι τρεις τρόποι για την αντίληψη κατά τον Αλ Χαϊθάμ είναι : α) με την απλή αίσθηση, β) με την προηγούμενη γνώση και γ) με τη μέτρηση. Για τα σφάλματα δίνει τις ίδιες κατηγορίες.

Σφάλματα στην αίσθηση έχουμε όταν είμαστε έξω από το «εύρος του μέτρου», δηλαδή οι αποστάσεις είναι πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές, ή τα αντικείμενα είναι πολύ έξω από τον κοινό άξονα (κοινό βέλος), ή η αδιαφάνεια είναι έξω από το «εύρος του μέτρου», όπως όταν το σώμα είναι υπερβολικά διαφανές, ή είναι χρωματισμένο με τα ίδια χρώματα του φόντου, ή υπάρχει καπνός μεταξύ των ματιών και του αντικειμένου.

Σφάλματα στην γνώση σχετικά με την αντίληψη της φύσης του αντικειμένου έχουμε όταν βγαίνουμε από το «εύρος του μέτρου». Δίνει παράδειγμα την περίπτωση που βλέπει κάποιος ένα λύκο και τον αντιλαμβάνεται ως σκύλο.

Τα σφάλματα για την φύση του αντικειμένου είναι σφάλματα γνώσης. Αν π.χ. ένας άνθρωπος παρατηρεί από μακριά μια δασωμένη πλαγιά, του φαίνεται ότι είναι απλώς χόρτα ή μπορεί να συμβεί το αντίστροφο.

Σφάλματα της μέτρησης (Al Aqlād fī al-kiyās الاغلاظ في القياس)

Κατά τον Αλ Χαϊθάμ υπάρχουν δύο όψεις αυτών των σφαλμάτων: είναι αυτά που προηγούνται από τη μέτρηση και αυτά συμβαίνουν κατά την εκτέλεση της μέτρησης.

Τα σφάλματα που προηγούνται από τις μετρήσεις έχουν 3 κατηγορίες.

- α) Όταν μία ψευδής πληροφορία γίνεται αποδεκτή ως αληθινή,
- β) όταν θεωρηθεί το μερικό ως το ολικό, και
- γ) όταν συνδυαστούν οι δύο προηγούμενες κατηγορίες.

Από τα 22 χαρακτηριστικά που παρατηρούμε, αν βγάλουμε το χρώμα και το φως έχουμε 20. Το καθένα έχει οχτώ όρους σωστής παρατήρησης και αυτό δίνει 160 περιπτώσεις σφαλμάτων. Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε 155 περιπτώσεις. Δεν αναφέρει τα σφάλματα στην αντίληψη του σώματος (*ταϊζάσουμ* **تجسم**) όταν η θέση, το φως, ο όγκος, ο χρόνος και η υγεία του ματιού βγαίνουν από το «εύρος του μέτρου» (όρια αρμονίας). Αναφέρει ότι τα παραδείγματα που δίνει έχουν ξεχωριστά αίτια σφάλματος, όμως υπάρχουν περιπτώσεις που έχουμε πολλαπλά αίτια σφάλματος.

Αν η θέση είναι έξω από το «εύρος του μέτρου», τότε υπεισέρχεται σφάλμα στην αντίληψη της απόστασης. Αν έχουμε δύο σώματα κάθετα στη Γη πάνω στην ευθεία της ακτίνας, τα αντιλαμβανόμαστε ως ίσα ή ως να είναι το ένα κοντά στο άλλο χωρίς να μπορούμε να αντιληφθούμε την απόσταση μεταξύ τους.

Αν έχουμε φύγει από το «εύρος του μέτρου» όσον αφορά το φάρδος ή αν το αντικείμενο είναι στο σκοτάδι, ή αν ο όγκος είναι έξω από το «εύρος του μέτρου» κ.λ.π. τότε έχουμε σφάλματα που αφορούν την αντίληψη της απόστασης.

Το σφάλμα στην αντίληψη της απόστασης, όταν αυτή είναι έξω από το «εύρος του μέτρου»

Η απόσταση θεωρείται βασική για τον εντοπισμό της θέσης.

Οι απόψεις του Αλ Χαϊθάμ είναι ότι υπάρχουν δύο καταστάσεις για σφάλμα: α) Αν υπάρχει διαφορά στις αποστάσεις των αντικειμένων που είτε είναι πολύ μεγάλες είτε πολύ μικρές και β) αν δεν υπάρχουν ενδιάμεσα σώματα.

Αν τα σώματα είναι σε διάφορες μεγάλες αποστάσεις το μάτι δεν αντιλαμβάνεται τις αποστάσεις των σωμάτων γιατί είναι έξω από το «εύρος του μέτρου», και αν τα αντικείμενα είναι σε μέτριες αποστάσεις αλλά δεν υπάρχει ενδιάμεσο σώμα τότε υπάρχει σφάλμα στην εκτίμηση των αποστάσεων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις δε γίνεται διάκριση των αποστάσεων και δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ του κοντινού και του μακρινού, όλα φαίνονται σε μία απόσταση, π.χ. όταν κοιτάζουμε τα άστρα και τους πλανήτες σε ένα τμήμα του ουρανού, και το μάτι δεν αντιλαμβάνεται τις διαφορές των αποστάσεων τους, τα θεωρεί ότι βρίσκονται πάνω σε μία επιφάνεια.

Αν η επιφάνεια έχει κλίση και δεν υπάρχουν ενδιάμεσα σώματα το μάτι δε διακρίνει τις αποστάσεις των άκρων και τα βλέπει όλα ίσα. Σε κλίση το τετράγωνο φαίνεται ως παραλληλόγραμμο και ο κύκλος ως έλλειψη ή ως ωοειδής.

Η έλλειψη αντίληψης της διαφοράς των αποστάσεων των άκρων του σώματος, οδηγεί και σε σφάλματα του σχήματος. Π.χ. η σφαίρα γίνεται αντιληπτή ως δίσκος όπως στην περίπτωση του Ήλιου και της Σελήνης.

Τα σφάλματα στην αντίληψη του μεγέθους στην περίπτωση που η απόσταση ξεπερνά το «εύρος του μέτρου»

Πολλές φορές μόνο καθ' υπόθεση προχωρούμε όταν η απόσταση από το αντικείμενο ξεπερνά το «εύρος του μέτρου».

Όταν δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης, καταφεύγουμε στην υπόθεση (*Αλχαντς الحدس*). Σε μεγάλη απόσταση δεν αντιλαμβανόμαστε μια σωστή απόσταση. Σε περιπτώσεις που έχουμε διαφορές απόστασης η υπόθεση οδηγεί στην εκτίμηση ότι οι αποστάσεις είναι μικρότερες από ό,τι είναι στην πραγματικότητα.

Ως αιτία για τα σφάλματα απόστασης είναι το σφάλμα της γωνίας. Αυτό συμβαίνει όταν η απόσταση δεν είναι μέσα στο «εύρος του μέτρου» οπότε δε γίνεται αντιληπτό ένα τμήμα από το σώμα που παρατηρούμε. Η γωνία που τέμνει αυτό το τμήμα κοντά στο κέντρο της όρασης δεν γίνεται αντιληπτή από το μάτι. Ένα τμήμα του αντικειμένου όταν είναι ορατό, διατέμνει μια ορισμένη γωνία. Η γωνία που τέμνει πάνω στο οπτικό όργανο (τον κρυσταλλοειδή για τον Αλ Χαϊθάμ) είναι ορισμένη όμως τα σκέλη της γωνίας δεν χωρίζουν και μοιάζουν σα να δίνουν ένα σημείο, έχουμε ένα «όριο όρασης» (*χουντατ αλ μπασρ حدة البصر*), πράγμα για το οποίο μίλησε και ο Πτολεμαίος. Η γωνία που πρέπει να αποκόπτεται ένα τμήμα του αντικειμένου για να είναι δυνατό το μάτι να το καταλάβει δεν μπορεί να είναι λιγότερο από ένα λεπτό της μοίρας. Σήμερα γνωρίζουμε για την κατασκευή του αμφιβληστροειδούς, δηλαδή ότι η πυκνότητα των κωνίων ποικίλει και είναι μέγιστη στην περιοχή της ωχρής κηλίδας. Αν η γωνία που αποκόπτεται το τμήμα του ορατού έχει τέτοιο μέγεθος ώστε οι πλευρές της να πέφτουν στο ίδιο κωνίο, τότε το αντιλαμβανόμαστε ως τελεία.

Η εικασία - υπόθεση γίνεται με μέτρηση αποστάσεων που είναι ήδη γνωστές. Η υπόθεση οδηγεί στο να θεωρούμε τις αποστάσεις μικρότερες από ότι είναι στην πραγματικότητα. Το μέγεθος δε μπορεί να ξεκαθαριστεί παρά μόνο αν γνωρίζουμε τη γωνία και την απόσταση.

Η απόσταση που ξεπερνά το «εύρος του μέτρου» διαφέρει από σώμα σε σώμα. Η απόσταση αυτή είναι μεγαλύτερη για μεγάλα σώματα.

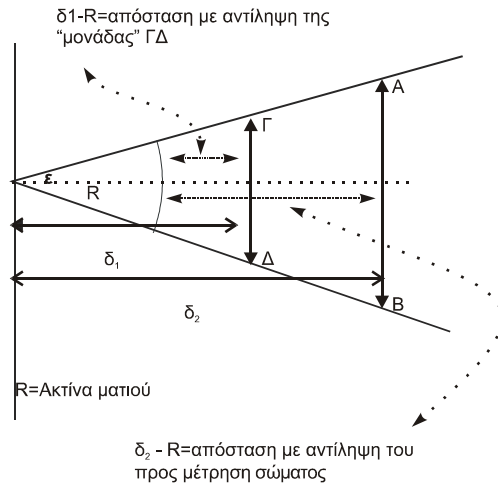
Αίτια απόκρυψης του αντικειμένου από το μάτι.

Δε διαφεύγει από τον Αλ Χαϊθάμ το ανακάτεμα του χρώματος του σώματος με τα χρώματα των σωμάτων που το περιβάλλουν και που μπορεί να οφείλεται στην εξασθένηση του φωτός με την απόσταση. Αντιλαμβάνεται δηλαδή ότι η αίσθηση της όρασης επιτυγχάνεται όταν η ένταση του φωτός ξεπερνά ένα «κατώφλι». Ξεχωρίζει τους παράγοντες: *εξασθένηση του φωτός, λεπτότητα του χρώματος και σμίκρυνση του ειδώλου*.

Το σφάλμα στην αντίληψη του μεγέθους λόγω του ότι είναι έξω από το «εύρος του μέτρου» στο πλησίασμα.

Τι συμβαίνει όταν έχουμε υπερβολή στο πλησίασμα; Υπάρχουν δύο βασικά αίτια που οδηγούν σε σφάλμα: η γωνία και η απόσταση. Όταν η απόσταση γίνεται υπερβολικά μικρή τότε το μάτι αντιλαμβάνεται το αντικείμενο μεγαλύτερο από ότι είναι στην πραγματικότητα.

Όταν υπάρχει υπερβολικό πλησίασμα δεν υπάρχει σφάλμα στην εκτίμηση της γωνίας αλλά στην απόσταση. Για περιπτώσεις πλησίασματος έχουμε εκτίμηση της διάστασης με εικασία που γίνεται με βάση τη σύγκριση με γνωστές αποστάσεις, και αν στις γνωστές αποστάσεις υπάρχει ένα κατώτερο όριο, τότε η υπερβολική εγγύτητα πιο κάτω από αυτό το όριο, κάνει να συγκρίνουμε με εικασία με το κατώτερο όριο απόστασης που βέβαια είναι μεγαλύτερο από την υπό θεώρηση απόσταση. Αν αντιλαμβανόμαστε το μέγεθος με βάση τη γωνία και με βάση την υποθετική απόσταση που όμως είναι μεγαλύτερη από την πραγματικότητα, τότε θεωρούμε ότι το μέγεθος είναι μεγαλύτερο.



Εικόνα 22

Για τον Αλ Χαϊθάμ υπάρχει και μια άλλη άποψη. Η απόσταση που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος, είναι η απόσταση από την επιφάνεια του ματιού και όχι η απόσταση της από το κέντρο του ματιού, γιατί η απόσταση από την επιφάνεια του ματιού είναι αυτή που καθορίζεται από τα σώματα για τα οποία έχουμε μια σωστή αντίληψη (σώματα με τα οποία συγκρίνουμε τις αποστάσεις), ενώ η γωνία από την οποία αντιλαμβανόμαστε το μέγεθος είναι αυτή που διατέμνει το αντικείμενο και έχει κορυφή το κέντρο του ματιού. Σε «μέτριες» αποστάσεις η ακτίνα του ματιού είναι μικρή σε σχέση με την απόσταση του αντικειμένου από την επιφάνεια του ματιού. Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί ότι σε μέτριες ή μεγάλες αποστάσεις οι δύο αποστάσεις είναι ουσιαστικά ίσες, όμως σε πολύ μικρές αποστάσεις έχουμε σημαντικές διαφορές. Η μέτρηση του μεγέθους με βάση τη γωνία από το κέντρο του ματιού με ταυτόχρονη μέτρηση της απόστασης από την επιφάνεια του ματιού δεν έχει αισθητή διαφορά, όταν οι αποστάσεις είναι μέτριες, ενώ σε υπερβολικό πλησίασμα η διαφορά παύει να είναι αμελητέα (εικόνα 22).

Ο Ναζίφ υποστηρίζει ότι ο σκοπός του Αλ Χαϊθάμ ήταν να δείξει ότι ο λόγος του μεγέθους του υπό μέτρηση σώματος που μετράμε με βάση τη δύναμη διάκρισης (αντίληψη) προς ένα σώμα μονάδα δεν παραμένει σταθερός σε διάφορες αποστάσεις από το μάτι. Ο λόγος που θα αντιλαμβανόμαστε θα είναι (εικόνα 22):

Αν $R \ll \delta$ τότε ο λόγος παραμένει σταθερός. Αυτό ισχύει για μεγάλες αποστάσεις. Όμως για πολύ μικρές αποστάσεις ο λόγος δεν είναι σταθερός.

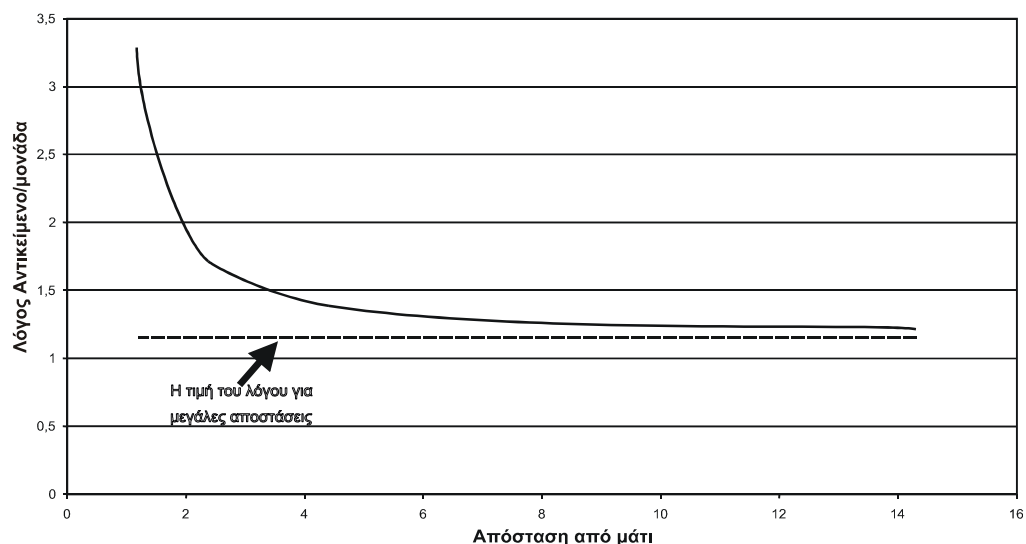
Λόγος αντικειμένου προς μονάδα για παρατηρητή

$$= \frac{\gamma \omega \nu \acute{\iota} \alpha \ \varepsilon \times (\delta_2 - R)}{\gamma \omega \nu \acute{\iota} \alpha \ \varepsilon \times (\delta_1 - R)} = \frac{(\delta_2 - R)}{(\delta_1 - R)}$$

Επειδή $\delta_1 = \delta_2 \times (\Gamma\Delta/AB) = \delta_2 \times \alpha$, ο λόγος που μετράμε θα δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{Λόγος που εκτιμά ο παρατηρητής} &= \frac{(\delta_2 - R)}{(\delta_1 - R)} \\ &= \frac{(\delta_2 - R)}{(\delta_2 \alpha - R)} \text{ που δίνει μία υπερβολή} \end{aligned}$$

Το σφάλμα της μέτρησης για κοντινές αποστάσεις κατά τον Αλ Χαϊθάμ



Εικόνα 23

Εξήγηση του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αντίληψη των πλανητών ως μεγαλύτερων κοντά στον Ορίζοντα από ό,τι όταν είναι στο κέντρο του ουρανού

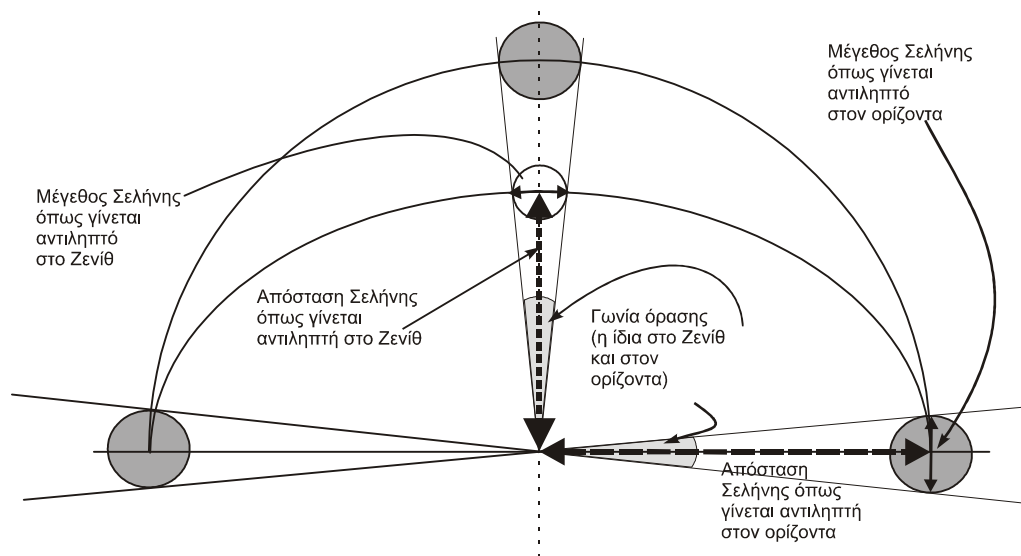
Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε την εξήγηση αυτού του φαινομένου στο τέλος του έβδομου του κεφαλαίου στο τελευταίο του βιβλίο. Η διαπραγμάτευση του αφορά αφενός τη διάθλαση και αφετέρου τα σφάλματα στην αντίληψη του μεγέθους. Υπάρχουν τρία βασικά θέματα στα οποία θα αναφερθούν ορισμένες λεπτομέρειες. Το πρώτο θέμα αφορά τη διάθλαση του φωτός καθώς το φως εισδύει στα στρώματα της ατμόσφαιρας: κατά πόσο η διάθλαση αυτή επηρεάζει την αντίληψη της απόστασης και του μεγέθους; Η διάθλαση δίνει ένα φαινόμενο μέγεθος μικρότερο από αυτό που έχουμε στην πραγματικότητα. Το δεύτερο θέμα αφορά την επίδραση της διάθλασης που οφείλεται σε ένα στρώμα ατμών, αν αυτοί οι ατμοί είναι οπτικά πυκνότεροι από τον αέρα. Το αποτέλεσμα τούτου είναι μια αντίληψη μεγαλύτερου μεγέθους από ό,τι υπάρχει στην πραγματικότητα. Αυτό είναι το θέμα στο οποίο αναφέρονται συνήθως τα μαθήματα Οπτικής ως μία εφαρμογή της διάθλασης (π.χ. Hewitt, δεύτερος τόμος όπου δείχνεται το ελλειψοειδές σχήμα του Ηλίου που παράγεται λόγω της διάθλασης).

Το τρίτο θέμα διαφέρει βασικά από τα άλλα δύο. Δεν αφορά τη διάθλαση. Για το θέμα αυτό γράφει ο Αλ Χαϊθάμ «Αν ένας πλανήτης βρίσκεται στην κατακόρυφο πάνω από το κεφάλι, το μάτι τον αντιλαμβάνεται ως μικρότερο από ό,τι θα τον αντιληφθεί σε όλες τις άλλες πλευρές του ουρανού στις οποίες κινείται ο πλανήτης αυτός. Όσο απομακρύνεται από την κατακόρυφο, τόσο το μέγεθος του το αντιλαμβάνεται μεγαλύτερο, όσο πιο κοντά είναι στον ορίζοντα. Το ίδιο αφορά και τις αποστάσεις μεταξύ των πλανητών. Αυτό μπορεί να φανεί από την παρατήρηση του». Η διαφορά αυτή στο μέγεθος δεν εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη πυκνών ατμών στην ατμόσφαιρα. Τα άλλα φαινόμενα εξαρτώνται από την ύπαρξη πυκνών ατμών.

Στηρίζει αυτή την πλευρά του σφάλματος σε αυτά που αναπτύχθηκαν προηγούμενα, δηλαδή ότι η αντίληψη του μεγέθους από το μάτι, γίνεται

με τη συνθήκη να υπάρχουν γνωστά αντικείμενα με τα οποία το μάτι θα κάνει σύγκριση. Αν δεν υπάρχουν τέτοια σώματα, τότε το μάτι κάνει εικασία η οποία υπόκειται σε σφάλματα.

Προσθέτει ότι ο άνθρωπος δεν αντιλαμβάνεται από τον ουρανό παρά μόνο το γαλάζιο του, και αντιλαμβάνεται ότι το χρώμα αυτό εκτείνεται σε μήκος και πλάτος. Λέγει «αν το μάτι αντιλαμβάνεται ένα χρώμα που εκτείνεται σε μήκος και πλάτος αλλά δεν αντιλαμβάνεται ούτε σχήμα ούτε μορφή, τότε το αντιλαμβάνεται ως κάτι το επίπεδο γιατί το παρομοιάζει με τις γνωστές επίπεδες επιφάνειες στους τοίχους ή στην επιφάνεια της γης». Κάνει και μία παρομοίωση με την αντίληψη μιας μακρινής σφαίρας ως δίσκου. Θέλει να πει ότι ο άνθρωπος δεν αντιλαμβάνεται τον ουρανό ως μια σφαίρα αλλά ως ένα επίπεδο έτσι που το σημείο που αντιστοιχεί στην κατακόρυφη το αντιλαμβάνεται ως πιο κοντινό από ότι τα όρια του στον ορίζοντα. Ακόμα και αν ο άνθρωπος δεν αντιλαμβάνεται τον ουρανό ως επίπεδο, πάντως δεν τον αντιλαμβάνεται ως τμήμα σφαίρας. Μάλλον τον αντιλαμβάνεται ως μία πεπλατυσμένη επιφάνεια από περιστροφή, της οποίας το πεπλατυσμένο τμήμα βρίσκεται πάνω από το κεφάλι του παρατηρητή. Η εντύπωση που έχει ο παρατηρητής είναι ότι τα μακρινά τμήμα οδηγούν στην επιφάνεια της γης. Τα κεντρικά της τμήματα φαίνονται πιο κοντά στον παρατηρητή από αυτά που είναι κοντά στον ορίζοντα, γι αυτό και έναν πλανήτη κοντά στο κέντρο του ουρανού τον αντιλαμβάνει πιο κοντινό από ό,τι όταν είναι



Εικόνα 24: Το σφάλμα της αντίληψης του μεγέθους της Σελήνης

κοντά στον ορίζοντα.

Αν η γωνία της παρατήρησης ενός πλανήτη που είναι κοντά στον ορίζοντα ή κοντά στον παρατηρητή και η γωνία που τον παρατηρεί στο κέντρο του ουρανού είναι ίσες, τότε ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την απόσταση στον ορίζοντα μεγαλύτερη από ότι στο κέντρο του ουρανού και αυτό τον κάνει να βλέπει τον πλανήτη μεγαλύτερο κοντά στον ορίζοντα από ό,τι στο κέντρο του ουρανού.

Το σφάλμα αυτό αναφέρεται σε σύγχρονους συγγραφείς που ασχολούνται με το θέμα της αντίληψης. Οι Sekuler και Blake (1994) στο βιβλίο τους Perception αναφέρουν ότι η αντιλαμβανόμενη απόσταση της Σελήνης μεταβάλλεται με τη

θέση της Σελήνης στον Ουρανό. Αναφέρουν ότι συνήθως μεταβάλλεται το μέγεθος του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή, όμως στην περίπτωση της Σελήνης μεταβάλλεται η αντιλαμβανόμενη απόσταση ενώ δε μεταβάλλεται το μέγεθος του ειδώλου. Όταν η Σελήνη βρίσκεται στο ζενίθ της όπως ανέφερε και ο Αλ Χαϊθάμ, η αντιλαμβανόμενη απόσταση ελαττώνεται οπότε η Σελήνη γίνεται αντιληπτή ως μικρότερη. Όπως αναφέρουν οι Sekuler και Blake οι Lloyd Kaufman και Irvin Rock έκαναν μερικά κλασσικά πειράματα γι' αυτό το θέμα. Βρήκαν ότι το αντιλαμβανόμενο αυξημένο μέγεθος της Σελήνης στον ορίζοντα, ελαττώνεται αν η παρατήρηση της Σελήνης γίνει μέσα από μία στενή οπή. Οι Sekuler και Blake λένε ότι εύκολα αναπαράγεται το πείραμα κοιτάζοντας με το ένα μάτι μέσα από μία οπή που δημιουργούμε με τα δάχτυλα μας. Οι Kaufman και Rock βρήκαν έναν τρόπο για να κάνουν το μικρό Φεγγάρι στο ζενίθ να εμφανίζεται μεγαλύτερο: Αν ο παρατηρητής δει το φεγγάρι κατά μήκος ενός τεχνητού ορίζοντα, χάνεται η ψευδαίσθηση.

Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από το κεφάλαιο αυτό, ο Αλ Χαϊθάμ προσπάθησε να δώσει μια ολοκληρωμένη περιγραφή του ματιού. Αφού έδωσε τη φυσική εξήγηση του ματιού ως οπτικού οργάνου και τη φυσιολογική του λειτουργία, στράφηκε προς την ψυχολογική θεώρηση. Σ' αυτό το θέμα, όπως γράφει ο Ronchi (1991), υπήρξε μια οπισθοδρόμηση κατά την περίοδο της αναγέννησης. Οι φυσικοί εκείνης της εποχής παραμέλησαν τελείως την ψυχολογική θεώρηση του Αλ Χαϊθάμ και χρειάστηκε αρκετός χρόνος για να επιστρέψουν οι επιστήμονες σ' αυτήν.

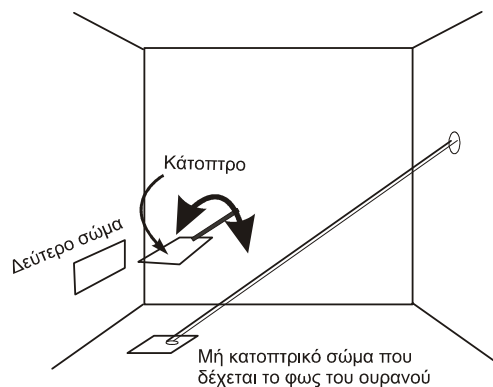
Έχει επισημανθεί από τους Galili και Hazan (2000) ότι η άποψη του Αλ Χαϊθάμ για την αποτύπωση των ειδώλων στον «κρυσταλλοειδή» με τη βοήθεια μόνο των καθέτων ακτινών, μοιάζει πολύ με την άποψη που εμφανίζουν οι μαθητές όταν βρίσκονται σε ένα ενδιαμέσο στάδιο στην πορεία της μάθησης τους. Η Σέρογλου (2000) αναφέρει ότι υπάρχει αυτή η ομοιότητα η οποία οφείλεται στο ότι οι μαθητές και οι επιστήμονες στην ιστορία ξεκινούν από την αισθησιοκρατούμενη σκέψη και ότι οι μαθητές και επιστήμονες χρησιμοποιούν πλαίσια που επαληθεύονται από τις αισθητηριακές τους αντιλήψεις. Ο παραλληλισμός δεν είναι αυστηρός διότι οι επιστήμονες στην ιστορία σε σχέση με τους μαθητές παρουσιάζουν διαφορές. Μια διαφορά είναι ότι οι επιστήμονες στην ιστορία, έχουν περισσότερες γνώσεις και μια δεύτερη είναι ότι οι θεωρίες τους παρουσιάζουν συνέπεια και πληρότητα. Για τον Αλ Χαϊθάμ παρατηρούμε ότι πράγματι για τη δομή του ματιού είχε μαζέψει όλες τις δυνατές γνώσεις της εποχής του, ενώ ως προς τη θεωρία του για τις κάθετες ακτίνες φαίνεται ότι είχε μία συνέπεια με τη θεωρία του ότι από ένα σημείο ξεκινούν άπειρες ακτίνες προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτή η συνέπεια φαίνεται από του ότι προσπάθησε να λάβει υπόψη του και τις πλάγιες ακτίνες με τα φαινόμενα της διάθλασης ενώ ταυτόχρονα προσπάθησε να βρει «λογικά» επιχειρήματα για την προτίμηση που υποτίθεται ότι δείχνει το μάτι στις κάθετες ακτίνες.

Ανάκλαση

1- Τρόπος Ανάκλασης

Πειραματική απόδειξη της ανάκλασης των δευτερευόντων φωτών, ασθενικών φωτών και χρωμάτων.

Τα «ουσιαστικά» φώτα όταν προσπίπτουν σε ανακλαστικές επιφάνειες ανακλώνται προς μια ειδική κατεύθυνση. Ο Αλ Χαϊθάμ προσπάθησε να δείξει ότι και τα «περιστασιακά» φώτα ανακλώνται με τον ίδιο νόμο. Ένα από τα πειράματά του ήταν να δημιουργήσει ο πειραματιστής στον τοίχο ενός σπιτιού μια τρύπα προς τον ουρανό, από όπου να μπορούσε να μπει το φως του πρωινού, όχι όμως απευθείας το φως του Ήλιου (εικ. 1). Αν κλείσει τα παράθυρα μπορεί να δει στο έδαφος μια φωτεινή κηλίδα. Τότε βάζει στη θέση της ένα λευκό σώμα (χαρτί). Απέναντι από το χαρτί τοποθετεί έναν καθρέφτη. Αν πλησιάσει στον καθρέφτη ένα άλλο λευκό σώμα από διάφορες πλευρές και κλίνει τον καθρέφτη προς αυτό το σώμα παρατηρεί ότι το φως στο σώμα αυτό αυξάνει. Αν βγάλει τον καθρέφτη καταργείται αυτό το επιπλέον φως σ' αυτό το σώμα. Αν επιστρέψει τον καθρέφτη επιστρέφει το φως. Αν στερεώσει τον καθρέφτη στη θέση του και περιστρέψει το σώμα γύρω του, θα δει ότι στις άλλες θέσεις δεν θα υπάρχει φως όπως στην πρώτη περίπτωση. Αν το επαναφέρει στην αρχική του θέση επανέρχεται το φως. Αν θεωρήσει τη θέση του κατόπτρου σε σχέση με το πρώτο και το δεύτερο σώμα και φανταστεί τις ευθείες από το φως στο έδαφος προς το κάτοπτρο και την ευθεία από το κάτοπτρο προς το δεύτερο σώμα, θα βρει ότι οι κλίσεις τους ως προς το κάτοπτρο είναι ίσες.



Εικόνα 1

Από αυτό το πείραμα εξηγείται η αύξηση του φωτός στο δεύτερο σώμα. Αυτή οφείλεται στην ανάκλαση. Λέγει: «Στηριζόμενοι πάνω σ' αυτήν την παρατήρηση μπορούμε να πούμε ότι τα ασθενικά φώτα ανακλώνται επίσης από τα ανακλαστικά σώματα (Ναζίφ σελ. 340)».

Η θεωρία του για το χρώμα είναι ότι τα χρώματα διαδίδονται ταυτόχρονα με τα φώτα και γιατί και τα χρώματα ανακλώνται μαζί τους. Ας ότι ο πειραματιστής επιτρέπει την είσοδο του φωτός του Ηλίου και στο σημείο

όπου αυτό προσπίπτει βάζει ένα χρωματιστό ύφασμα, για παράδειγμα πορφυρό. Στη συνέχεια παίρνει ένα κοίλο σώμα όπως ένα κύπελλο, που στο εσωτερικό του έχει ένα λευκό ύφασμα, και το βάζει σε μια θέση που να μην έρχεται σ' αυτό το δευτερεύον φως από το έδαφος ή το πορφυρό ύφασμα. Αν πλησιάσει τον καθρέφτη στο ύφασμα από τη μεριά που είναι το στόμιο του κοίλου σώματος, και το σηκώσει σε μια κατάλληλη θέση, παρατηρεί το πορφυρό χρώμα στο λευκό ύφασμα που βρίσκεται στο εσωτερικό.

Πειραματική απόδειξη ότι η ανάκλαση στα ανακλαστικά σώματα δεν είναι πλήρης

Αν στο προηγούμενο πείραμα ο πειραματιστής τοποθετήσει ένα κάτοπτρο ή άλλη ανακλαστική επιφάνεια στην περιοχή που φωτίζεται και τοποθετήσει ένα παρόμοιο λευκό σώμα στην πλευρά που φθάνει αυτό το φως και αν συγκρίνει με την αίσθηση το φως που φθάνει στο δεύτερο (ανακλώμενο) και το φως που φθάνει στο πρώτο, βρίσκει ότι το δεύτερο είναι ασθενέστερο.

Παρόμοια ανακλώνται και τα χρώματα.

Η εξασθένηση αυτή δεν οφείλεται στη μεγαλύτερη διανυθείσα απόσταση. Αν βάλει το κάτοπτρο δίπλα στο λευκό σώμα και το φως προσπίπτει κατά ένα μέρος στο κάτοπτρο και κατά ένα μέρος στο λευκό σώμα, και στην πορεία του ανακλώμενου φωτός τοποθετήσει ένα παρόμοιο λευκό σώμα θα δει ότι το φως στο δεύτερο είναι ασθενέστερο.

Διαπιστώνει ότι οι ανακλαστικές επιφάνειες που ανακλούν προς μια ορισμένη κατεύθυνση ανακλούν επίσης και διάχυτα. Το διάχυτο φως που εκπέμπεται από το κάτοπτρο είναι ασθενέστερο από το ανακλώμενο «παρόλο που η πηγή τους είναι η ίδια και οι αποστάσεις τους από την πηγή ίδιες».

Ο κανόνας του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση

Για τον Αλ Χαϊθάμ «όλα ανακλώνται με ένα τρόπο ειδικό», με τα λόγια αυτά εννοεί το νόμο της ανάκλασης.

«Κάθε φως ανακλάται από την κατοπτρική επιφάνεια και κάθε σημείο της ανακλαστικής επιφάνειας, ανακλά το φως σε μια ευθεία γραμμή που η διεύθυνση της προσπίπτουσας, η διεύθυνση της ανακλώμενης και η κάθετος στην επιφάνεια βρίσκονται σε ένα επίπεδο. Αν μετρήσουμε τη γωνία της ανακλώμενης με την κάθετη είναι η ίδια με τη γωνία της προσπίπτουσας με την κάθετη. Εννοώ με αυτό ότι κάθε ευθεία που αντιστοιχεί σε μια ανακλώμενη από το κάτοπτρο σε ένα σημείο κάνει με την κάθετο σ' αυτό το σημείο ίδια γωνία με τη γωνία που κάνει η πρώτη ευθεία με την κάθετο (Ναζίφ σελ. 343)».

Έτσι εκφράζει ο Αλ Χαϊθάμ τον κανόνα του για την ανάκλαση. Ο Ευκλείδης είχε διατυπώσει τον κανόνα της ισότητας των γωνιών και ο Πτολεμαίος είχε διατυπώσει τον κανόνα ότι προσπίπτουσα και ανακλώμενη βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την κάθετο προς την επιφάνεια. Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, ο Ήρων διατύπωσε

τον κανόνα σύμφωνα με την αρχή «του ελάχιστου δρόμου». Ο Αλ Χαϊθάμ διατύπωσε τον κανόνα σε μια ενότητα. Εξάλλου οι προηγούμενοι μίλησαν για την ανάκλαση του φωτός που βγαίνει από το μάτι και όχι για το φως που προέρχεται από φωτεινές πηγές ή από ετερόφωτα σώματα. Ο Αλ Χαϊθάμ τελειοποίησε επίσης τη συσκευή του Πτολεμαίου για τη μελέτη της ανάκλασης. Η μέθοδος του, του επέτρεψε να επιβεβαιώσει το νόμο της ανάκλασης για διάφορα είδη κατοπτρικών επιφανειών και όχι μόνο για τις επίπεδες.

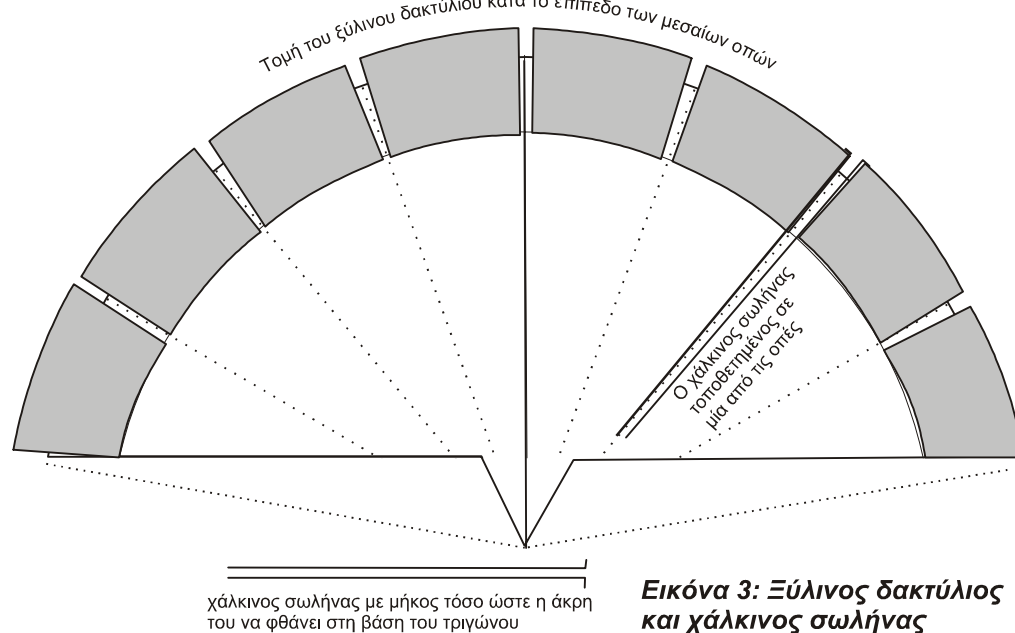
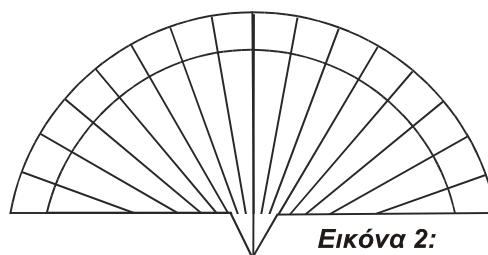
Απαιτήσεις του κανόνα

Λέγει ο Αλ Χαϊθάμ: «Οι τρεις ευθείες βρίσκονται σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο πάνω στο εφαιπτόμενο επίπεδο στο σημείο της πρόσπτωσης». Ο κανόνας αναλύεται στις λεγόμενες δύο απαιτήσεις. Η πρώτη απαίτηση αφορά την ισότητα των δύο γωνιών και η δεύτερη απαίτηση αφορά το επίπεδο των τριών ευθειών.

Συσκευή για την πειραματική απόδειξη του νόμου της ανάκλασης από τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Ο Αλ Χαϊθάμ κατασκεύασε μια συσκευή που ονόμασε «συσκευή της ανάκλασης» (*άλαι αλ νικας* **لآل الانعكاس** **ἰ**). Είναι ενδιαφέρον να παρακολουθήσει κανείς την όλη περιγραφή καθώς δίνει λεπτομερώς μία πειραματική πορεία.

Ο Αλ Χαϊθάμ κατέγραψε λεπτομερείς περιγραφές για την κατασκευή και τη χρήση της. Έδωσε τα μήκη κάθε τμήματος ή εξαρτήματος της συσκευής η οποία οιάζει με τους γωνιομετρικούς κύκλους που χρησιμοποιούνται σήμερα στα σχολεία. Η βασική μονάδα που



Εικόνα 3: Ξύλινος δακτύλιος και χάλκινος σωλήνας

χρησιμοποίησε ήταν το πλάτος ενός δακτύλου.

Υποδιαιρούμε την κατασκευή αυτή σε δύο μέρη. Το πρώτο αναφέρεται στην περι-γραφή των μερών και το δεύτερο στη χρήση της.

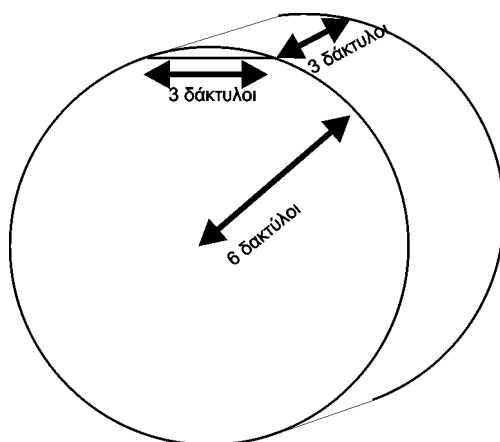
α) Περιγραφή και συναρμολόγηση

Η συσκευή αποτελείται από το βασικό της τμήμα και τα επιπρόσθετα. Το βασικό αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο είναι ένα χάλκινο επίπεδο έλασμα με σχήμα σε τμήμα κύκλου, διάμετρο όχι μικρότερη από δώδεκα δακτύλους και απόσταση χορδής από την παράλληλη προς αυτή διάμετρο ένα δάκτυλο. Στο μέσο της χορδής υπάρχει ένα τρίγωνο που στην κορυφή του είναι το κέντρο του κύκλου. Το έλασμα υποδιαιρείται σε ίσα μέρη και από τις δύο πλευρές. Ο αριθμός των μερών αφήνεται στην αρέσκεια του πειραματιστή. Πάνω στον κύκλο σχεδιάζει ένα άλλο τόξο με το ίδιο κέντρο με τον κύκλο του ελάσματος. Η απόσταση του από τον εξωτερικό κύκλο είναι και αυτή ένας δάκτυλος με ακτίνα πέντε δακτύλους. Το τμήμα αυτό το ονόμασε «έλασμα» (Al safiha الصفيحة) το δεύτερο τμήμα είναι ένα τμήμα από ένα ξύλινο κυλινδρικό δακτύλιο. Η ακτίνα της επιφάνειας ξεπερνά την ακτίνα του ελάσματος κατά ένα δάκτυλο (δηλαδή είναι εφτά δακτύλοι), και η ακτίνα της εσωτερικής επιφάνειας είναι ίση με την ακτίνα του τόξου που έχει σχεδιαστεί πάνω στο έλασμα. Το ύψος του δακτυλίου είναι έξη δακτύλοι. Η εσωτερική ακτίνα του δακτυλίου είναι ίση με την ακτίνα του τόξου που είναι σχεδιασμένο στο έλασμα. Η προέκταση των άκρων του δακτυλίου πρέπει να περνά από τον άξονα. Θα ονομάζεται από το εξής «ξύλινος δακτύλιος» και ο Al Xaitham τον ονόμασε «ο δακτύλιος». Σε απόσταση ίση με το ένα τρίτο ($1/3$) του ύψους βρίσκονται στενές κυλινδρικές οπές με διάμετρο μια «sha'ira» (شعيرة). Ο αριθμός των οπών είναι ίσος με τα τμήματα του ελάσματος και ο άξονας τους είναι ακτινικός. Στο ξύλο υπάρχουν οι κεντρικές οπές που είναι ίσες με τις προηγούμενες.

Στις εσωτερικές και εξωτερικές πλευρές του ξύλινου δακτυλίου είναι σχεδιασμένες ευθείες που είναι παράλληλες προς τους άξονες των οπών. Στην εικόνα 3 έχουμε μια πλευρική τομή της διάταξης.

Το έλασμα είναι στερεωμένο πάνω στον ξύλινο δακτύλιο.

Η διάταξη στερεώνεται σε μία επίπεδη ξύλινη βάση που έχει πάχος δύο δακτύλους και στο κέντρο της μια τάφρο. Αυτή είναι η βάση της συσκευής. Αν η βάση τοποθετηθεί σε οριζόντιο επίπεδο, το επίπεδο του ξύλινου δακτυλίου καθίσταται κατακόρυφο και ο άξονας του οριζόντιος.



Εικόνα 4: Διαστάσεις του κυλινδρικού κατόπτρου

β) Άλλα επιπρόσθετα εξαρτήματα:

(1) Ένας κυλινδρικός χάλκινος σωλήνας με εξωτερική διάμετρο ίση με τη διάμετρο της οπής του οποίου η μία άκρη περιβάλλεται από ένα χάλκινο δακτύλιο για να μπορεί να στερεωθεί ο σωλήνας

πάνω στον ξύλινο δακτύλιο και να μη ταρασσεται. Το μήκος του σωλήνα είναι τέτοιο που, όταν μπαίνει μέσα στην οπή, καταλήγει στην προέκταση της τριγωνικής βάσης.

(2) Εφτά ατσάλενα κάτοπτρα με ορισμένο πάχος. Ένα επίπεδο, δύο κυλινδρικά, δύο κωνικά, δύο σφαιρικά. Τα καμπύλα είναι το ένα κοίλο και το άλλο κυρτό.

Ο Αλ Χαϊθάμ αναφέρει και τα μήκη τους: Το επίπεδο είχε κυκλικό σχήμα με διάμετρο τρεις δακτύλους. Το κυρτό κυλινδρικό αποτελείται «από ένα κύλινδρο του οποίου η διάμετρος της βάσης θα είναι έξη δάκτυλοι». «Για να είναι το καθένα με τη βάση του πλάτους τριών δακτύλων και μήκους τριών δακτύλων».

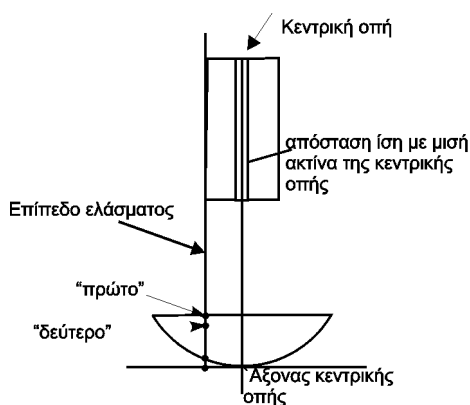
Το μήκος του κοίλου κυλινδρικού είναι ίσο με το μήκος του κυρτού κυλινδρικού. Το βάθος του κυλινδρικού είναι μικρότερο από μισό δάκτυλο.

Για τα κωνικά κάτοπτρα η κατασκευή είναι παρόμοια.

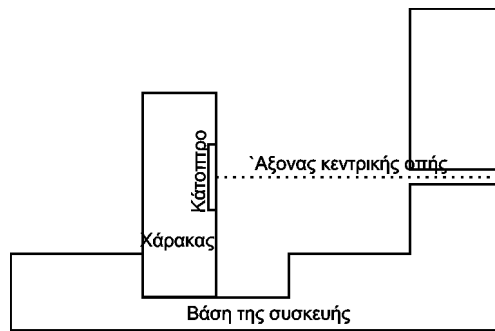
Το κυρτό σφαιρικό έχει διάμετρο μικρότερη από έξη δακτύλους. Η διάμετρος του κύκλου του είναι ίση με τρεις δακτύλους και η απόσταση του κέντρου του από το κέντρο της βάσης είναι μικρότερη από μισό δάκτυλο.

Τοποθέτηση των κατόπτρων

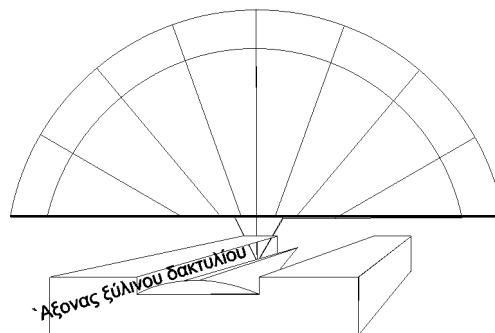
Κάθε ένα από τα εφτά κάτοπτρα στερεώνεται σε ένα ξύλινο φορέα που τον ονομάζει «χάρακα του κατόπτρου».



Εικόνα 7: Μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά την τοποθέτηση των σφαιρικών κατόπτρων

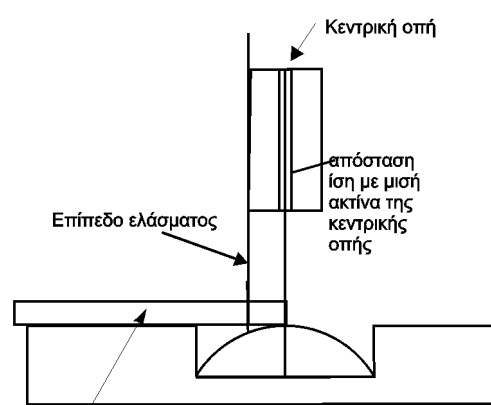


Εικόνα 5: βάση της συσκευής και "χάρακας"



Κυρτό κωνικό κάτοπτρο: τοποθετείται έτσι που η ευθεία από την κορυφή του κώνου προς το μέσο του τόξου της βάσης να βρίσκεται στο επίπεδο του "χάρακα". Η κορυφή του τριγώνου έρχεται σε επαφή με την ευθεία αυτή οπότε αυτή καθίσταται άξονας του ελάσματος (και άξονας του ξύλινου δακτυλίου).

Εικόνα 6: τοποθέτηση των κωνικών κατόπτρων



Λεπτός χάρακας που εφάπτεται με τον πόλο της σφαίρα. Η κορυφή του τριγώνου του ελάσματος να εφάπτεται με την ακμή του λεπτού χάρακα

Στο μέσο της ξύλινης βάσης υπάρχει ένα κοίλωμα τετράγωνου σχήματος. Οι δύο ακμές είναι παράλληλες προς τη διάμετρο του ελάσματος. Το κοίλωμα εκτείνεται έτσι που να είναι κατά ένα μέρος κάτω από το τρίγωνο του ελάσματος. Αυτό, για να είναι δυνατό να τοποθετηθεί ο «χάρακας» έτσι ώστε το πάνω μέρος του να είναι αντιμέτωπο με την εσωτερική οπή και κάθετο στον άξονα της. Το μέσο του κατόπτρου βρίσκεται στην επέκταση του άξονα της κεντρικής οπής.

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε λεπτομερή περι-γραφή για την τοποθέτηση των διαφό-ρων ειδών των κατόπτρων.

Στην εικόνα 6 έχουμε την τοποθέτηση των κωνικών κατόπτρων.

Τοποθέτηση των σφαιρικών κατόπτρων

Το κυρτό σφαιρικό κάτοπτρο έχει τον πόλο του στο επίπεδο της πάνω επιφάνειας του χάρακα, ενώ το κοίλο, τοποθετείται το επίπεδο του χάρακα έτσι που να παρουσιάζει το βαθούλωμα παράλληλο του, προς την εφαιπόμενη στην κοίλη επιφάνεια στον πόλο. Η προέκταση του άξονα της κεντρικής οπής περνά από τον πόλο και στις δύο περιπτώσεις.

Ο Αλ Χαϊθάμ δίνει λεπτομέρειες (εικόνα 7) για τα μέτρα που πρέπει να λάβει ο πειραματιστής στην περίπτωση του κυρτού και κοίλου σφαιρικού κατόπτρου έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι η θέση του πόλου του κατόπτρου, όχι μόνο είναι στην προέκταση του άξονα της κεντρικής οπής, αλλά βρίσκεται και στον άξονα του ξύλινου δακτυλίου.

Τρόπος χρήσης του οργάνου

Το παράδειγμα για τη χρήση του οργάνου που έδωσε ο ίδιος ο Αλ Χαϊθάμ ήταν το επίπεδο κάτοπτρο. Ο φορέας του κατόπτρου τοποθετείται έτσι που η κορυφή του τριγώνου να εγγίζει την επιφάνεια του κατόπτρου.

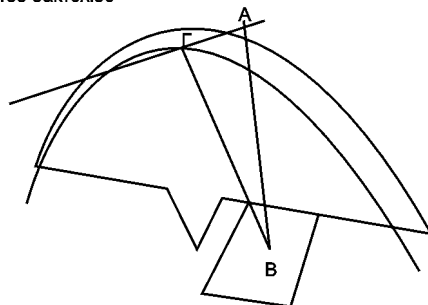
Στη συνέχεια καλύπτονται με χαρτί λευκό όλες εκτός από μία (αυτή που είναι στο κέντρο) οι οπές της συσκευής.

Τοποθετήσει την συσκευή στον Ήλιο και βάζει το πίσω της μέρος έτσι που να ακολουθεί το σώμα του Ήλιου για να κατευθύνει προς αυτόν την ανοιχτή οπή. Γέρνει τη συσκευή έτσι που να μπαίνει το φως από την οπή και να πέφτει πάνω στο κάτοπτρο. Ο πειραματιστής παρατηρεί την εσωτερική επιφάνεια του ξύλινου δακτυλίου για να παρατηρήσει το ανακλώμενο φως στην οπή που αντιστοιχεί στην ανοιχτή οπή. Αν κλείσει την ανοιχτή οπή και ανοίξει την

αντίστοιχη της και περιστρέψει τη συσκευή μέχρις ότου να περάσει φως από την δεύτερη οπή, θα το δει να ανακλάται στην πρώτη. Έτσι δείχνει το νόμο της ισότητας γωνίας πρόσπτωσης και γωνίας ανάκλασης.

Ο Αλ Χαϊθάμ όμως δεν είχε αρκεστεί σ' αυτήν τη λειτουργία. Στη συσκευή του είχε κάνει πρόβλεψη για μεγαλύτερη ακρίβεια και για να μπορεί να κάνει περαιτέρω

Η προσπίπτουσα ακτίνα ανακλάται και περνά από ένα σημείο στην ευθεία που είναι παράλληλη προς τον άξονα του δακτυλίου



Εικόνα 8: Παρατήρηση των αποτελεσμάτων της κλίσης

διερεύνηση. Τοποθετεί τον χάλκινο σωλήνα στη μία από τις τρύπες, έτσι που η άκρη φτάνει στην επιφάνεια του ξύλινου κυλίνδρου με τέτοιο τρόπο που η σχεδιασμένη ευθεία στο έλασμα είναι εφαπτόμενη με το σωλήνα και παράλληλη με τον άξονα του. Μετά από αυτό γυρνά την άκρη του σωλήνα προς τον Ήλιο έτσι που το φως να περνά από αυτόν και να προσπίπτει στο κάτοπτρο. Σ'αυτή την περίπτωση βρίσκει ότι το ανακλώμενο φως προσπίπτει στην αντίστοιχη οπή προς την οπή από την οποία περνά το αρχικό φως.

Αν στενέψει το σωλήνα με κερί βρίσκει ότι το φως πέφτει στο κέντρο της αντί-στοιχης οπής.

Εάν βγάλει τώρα το σωλήνα από αυτή την οπή και τον τοποθετήσει στην αντίστοιχη (απέναντι) του, και επαναλάβει το πείραμα, και το επαναλαμβάνει για όλες τις οπές, βρίσκει πάντοτε την ίδια κατάσταση.

γ) Πειραματική απόδειξη του επιπέδου ανάκλασης

Ο Αλ Χαϊθάμ ενδιαφέρεται επίσης για το τι θα συμβεί αν κλίνει τον χάρακα του κατόπτρου έτσι που η πάνω του άκρη να απομακρυνθεί από την κεντρική οπή (εικόνα 8). Η επιφάνεια του κατόπτρου κλίνει λίγο, όμως η κλίση γίνεται έτσι που το υπόλοιπο του κατόπτρου παραμένει παράλληλο προς τη χορδή του ελάσματος. Το φως που προσπίπτει ανακλάται και περνά από την οπή που βρίσκεται σε μια ευθεία σχεδιασμένη πάνω στο εσωτερικό του ξύλινου δακτυλίου. Η ευθεία αυτή είναι παράλληλη προς τον άξονα του δακτυλίου και κάθετη στο επίπεδο του ελάσματος.

Ο τρόπος που ακολούθησε εξασφάλισε ταυτόχρονα την επιβεβαίωση του κανόνα της ανάκλασης ως προς τις δύο απαιτήσεις του. Οι άξονες των οπών βρίσκονται σε ένα επίπεδο που είναι παράλληλο προς το χάλκινο έλασμα. Στο επίπεδο αυτό βρίσκονται οι προσπίπτουσες και οι ανακλώμενες όταν τοποθετηθεί ο κανόνας του κατόπτρου στην τάφρο της βάσης χωρίς κλίση. Η κατασκευή της συσκευής και η συναρμολόγηση οδηγούν στο να βρίσκεται η κάθετος πάνω στην επιφάνεια στο επίπεδο που ορίζουν η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη. Η κλίση του κατόπτρου με τον τρόπο που περιγράφηκε πιο πάνω και η εμφάνιση του ανακλώμενου φωτός στο σημείο που αναφέρθηκε, οδηγούν στη σκέψη ότι οι δύο ακτίνες, η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη βρίσκονται σε ένα επίπεδο κάθετο προς το έλασμα.

Χρήση της συσκευής σε μη επίπεδα κάτοπτρα

Όλα αυτά αναφέρθηκαν για το επίπεδο κάτοπτρο. Ο Αλ Χαϊθάμ εξηγεί πως μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος του και σε άλλα κάτοπτρα .

Διαπίστωση των διαφόρων καταστάσεων ανάκλασης.

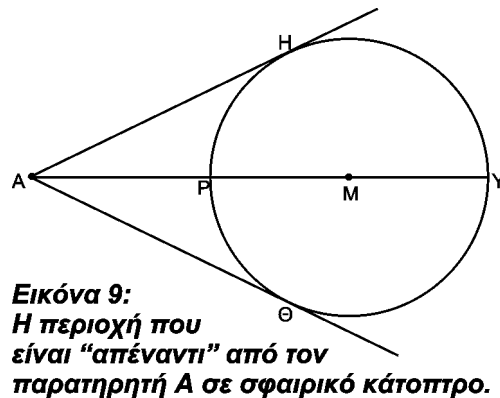
Ο Αλ Χαϊθάμ ως συνήθως δεν αρκείται στα επτά είδη κατόπτρων αλλά ενδια-φέρεται και για τα διάχυτα φώτα.

Αν στην πόρτα ενός σπιτιού ο πειραματιστής κάνει μια τρύπα μεγέθους «μιας δραχμής» και η πόρτα είναι απέναντι από έναν εξωτερικό τοίχο που τον φωτίζει ο Ήλιος και ο πειραματιστής μπει στο σπίτι, κλείσει τα παράθυρα και παρατηρήσει το φως που εισέρχεται από την οπή (του δακτυλίου) και το οποίο προέρχεται από το φωτισμένο τοίχο, βρίσκει ότι υπάρχει η ίδια ακριβώς κατάσταση με την περίπτωση του φωτός του Ηλίου, μόνο που τώρα το φως είναι πιο ασθενικό. Ο Αλ Χαϊθάμ επανέλαβε το πείραμα με πολλές οπές. Βρίσκει ότι το φως που περνά από τις ανοιχτές οπές (του δακτυλίου) περνά από τις αντίστοιχες τους που είναι κλειστές.

2- Ανάκλαση και συμμετρία

Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για προσδιορισμό της συμμετρίας

Ο Αλ Χαϊθάμ ονομάζει την ανακλώμενη και την προσπίπτουσα ευθείες που έχουν όμοια (συμμετρική) θέση. Προσπάθησε να ξεκαθαρίσει τους γεωμετρικούς όρους για την εύρεση του συμμετρικού ως προς την ανακλώμενη δηλαδή την προσπίπτουσα.

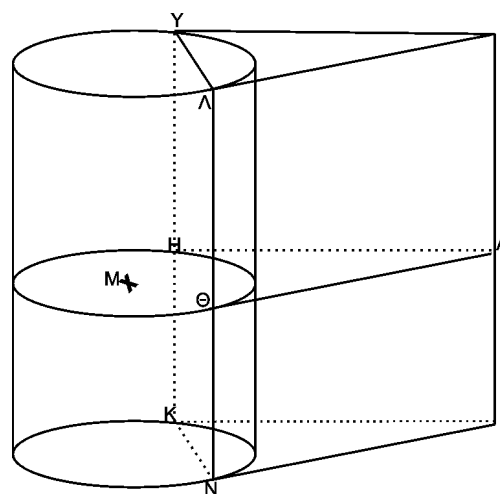


οξεία με την κάθετο σ’ αυτό το σημείο πάνω στο εφαπτόμενο επίπεδο, ίση με τη γωνία που κάνει με την κάθετο η ευθεία από αυτό το σημείο στο κέντρο της όρασης, οι δύο ευθείες και η κάθετος βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και οι δύο ευθείες έχουν «όμοιες» θέσεις» ή είναι «αντίστοιχες» (Naaddirín نظيرين), η μία είναι η προσπίπτουσα ακτίνα και η άλλη είναι

Για το θέμα αυτό ο Αλ Χαϊθάμ παραδόξως δεν άφησε σχέδια.

Η βασική σκέψη που ακολούθησε είναι ότι όταν το μάτι αντικρίζει μια ανακλαστική επιφάνεια (ή ένα τμήμα της) μπορεί να προεκτείνει μια ευθεία από την επιφάνεια αυτή μέχρι το μάτι. Γνωρίζει βέβαια ότι από κάθε σημείο της επιφάνειας εξέρχονται άπειρες ευθείες. Αν κάποια από αυτές τις ευθείες κάνει

αυτή που φτάνει στο μάτι από το σημείο ανάκλασης.



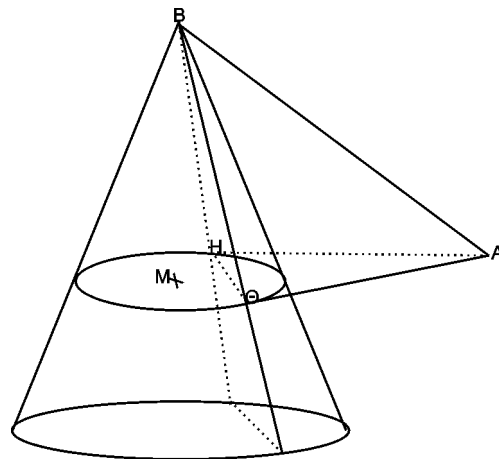
Το πρώτο που κάνει είναι να καθορίσει το τμήμα της ανακλαστικής επιφάνειας που είναι απέναντι από το μάτι, που περιγράφεται και ως το τμήμα που μπορεί να αντικρίσει το μάτι. Αν δηλαδή γνωρίζουμε που είναι το κέντρο του ματιού, κάνει τον προσδιορισμό του τμήματος της επιφάνειας που θα επιτρέψει να φέρουμε από αυτό ευθείες προς το κέντρο όρασης. Ερευνά το πως να προσδιορίζει το επίπεδο στο οποίο

βρίσκεται η ευθεία που ενώνει το σημείο και το κέντρο όρασης έτσι που το επίπεδο αυτό να είναι κάθετο στην επιφάνεια που εφάπτεται πάνω στην ανακλαστική επιφάνεια στο σημείο αυτό.

Καθορισμός του τμήματος «που αντικρίζει το μάτι» για τα εφτά είδη των κατόπτρων.

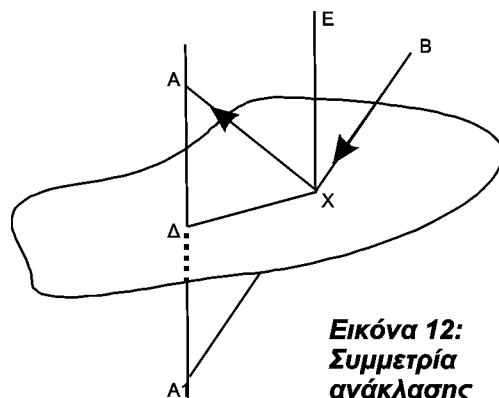
Πρώτον. Το επίπεδο κάτοπτρο: Προφανές είναι ότι από κάθε σημείο της επιφάνειας του κατόπτρου μπορεί να οριστεί μια ευθεία που να το συνδέει με το κέντρο της όρασης.

Δεύτερον. Τα σφαιρικά κάτοπτρα: Αν το κέντρο της όρασης είναι το Α και του κατόπτρου το Μ, φέρουμε τις εφαπτόμενες στην επιφάνεια της σφαίρας. «Αν η ευθεία κινηθεί πάνω στην επιφάνεια του κατόπτρου κυκλικά έτσι που να επιστρέψει στην αρχική της θέση, και καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης της παραμένει εφαπτόμενη στην επιφάνεια της σφαίρας, τότε διαγράφει ένα κύκλο». Το τμήμα που αντικρίζει το μάτι είναι στην περίπτωση της κυρτής σφαίρας που περιορίζεται από τον κύκλο ΗΘ προς τη μεριά του ματιού (ΗΡΘ), ενώ για κοίλο κάτοπτρο είναι το κομμάτι (ΗΥΘ) αν το μάτι είναι έξω, ενώ αν είναι μέσα μπορεί να δει όλη την εσωτερική επιφάνεια.



Εικόνα 11: Περιοχή που είναι “απέναντι” από παρατηρητή Α για κωνικό κάτοπτρο

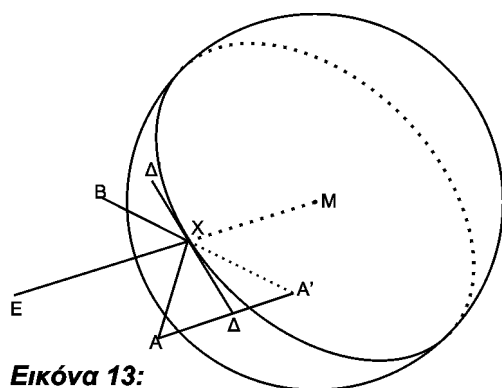
Τρίτον. Κυλινδρικό κάτοπτρο. Σ' αυτή την περίπτωση το μάτι θεωρείται ότι είναι στο σημείο Α και φέρουμε το επίπεδο που τέμνει κάθετα προς τον άξονα της την κυλινδρική επιφάνεια κατά ένα κύκλο που έχει κέντρο Μ. Αν σημειώσουμε τις δύο εφαπτόμενες ΑΗ και ΑΘ και σημειώσουμε τις ευθείες ΥΚ και ΛΝ κατά μήκος του κυλίνδρου και παράλληλες προς τον άξονα, τότε ο κύλινδρος χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το ένα βρίσκεται μεταξύ του επιπέδου των ευθειών ΑΗ και ΗΚ και του επιπέδου των ευθειών ΑΘ και ΛΘ. Το άλλο τμήμα είναι το υπόλοιπο της επιφάνειας. Αν το κάτοπτρο είναι κυρτό το πρώτο τμήμα είναι αυτό που αντικρίζει το μάτι ενώ στην περίπτωση του κοίλου, το δεύτερο τμήμα είναι αυτό που αντικρίζει το μάτι.



Εικόνα 12: Συμμετρία ανάκλασης

Αν το κάτοπτρο είναι κοίλο και το σημείο Α είναι στο εσωτερικό του κατόπτρου, μπορούμε να θεωρούμε ολόκληρη την επιφάνεια ως επιφάνεια που μπορεί να αντικρίσει το μάτι.

Τέταρτο. Το κωνικό κάτοπτρο. Θεωρούμε και πάλι το μάτι στο Α μεταξύ της κορυφής του κατόπτρου στο Β και της βάσης του. Φέρουμε το επίπεδο που περνά από το Α και κάθετο στον άξονα του κατόπτρου οπότε η τομή



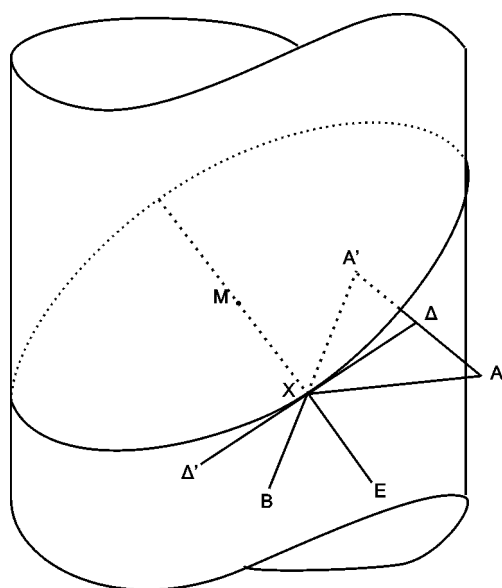
Εικόνα 13:
Συμμετρία ανάκλασης
σε σφαιρικό κάτοπτρο

είναι ένας κύκλος κέντρου Μ. Αν σχεδιάσουμε τις εφαιπτό-μενες ΑΗ και ΑΘ και προεκτείνουμε την ευθεία ΒΗ και ΒΘ, τότε το επίπεδο των ευθειών ΑΗ και ΒΗ και το επίπεδο των ευθειών ΑΘ και ΒΘ χωρίζουν μεταξύ τους ένα τμήμα που είναι το τμήμα που αντικρίζει το μάτι σε περίπτωση κυρτού κατόπτρου. Σε περίπτωση κοίλου κατόπτρου το μάτι αντικρύζει είναι το υπόλοιπο.

Στην περίπτωση του κοίλου συμβαίνει κάτι παρόμοιο με το κυλινδρικό.

Καθορισμός της συμμετρίας για την ανάκλαση σε επίπεδο κάτοπτρο.

Μετά τον προσδιορισμό του τμήματος που αντικρίζει το μάτι αναλύει τη συμμετρία. Σε κάθε περίπτωση θεωρεί πρώτα την ανακλώμενη και μετά θεωρεί πως θα βρει το επίπεδο ανάκλασης. Η κατακόρυφη στο σημείο



Εικόνα 14: Γενική περίπτωση
συμμετρίας σε κυλινδρικό
κάτοπτρο

της ανάκλασης βρίσκεται σ' αυτό το επίπεδο. Αν σχεδιάσουμε σ' αυτό το επίπεδο μια ευθεία από το σημείο της ανάκλασης που κάνει με την κατακόρυφη γωνία ίση με αυτή που κάνει η ανακλώμενη, τότε έχουμε προσδιορίσει τη συμμετρική. Για το επίπεδο κάτοπτρο, αν το μάτι βρίσκεται στη θέση Α και θεωρήσουμε κάποιο σημείο Χ πάνω στην επιφάνεια του κατόπτρου που αντικρίζει το μάτι, και φέρουμε την ευθεία ΑΧ, τότε η ευθεία ΑΧ είναι η γνωστή συμμετρική. Για την εύρεση του επιπέδου ανάκλασης φέρουμε την κάθετο ΑΔ. Φέρουμε την κάθετο ΧΕ πάνω στο επίπεδο του κατόπτρου. Αυτή είναι η κάθετος προς το εφαιπτόμενο επίπεδο στην επιφάνεια του κατόπτρου σύμφωνα

με το νόμο της ανάκλασης. Αφού η ΑΧ βρίσκεται στο επίπεδο των δύο καθέτων ΑΔ και ΕΧ, αυτό είναι το επίπεδο της ανάκλασης. Είναι ο «διαχωρισμός της ανάκλασης (فصل الانعكاس *φασλ αλ νικας*)» η ευθεία ΔΧ και η προέκτασή της. Αν σχεδιάσουμε σ' αυτό το επίπεδο από το σημείο Χ την ευθεία ΒΧ έτσι που να είναι η γωνία ΕΧΒ ίση με τη γωνία ΑΧΕ, τότε η ευθεία ΒΧ είναι η προσπίπτουσα.

Προσδιορισμός της συμμετρίας στην ανάκλαση σε σφαιρικό κάτοπτρο

Έστω Μ το κέντρο της σφαίρας και Χ σημείο πάνω στην πλευρά που αντικρίζει το μάτι Α. Η κατακόρυφη που χρειαζόμαστε είναι η προέκταση της ΜΧ. Έστω ΧΕ η προέκταση αυτή. Το επίπεδο της ανάκλασης είναι το

Εικόνα 15:
Συμμετρία σε κωνικό κάτοπτρο

Έστω ότι έχουμε ένα κυρτό **Συμμετρία σε κωνικό κάτοπτρο**
κάτοπτρο και ότι το σημείο Χ βρίσκεται στο τμήμα που αντικρίζει το
μάτι.

Αν φέρουμε την εφαπτόμενη ΔΧΔ΄ προς την έλλειψη σ΄ αυτό το επίπεδο, αυτή η εφαπτόμενη είναι η τομή του εφαπτόμενου επιπέδου με το επίπεδο ανάκλασης στο σημείο Χ. Αν σχεδιάσουμε την ευθεία ΧΒ έτσι που να είναι η γωνία ΕΧΒ ίση με τη γωνία ΑΧΕ, η ΧΒ είναι η ζητούμενη προσπίπτουσα.

Αν το σημείο X είναι στην περιοχή που αντικρίζει το μάτι, φέρουμε το επίπεδο που περνά από το X και που είναι κάθετο στον άξονα (εικόνα 15). Αυτό τέμνει τον κώνο σε κύκλο με κέντρο N . Από το σημείο X φέρουμε τη εφαπτόμενη στον κύκλο και την ευθεία $X\Omega$ πάνω στην επιφάνεια του κώνου που διέρχεται από την κορυφή του κώνου Ω . Το επίπεδο των δύο ευθειών είναι το εφαπτόμενο επίπεδο. Φέρουμε την κάθετο προς αυτό το επίπεδο $X\epsilon$ που τέμνει τον άξονα του κώνου στο M . Αυτή είναι η ζητούμενη κάθετος.

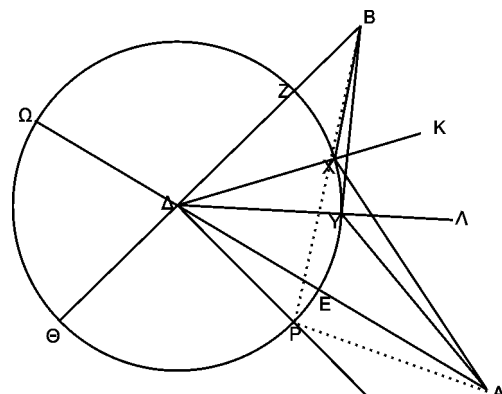
Αν σχεδιάσουμε την διάμετρο ΘΝΥ που είναι παράλληλος προς την εφαπτόμενη ΡΧΖ, αυτή είναι κάθετη προς την ακτίνα ΝΧ και κάθετη προς τον άξονα ΩΝ, και επίσης κάθετος προς το επίπεδο των δύο ευθειών ΩΝΜ και ΩΧ. Η εφα-πτόμενη ΡΧΖ είναι και αυτή κάθετη προς αυτό το επίπεδο.

Η ευθεία ΜΧΕ είναι κάθετος προς την εφαπτόμενη ΡΧΖ και κάθετος προς την ΩΧ άρα είναι κάθετος προς το επίπεδο των δύο αυτών ευθειών που είναι το εφα-πτόμενο επίπεδο προς τον κώνο στο Χ.

Για μια γενική θέση του ματιού ο Αλ Χαϊθάμ εργάστηκε ανάλογα όπως και για το κυλινδρικό κάτοπτρο.

3-Το σημείο της ανάκλασης και φυσική του σημασία σύμφωνα με τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

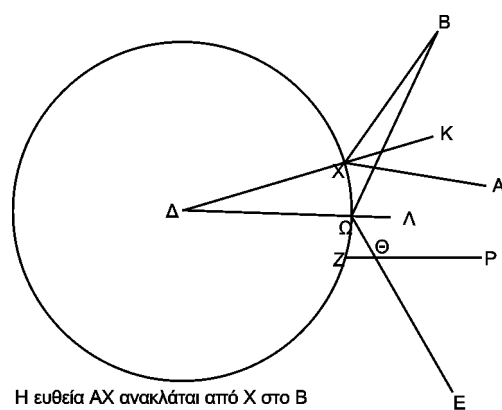
Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε τη θέση του σημείου ανάκλασης ιδιαίτερα στα σφαιρικά κάτοπτρα για να μπορέσει να εξηγήσει το σχηματισμό ειδώλων.



Εικόνα 16: Πρώτος κανόνας

متعاكسين نقطتين (και το σημείο Χ στο οποίο γίνεται η ανάκλαση «σημείο ανάκλασης». Πολλές φορές αναφέρεται σ' αυτό ως το σημείο που ανακλά το ένα σημείο στο άλλο.

Με τη θεώρηση αυτού του σημείου αναλύει τα φανταστικά είδωλα και άλλα φαινόμενα που έχουμε στα κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα. Θεωρεί τις διάφορες θέσεις από τις οποίες μπορεί να φτάσει φως στο μάτι. Η θεωρία του για το σχηματισμό των ειδώλων δε συμφωνεί με τις θεωρίες που ισχύουν σήμερα.



Η ευθεία ΑΧ ανακλάται από Χ στο Β
Η ευθεία ΕΩ ανακλάται από Ω στο Β
Το σημείο Ρ θα πρέπει να ανακλάται
από ένα σημείο του τόξου ΧΩ στο Β

Εικόνα 17

Η σκέψη του είναι απλή και είναι ο άξονας γύρω από τον οποίο περιστρέφονται οι έρευνες του.

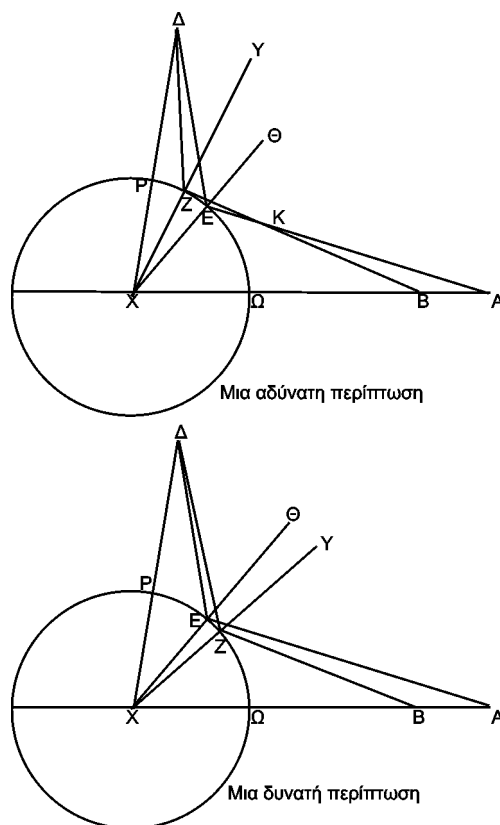
Αν θέσουμε δύο σημεία, το Α και το Β, μπροστά σε μια ανακλαστική επιφάνεια και από το ένα περνά μια ακτίνα που προσπίπτει στο σημείο Χ στο κάτοπτρο, και μετά από την ανάκλαση της περνά από το άλλο σημείο, ο Αλ Χαϊθάμ ονομάζει αυτά τα δύο σημεία «τα δύο ανακλαστικά σημεία» (μονταακισάιν νοκτάν

Πάνω στη θεωρία του για την ανακλώμενη στηρίζει τις εξηγήσεις για τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των ειδώλων στην περίπτωση των κοίλων κατόπτρων. Αν το ένα από τα δύο ανακλαστικά σημεία είναι φωτεινό, και το κέντρο της όρασης βρίσκεται στο δεύτερο, τότε θεωρεί ότι το μάτι αντιλαμβάνεται πάνω στην ευθεία της ανακλώμενης ακτίνας το φανταστικό είδωλο του σημείου. Χωρίς αμφιβολία το μάτι νιώθει ένα μέρος από το φως που του έρχεται, όμως είναι προφανές ότι δεν

επιτρέπεται να πούμε ότι το μάτι αντιλαμβάνεται το φωτεινό σημείο μόνο αν βρίσκεται σε μια ειδική θέση από την οποία περνά η ανακλώμενη ακτίνα.

Ασχολείται με μία ακτίνα. Επειδή η θεωρία του για την όραση στηρίζεται στην ακτίνα που φτάνει στον «κρυσταλλοειδή», δε μπορεί να σκεφτεί τη δημιουργία του ειδώλου στο μάτι.

Αν τα δύο «ανακλαστικά σημεία» συνδέονται με ένα δεύτερο σημείο της επιφάνειας του καθρέφτη, σύμφωνα με τον Αλ Χαϊθάμ το μάτι αντιλαμβάνεται στην προέκταση της ανακλώμενης ακτίνας ένα δεύτερο είδωλο. Αν τα σημεία συνδέονται μεταξύ τους με ένα τρίτο σημείο, τότε το μάτι αντιλαμβάνεται ένα τρίτο είδωλο κοκ.



Εικόνα 18: Τρίτος κανόνας

Οι βασικοί κανόνες για το σημείο ανάκλασης σε κυρτή σφαιρική επιφάνεια

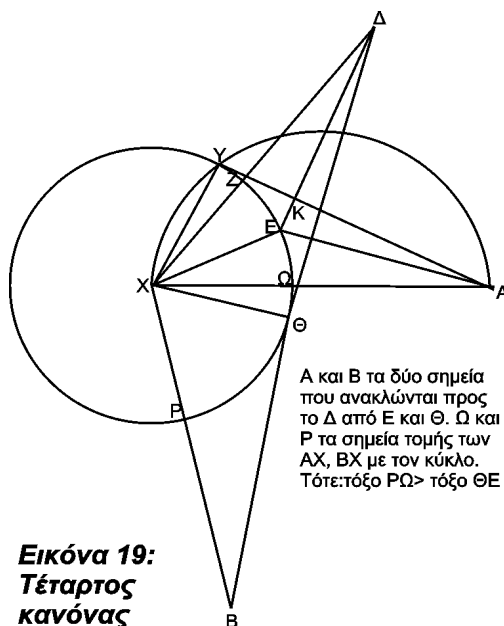
Έδωσε σε διάφορα σημεία του βιβλίου «Αλ Μαναζίρ» τέσσερις κανόνες εκτός από τον βασικό (ισότητα γωνιών και το ότι η ανακλώμενη και η προσπίπτουσα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την κάθετο).

α) Ο πρώτος κανόνας

Τα δύο ανακλαστικά σημεία συνδέονται μόνο από ένα σημείο της κυρτής σφαιρικής επιφάνειας.

Έστω δύο σημεία (A, B) και (Δ) το κέντρο του κατόπτρου. Έστω ότι το επίπεδο AΔB τέμνει την επιφάνεια του κατόπτρου κατά ένα μέγιστο κύκλο. Το επίπεδο ανάκλασης που περιέχει τα A και B είναι επίπεδο αυτού του μέγιστου κύκλου. Είναι αδύνατο να ανακλάται το φως από το ένα στο άλλο σε ένα διαφορετικό επίπεδο. Φέρουμε τις ευθείες που διέρχονται από τα σημεία και το κέντρο του κύκλου (ΑΕΩ, ΒΖΘ). Έστω ότι συναντούν την περιφέρεια στα Ε και Ω.

Εικόνα 19: Τέταρτος κανόνας



Ο Αλ Χαϊθάμ πρώτα απέδειξε ότι το φως από το ένα σημείο δεν ανακλάται σε ένα σημείο Ρ του τόξου ΕΘΩΖ. Το σημείο ανάκλασης θα πρέπει να

περιέχεται μέσα στο τόξο EZ.

Ο Αλ Χαϊθάμ πάνω σ' αυτό τον κανόνα έδωσε άλλα αποτελέσματα:

(Πρώτον) Αν το ένα σημείο είναι φωτεινό, το μάτι μπορεί να βρίσκεται στο άλλο σημείο. Αφού συμβαίνει αυτό, το μάτι δε μπορεί να αντιληφθεί ένα δεύτερο είδωλο από την κυρτή επιφάνεια. Αυτό το αποτέλεσμα θεωρείται από το Ναζίφ ως ένα από τα σπουδαιότερα αποτελέσματα του Αλ Χαϊθάμ. Λέγει ο Αλ Χαϊθάμ: «δεν ανακλάται το είδωλο από την επιφάνεια του καθρέφτη παρά μόνο από ένα σημείο».

(Δεύτερον) *Αν δύο ευθείες ανακλώνται από το κυρτό μέρος της περιφέρειας σε ένα σημείο, τότε δεν μπορεί να ανακλαστεί ένα οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο ευθείες, παρά μόνο από κάποιο σημείο που βρίσκεται στο τόξο που ορίζεται από τα σημεία ανάκλασης των δύο ευθειών. (εικ. 17)*

β) Δεύτερος κανόνας

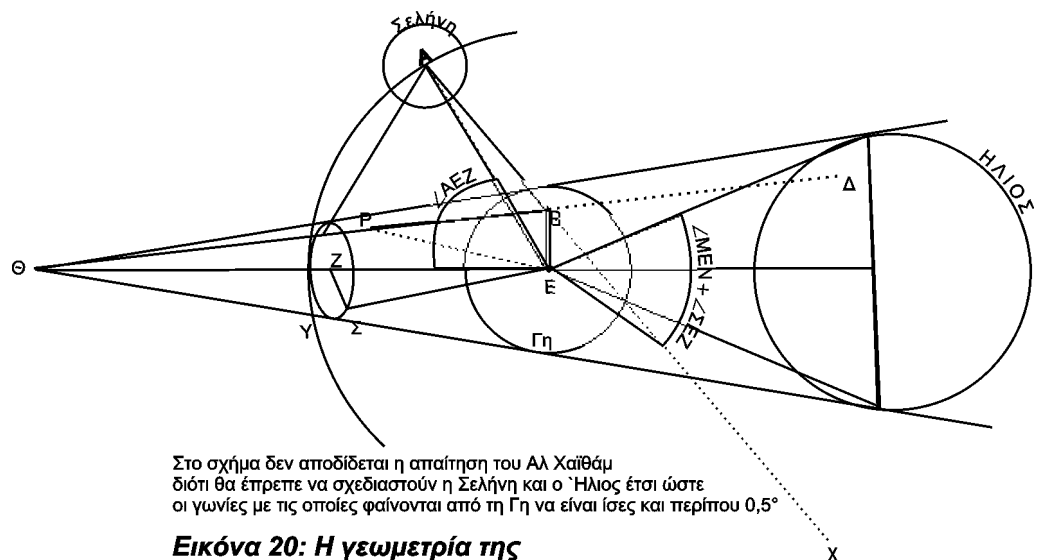
Αν ανακλάται μία γραμμή στο κυρτό κάτοπτρο μεταξύ δύο σημείων μιας περιφέρειάς του, και υπάρχουν δύο διαφορετικά τμήματα της γραμμής, τότε το σημείο της ανάκλασης χωρίζει το τόξο που ορίζουν οι δύο ευθείες που συνδέονται με τα τμήματα στο κέντρο, σε δύο τμήματα. Το μεγαλύτερο ακολουθεί το μεγαλύτερο τμήμα της ανακλώμενης γραμμής.

Αυτόν τον κανόνα τον παράγει στην πραγματεία του για το φως του Φεγγαριού.

γ) Τρίτος κανόνας

Αν έχουμε δύο σημεία που βρίσκονται πάνω στην προέκταση μιας διαμέτρου και από την ίδια πλευρά προς το κέντρο, και ανακλώνται και τα δύο προς ένα τρίτο σημείο, τότε το σημείο ανάκλασης του πιο κοντινού από το κέντρο, είναι πιο μακρινό από το τρίτο σημείο.

Αν τα σημεία είναι τα Α και Β, το πρώτο είναι πιο μακριά ενώ το δεύτερο πιο κοντά από το τρίτο σημείο Δ.



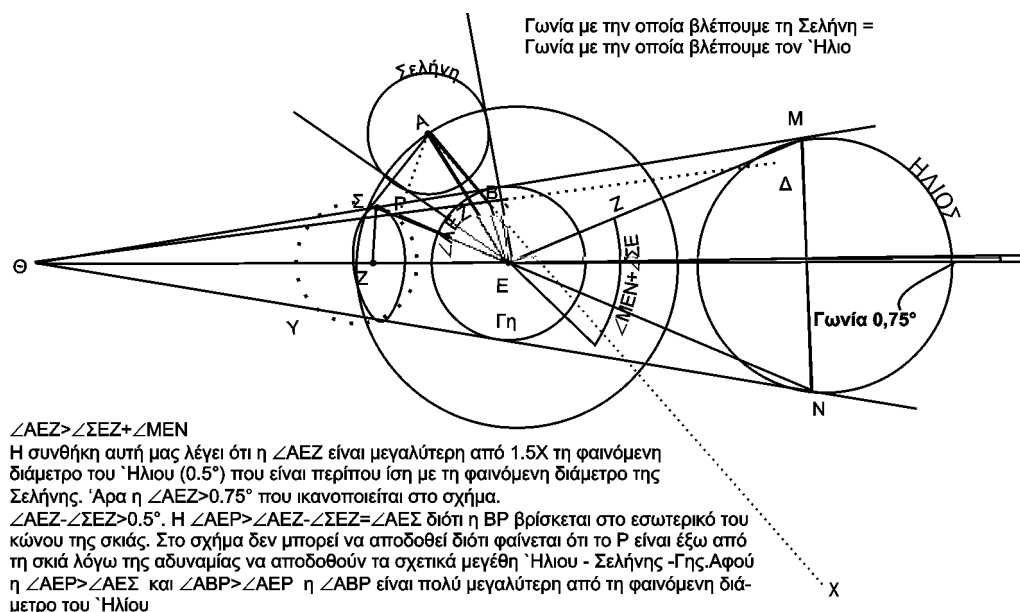
Η απόδειξη του Αλ Χαϊθάμ είναι δια της αντίφασης.

Ο τέταρτος κανόνας

Αν έχουμε δύο σημεία σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο του κύκλου που βρίσκεται στο επίπεδο τους, ανακλώνται από το κυρτό μέρος της περιφέρειας σε ένα τρίτο σημείο, και το τόξο που χωρίζει τις ευθείες που συνδέουν τα δύο σημεία με το κέντρο είναι μεγαλύτερο από αυτό που χωρίζουν τα δύο σημεία ανάκλασης.

Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός του Ηλίου από την επιφάνεια της Σελήνης προς ένα σημείο της επιφάνειας της Γης.

Ο Αλ Χαϊθάμ διέφερε από τους γεωμέτρες που πίστευαν ότι η επιφάνεια της Σελήνης αντανακλά κατοπτρικά. Ο Αλ Χαϊθάμ παρατήρησε ότι αφού το φως της Σελήνης οφείλεται στο φως του Ηλίου, το φως της θα ανήκει στα «περιστασιακά (διάχυτα) φώτα» που από κάθε σημείο της επιφάνειας



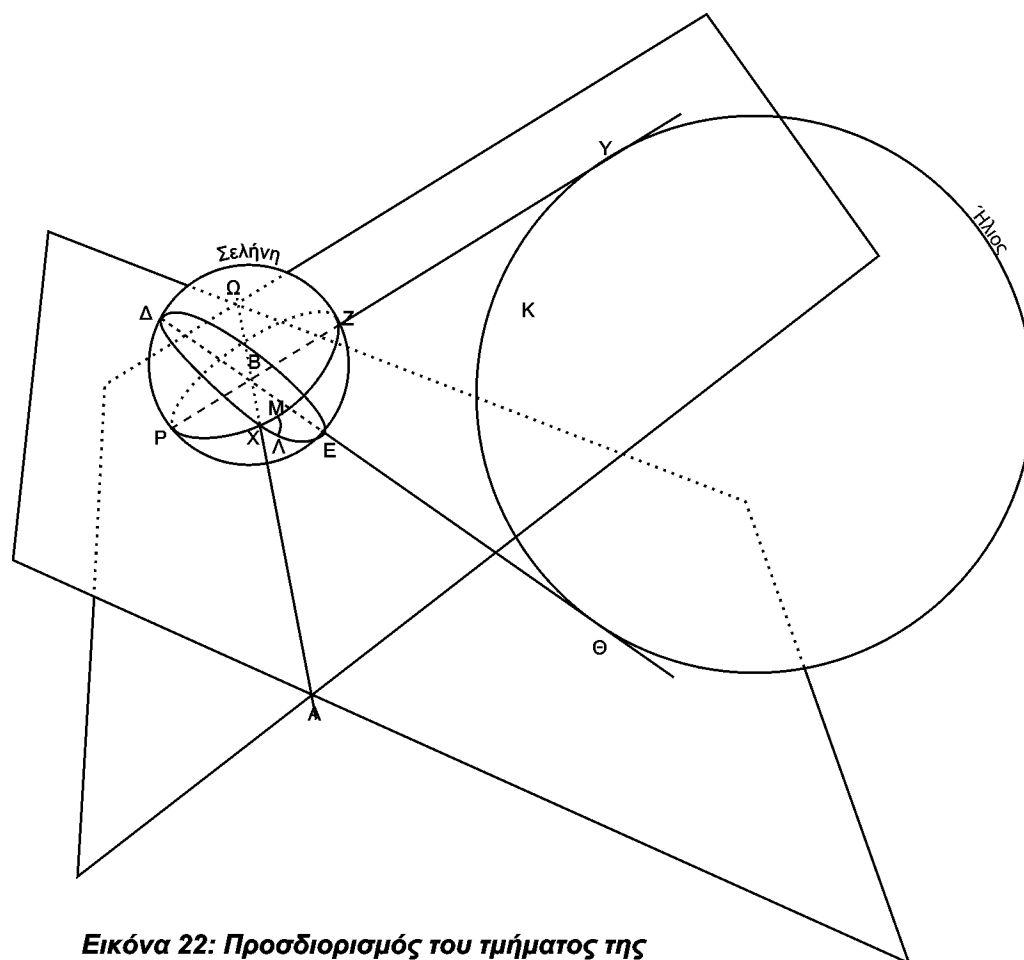
Εικόνα 21: Σχεδίαση Ηλίου και Σελήνης έτσι που οι φαινόμενες διάμετροι να είναι ίσες.

της διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Η ανάκλαση του φωτός του Ήλιου προς τη Γη δε γίνεται σύμφωνα με τους νόμους της (κατοπτρικής) ανάκλασης.

Για το σκοπό αυτό προσπάθησε να προσδιορίσει τη μέγιστη επιφάνεια της Σελήνης από την οποία θα μπορούσε να ανακλαστεί κατοπτρικά το φως του Ήλιου προς κάποια τοποθεσία της Γης. Διαπιστώνει γεωμετρικά ότι δεν είναι παρά ένα μικρό τμήμα της επιφάνειας της.

Για τον υπολογισμό αυτό απέδειξε και χρησιμοποίησε τους κανόνες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Για την μελέτη του αυτή ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε τη θέση της Γης, της Σελήνης και του Ήλιου. Στη συνέχεια ασχολήθηκε με το τμήμα που επιτρέπει την ανάκλαση του φωτός προς τη Γη. Στο τρίτο μέρος υπολογίζει το εύρος αυτής της επιφάνειας και στο τέταρτο μέρος το μήκος της.



Εικόνα 22: Προσδιορισμός του τμήματος της Σελήνης που ανακλά προς τη Γη

Προσδιορισμός των θέσεων.

Ο Αλ Χαϊθάμ μελετά τις περιπτώσεις που η προέκταση της ευθείας που ενώνει το κέντρο της Σελήνης προς την υπό μελέτη τοποθεσία της Γης δεν περνά από το κέντρο του Ήλιου.

Έδωσε την ακόλουθη γριφώδη φράση: «Έστω ευθεία από το κέντρο της Σελήνης σε ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης και μέσα στη σκιά της Γης. Αν η Σελήνη βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα αυτού του σημείου, τότε η απόσταση του κέντρου της από αυτό το σημείο προς το σημείο που είναι απέναντι από το κέντρο του Ήλιου πάνω στον μέγιστο κύκλο που περνά από τα κέντρα του Ήλιου και της Σελήνης, είναι τόξο που δεν είναι μικρότερο από αυτό που διαγράφει η ακτίνα της σκιάς της Γης και η διάμετρος του σώματος του Ήλιου. Η ευθεία δε συναντά τίποτε από το σώμα του Ήλιου (Ναζίφ σελ. 392)».

Δεν είναι καταρχήν ξεκάθαρη η έννοια της φράσης αυτής. Με τη φράση «μέγιστο κύκλο που διέρχεται από το κέντρο του Ήλιου και της Σελήνης», εννοεί τον κύκλο που σχηματίζεται από το επίπεδο που περνά από τα κέντρα του Ήλιου, της Σελήνης και της Γης και συναντά την ουράνια σφαίρα. Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων που μετρούνται από ένα τόξο της περιφέρειας αυτού του κύκλου, είναι η γωνία που ορίζουν αυτά τα δύο σημεία με το κέντρο αυτού του κύκλου. Με κύκλο της σκιάς εννοεί την τομή της σκιάς της Γης με την τροχιά της Σελήνης. Η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη σε μια κυκλική τροχιά με κέντρο το κέντρο της Γης που είναι και κέντρο της ουράνιας σφαίρας. Η ακτίνα της τροχιάς είναι η

απόσταση του κέντρου της Σελήνης από το κέντρο της Γης. Έστω ότι το σημείο E είναι το κέντρο της Γης, A το κέντρο της Σελήνης και το επίπεδο του σχήματος είναι το επίπεδο των κέντρων Ήλιου, Γης και Σελήνης, Θ είναι η κορυφή του κώνου της σκιάς. Η τροχιά της Σελήνης γύρω από τη Γη είναι μια σφαίρα κέντρου E και ακτίνας EA που τέμνει τον κώνο της σκιάς της Γης σε κύκλο με κέντρο Z που βρίσκεται πάνω στον άξονα του κώνου και έστω Σ ένα σημείο στην περιφέρεια του (εικόνα 20).

Συνθήκη θέσεων κατά τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Στην περίπτωση αυτή αν $\angle AEZ$ είναι όχι μικρότερη από τη γωνία που διατέμνει η διάμετρος του Ήλιου στο E συν τη $\angle SEZ$ που την διατέμνει στο E η ακτίνα της σκιάς τότε ***η ευθεία που ενώνει το A με οποιοδήποτε σημείο όπως το B στην επιφάνεια της Γης που βρίσκεται στη σκιά δε συναντά τον Ήλιο αν την προεκτείνουμε.***

Η απόδειξη της πρότασης του Αλ Χαϊθάμ υποδεικνύεται στις εικόνες 20 και 21.

Προσδιορισμός του τμήματος της επιφάνειας της Σελήνης που επιτρέπει να ανακλά το φως του Ήλιου προς τη Γη

Αν θεωρήσουμε ότι το κέντρο της Σελήνης είναι το σημείο B , η τοποθεσία στη Γη είναι το σημείο A και η ευθεία AB δε συναντά το σώμα του Ήλιου, και αν θεωρήσουμε δύο επίπεδα που διέρχονται από την ευθεία AB και τα οποία εφάπτονται στον Ήλιο, τότε αυτά τέμνουν την επιφάνεια της Σελήνης κατά τους κύκλους $\Delta XE\Omega\Delta$, και $PXZ\Omega P$, όπου οι δύο κύκλοι συναντούνται στα Ω και X (εικόνα 22).

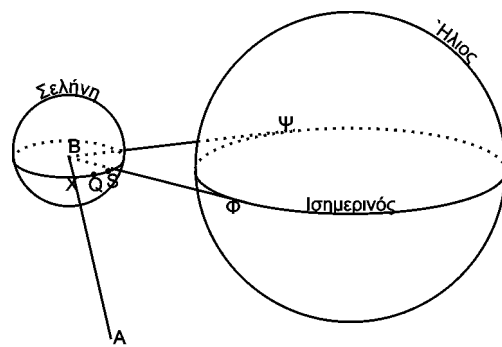
Για να ανακλάται ένα σημείο της επιφάνειας του Ήλιου προς το A θα πρέπει να βρίσκεται η ανάκλαση του στο επίπεδο που είναι κατακόρυφο προς την επιφάνεια της Σελήνης ή στο επίπεδο που βρίσκεται το σημείο αυτό και η ευθεία AB . Αυτό μας υποχρεώνει να θεωρήσουμε ως το τμήμα που ανακλά το φως του Ήλιου αυτό που περιορίζεται από τους δύο κύκλους.

Έστω ότι ο Ήλιος βρίσκεται σε μία πλευρά της AB έστω μεταξύ της XZ και EX . Φέρουμε την ευθεία $B\Theta$ στο επίπεδο του κύκλου $EX\Omega$ που εφάπτεται στον Ήλιο και συναντά τον κύκλο στο E , φέρουμε και την ευθεία BY στο επίπεδο $XZ\Omega$ που εφάπτεται στον Ήλιο και συναντά τον κύκλο στο Z .

Το σημείο της ανάκλασης του Θ προς A βρίσκεται αναγκαστικά στο τόξο EX , παρόμοια το σημείο της ανάκλασης από το Y προς το A βρίσκεται στο τόξο XZ . Αν θεωρήσουμε ένα τυχόν σημείο K στην επιφάνεια του Ήλιου, αυτό ανακλάται από ένα σημείο της επιφάνειας της Σελήνης που βρίσκεται πάνω σε ένα τόξο μέγιστου κύκλου που το ένα του άκρο είναι το σημείο που συναντά η ευθεία που φέρεται από το K προς το κέντρο της Σελήνης και το άλλο του σημείο είναι το σημείο που συναντά η ευθεία από το A στο κέντρο της Σελήνης την επιφάνεια της.

Προσδιορισμός του εύρους της περιοχής που επιτρέπει την ανάκλαση του φωτός.

Για να υπολογίσει το εύρος της περιοχής ο Αλ Χαϊθάμ υπολογίζει τα σημεία που είναι μεταξύ $B\Theta$ και BY .



Εικόνα 23: Προσδιορισμός του τμήματος της Σελήνης που ανακλά προς τη Γη

Η απόσταση μεταξύ των κέντρων του Ήλιου και της Σελήνης διατέμνει στο κέντρο της Γης μια γωνία που δεν είναι λιγότερη από 90° . Η έννοια αυτού από αστρονομική άποψη είναι ότι στην πανσέληνο (Αλ ιστικμπαλά **الإستقبلات**) και στο τέταρτο (Αλ ταρμπιάτ **التربعات**) όταν δηλαδή περισσότερο από το μισό της Σελήνης είναι ορατό, οι γωνίες που διατέμνουν οι ΘΒ και ΥΩ στο κέντρο της Γης δεν είναι μικρότερες από μία ορθή.

Οι δύο ευθείες ΒΘ και ΥΒ «είναι μεγαλύτερες από την ευθεία που ενώνει οποιοδήποτε σημείο εκλεχθεί από το κέντρο του Ήλιου και του κέντρου της Γης».

Αν ονομάσουμε την ακτίνα της Σελήνης ρ_s μπορούμε να δούμε ότι ο Αλ Χαϊθάμ έκανε τις ακόλουθες παραδοχές με βάση τα δεδομένα του Πτολεμαίου:

και $\Theta\Upsilon <$ διάμετρος του Ήλιου. Σύμφωνα με τα δεδομένα του Αλ Χαϊθάμ η διάμετρος του Ήλιου είναι και εξ' αυτού έχουμε ότι:

Η γωνία ΖΒΕ θα είναι μικρότερη από 0.0094 rad ή σε μοίρες μικρότερη από $33''$.

Αυτή είναι η βασική σκέψη του Αλ Χαϊθάμ.

Ο ίδιος γράφει για την ευθεία ΕΖ ότι «είναι μικρότερη από ένα μέρος σε τέσσερις χιλιάδες μέρη της διαμέτρου του σώματος του Ήλιου»

Τα δεδομένα του ο Αλ Χαϊθάμ τα πήρε από τη Μεγίστη Σύνταξη του Πτολεμαίου και είναι περίπου το ένα εικοστό των παραδεκτών τιμών σήμερα.

Αν ονομάσουμε το σημείο της ανάκλασης του Θ προς Α από το τόξο ΕΧ με το γράμμα Λ, αφού το Θ είναι το μακρύτερο σημείο από την ανακλαστική επιφάνεια, από τον τέταρτο κανόνα του Αλ Χαϊθάμ, το σημείο Λ χωρίζει το τόξο ΕΧ σε δύο τμήματα που το μικρότερο ακολουθεί το Χ, το μήκος του τόξου ΧΛ είναι μικρότερο από το μισό του τόξου ΕΧ (εικόνα 22).

Ο Αλ Χαϊθάμ αποδεικνύει ότι το τόξο ΛΜ < 17 δεύτερα.

Αν λάβουμε ένα τυχόν σημείο Κ στο επίπεδο των ευθειών ΥΒ και ΒΘ αυτό ανακλάται προς το Α πάνω σε ένα τόξο μέγιστου κύκλου που ορίζεται από το σημείο στο οποίο συναντά η ΒΚ την Σεληνιακή σφαίρα με το Χ, και η γωνία που βλέπει αυτό το τόξο το σημείο Β είναι ίση με τη γωνία που διατέμνει κάθε ένα από τα τόξα ΧΕ και ΧΖ στο Β. Το μήκος του κάθε ενός από αυτά τα τόξα είναι ίσα. Το σημείο ανάκλασης βρίσκεται σε μια όμοια θέση όπως τα Λ και Μ στα δύο τόξα. Θα βρίσκεται λοιπόν πάνω στο τόξο ΜΛ ενός μέγιστου κύκλου της Σεληνιακής επιφάνειας (εικόνα 22).

Κατά συνέπεια το σύνολο των σημείων της Ηλιακής επιφάνειας μεταξύ των Υ και Θ θα βρίσκονται στο τόξο ΛΜ χωρίς να ξεπερνούν τα όρια του. Το τόξο ΛΜ δίνει το εύρος της περιοχής που ανακλά το Ηλιακό φως.

Προσδιορισμός του μήκους της επιφάνειας που επιτρέπει να ανακλάται το φως

Για την εξαγωγή του μήκους της επιφάνειας φέρουμε το επίπεδο που διέρχεται από την ευθεία ΑΒ και το κέντρο του Ήλιου. Το επίπεδο αυτό συναντά την επιφάνεια της Σελήνης σε ένα μέγιστο κύκλο ΝΣΧ και φέρουμε τις ευθείες ΒΨ και ΒΦ που εφάπτονται στον ισημερινό του Ήλιου. Η πρώτη συναντά την περιφέρεια στο Ν και η δεύτερη στο Σ. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το τόξο ΝΣ είναι μικρότερο από 34 δεύτερα. Η γωνία ΑΒΨ είναι μεγαλύτερη από την γωνία ΑΒΦ, επειδή ΒΨ=ΒΦ, από τον τέταρτο κανόνα του Αλ Χαϊθάμ, το σημείο ανάκλασης του Ψ προς το Α θα είναι μακρύτερα από το σημείο ανάκλασης του Φ προς το Α. Έστω ότι το πρώτο σημείο είναι το σημείο S και το δεύτερο είναι το σημείο Q. Το τόξο SQ είναι αναγκαστικά μικρότερο από το τόξο ΝΣ. Κάθε σημείο που βρίσκεται μεταξύ των ευθειών ΒΨ και ΒΦ ανακλάται προς το Α από ένα σημείο του τόξου SQ. Άρα τα σημεία ανάκλασης όλων των σημείων του Ήλιου που βρίσκονται στο επίπεδο των ευθειών ΒΨ και ΒΦ θα ανακλώνται μέσα στο τόξο QS.

Το τόξο QS είναι το μέγιστο τόξο που ανακλάται στη Γη στο σημείο Α. Το μήκος δε ξεπερνά τα 34 δεύτερα. Άρα στο πρώτο και τελευταίο τέταρτο της Σελήνης το τμήμα που θα βλέπαμε δε θα περνούσε ένα τόξο με μήκος 34 δεύτερα και πλάτος μια γωνία που προς το κέντρο της Σελήνης θα ήταν μέχρι 17 δεύτερα. Αυτό όμως δε συμβαίνει (εικόνα 23).

Συμπεράσματα

Στην πειραματική μέθοδο του Αλ Χαϊθάμ για τα φαινόμενα της ανάκλασης υπάρχει προσπάθεια για έλεγχο όλων των υποθέσεων. Τα θέματα που αφορούν τη μελέτη του για την περιοχή που είναι «απέναντι» από τον παρατηρητή, η συμμετρία της ανάκλασης και οι διάφοροι κανόνες για την ανάκλαση από κυρτά σφαιρικά κάτοπτρα δε φαίνεται να απασχολούν τη σημερινή οπτική (π.χ. Αλεξόπουλος 1960, Hecht 1987). Η θεωρία του για τα είδωλα δεν ανταποκρίνεται στη σημερινή, πράγμα που οφείλεται στη λανθασμένη του θεωρία για την όραση.

Ο Αλ Χαϊθάμ όμως εφάρμοσε τους κανόνες που βρήκε για τη σφαιρική ανάκλαση στην ερμηνεία του για τη φύση της επιφάνειας της Σελήνης. Η ερμηνεία αυτή είναι πολύ χρήσιμη στη διδακτική και εξετάζεται στο 9ο κεφάλαιο.

Κοίλα Κάτοπτρα

Πως ανακλάται μια παράλληλη δέσμη σε μια κοίλη σφαιρική επιφάνεια.

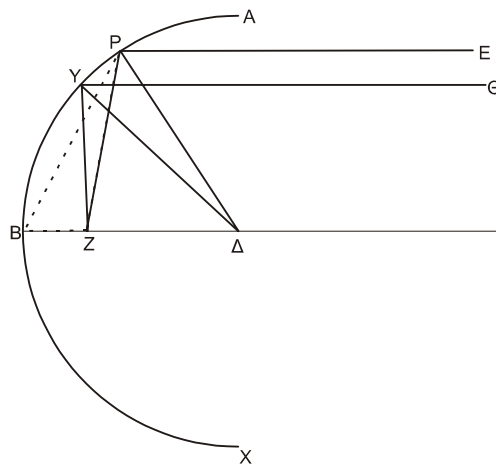
Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε τα σφαιρικά κάτοπτρα, σφαιρικά τμήματα ή δακτυλίους και προσπάθησε να εφαρμόσει τις έρευνές του για την εξήγηση του ουράνιου τόξου (κεφ. 8).

Έδωσε πολλές γεωμετρικές αποδείξεις για την ανάκλαση των παράλληλων δεσμών του Ήλιου θέλοντας να τελειοποιήσει τα «καίοντα κάτοπτρα».

Δίνει ως όριο του κατόπτρου ένα ημισφαίριο, σε ορισμένα θέματα όμως θεωρεί ολόκληρη την εσωτερική επιφάνεια μιας κοίλης σφαίρας ως κάτοπτρο. Θεωρεί την περίπτωση που ο οπτικός άξονας ή όπως τον ονομάζει «βέλος του κατόπτρου» (ساخم ال مارأة سهم) κατευθύνεται προς τον Ήλιο. Δίνει πέντε **θέματα - κανόνες** (قضية قضية).

Πρώτο θέμα: «Αν κάθε κοίλο κάτοπτρο του οποίου η επιφάνεια είναι μικρότερη από ένα ημισφαίριο, κατευθυνθεί προς τον Ήλιο έτσι που ο άξονάς του να καταλήγει στο σώμα του Ήλιου, οι ακτίνες που έρχονται από τον ήλιο παράλληλα, ανακλούνται και περνάνε από τον άξονά του».

Έστω ΕΡ μια παράλληλη ακτίνα προς τον άξονα του κατόπτρου ΔΒ (Δ το κέντρο του κατόπτρου), τότε θα έχουμε: γωνία ΔΡΖ = γωνία ΔΡΕ. Η γωνία ΔΡΖ είναι οξεία, καθώς το κάτοπτρο είναι το πολύ ένα ημισφαίριο (εικόνα 1).



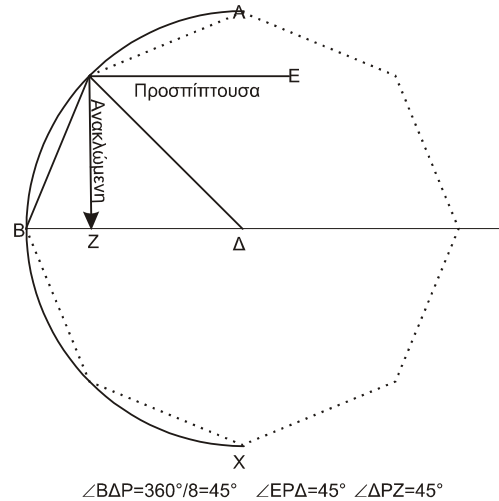
Εικόνα 1: Πρώτο θέμα

Αν φανταστούμε τον άξονα ΔΒ σταθερό και περιστρέψουμε το σχήμα γύρω του το Ρ διαγράφει κύκλο. Κάθε σημείο πάνω του έχει την αναλογία προς το Ζ όπως το σημείο Ρ. Με αυτόν τον τρόπο απέδειξε ο Αλ Χαϊθάμ ότι όλες οι ακτίνες που έρχονται από τον Ήλιο παράλληλα προς τον άξονα και καταλήγουν στην περιφέρεια αυτού του κύκλου ανακλώνται περνώντας από το σημείο Ζ.

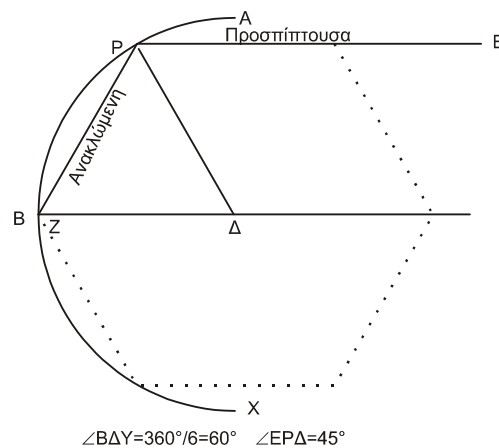
Δεύτερο θέμα: «Σε κάθε σημείο του άξονα στο οποίο ανακλώνται ακτίνες από την περιφέρεια ενός κύκλου, δεν ανακλώνται άλλες ακτίνες εκτός από αυτές».

Αν $\angle P\Delta B = \angle \Delta PZ$ τότε $Z\Delta = ZP$. Όμοια $Z\Delta = ZY$ (εικόνα 1). Αυτό όμως είναι αντίφαση.

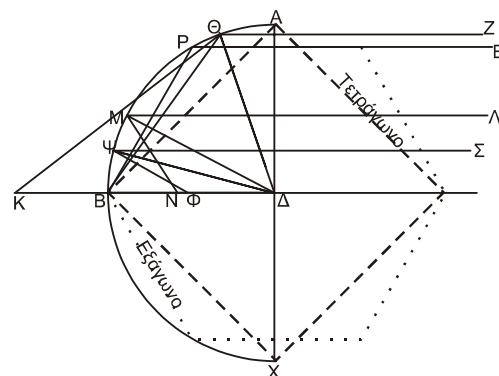
Τρίτο θέμα: «Όλα τα σημεία του άξονα στα οποία ανακλώνται ακτίνες, βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από το $1/4$ της διαμέτρου από το κέντρο της σφαίρας».



Εικόνα 2: Τέταρτο θέμα



Εικόνα 3
Πέμπτο θέμα: Ανακλώμενη που διέρχεται από κορυφή



Εικόνα 4
Πέμπτο θέμα: Γενική περίπτωση

Έστω ότι EP ανακλάται από το P στο Z, έχουμε $Z\Delta = ZP$, αφού $ZP > ZB$ συνεπάγεται $Z\Delta > ZB$ (εικόνα 1).

Άρα $ZE > 1/2 \Delta B = 1/4$ διαμέτρου.

Τέταρτο θέμα: «Όταν τα σημεία πρόσπτωσης έχουν από την κορυφή του κατόπτρου απόσταση ίση με την ακμή κανονικού οκταγώνου που εγγράφεται στον κύκλο τότε οι ανακλώμενες ακτίνες είναι κάθετες προς τον άξονα και διέρχονται από το κέντρο του κύκλου.» (εικ. 2).

Πέμπτο θέμα: «Όλες οι ακτίνες που προσπίπτουν σε ένα κατόπτρο έτσι που τα σημεία πρόσπτωσης να έχουν από την κορυφή ίση απόσταση με την ακμή κανονικού εγγεγραμμένου εξαγώνου, τότε ανακλώνται προς την κορυφή του κατόπτρου, ενώ αυτές που οι αποστάσεις τους από την κορυφή των σημείων πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερες από την ακμή του εξαγώνου και μικρότερες από την ακμή του τετραγώνου ανακλώνται σε ένα σημείο που είναι έξω από τη σφαίρα. Αυτές στις οποίες η απόσταση του σημείου πρόσπτωσης είναι μικρότερη από την ακμή του εξαγώνου, ανακλώνται προς ένα σημείο μέσα στη σφαίρα. Για κάθε ακτίνα που προσπίπτει πιο κοντά προς την κορυφή του κατόπτρου, η ανακλώμενη διέρχεται πιο κοντά από το κέντρο της σφαίρας»

Θεωρούμε την εικόνα 4:

$BA =$ ακμή εγγεγραμμένου τετραγώνου στον κύκλο του κατόπτρου.

$BP =$ ακμή εγγεγραμμένου εξαγώνου.

EP: προσπίπτουσα, ανακλάται προς PB

Αν Θ το σημείο ανάκλασης επί της AP (μεταξύ των κορυφών P του

εξαγώνου και Α του τετραγώνου), τότε η $B\Theta >$ ακμή εξαγώνου και $B\Theta <$ ακμή τετραγώνου, $\angle\Theta\Delta B > \angle\Delta\Theta B$ και $\angle Z\Theta\Delta = \angle\Theta\Delta B$.

Φέρουμε την ΘK έτσι που $\angle\Delta\Theta K = \angle Z\Theta\Delta$.

Η $\angle\Delta\Theta K > \angle\Delta\Theta B$. Η ΘK συναντά τον οπτικό άξονα σε ένα σημείο πιο μακριά από το κέντρο Β

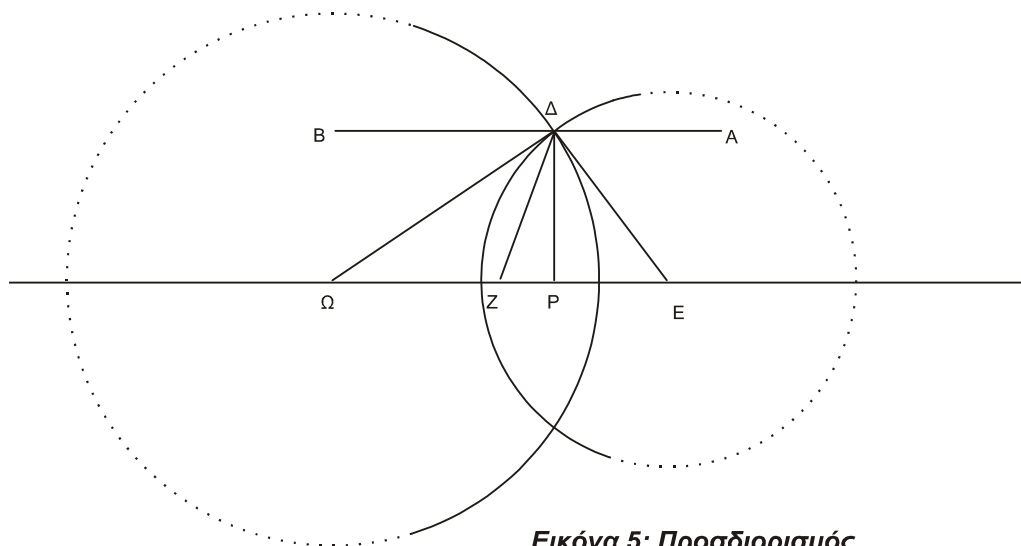
Αν το Μ βρίσκεται στο τόξο ΒΡ, έτσι που $BM < B\Delta$, άρα $\angle B\Delta M < \angle\Delta MB$.

Αν φέρουμε ΜΝ ώστε $\angle\Delta MN = \angle B\Delta M$ και $M\Lambda //$ άξονα, τότε $\angle\Delta MN = \angle\Lambda M\Delta$, δηλ. το Μ ανακλά προς ένα σημείο μεταξύ Δ και Β.

Όμοιο από ένα πιο κοντινό σημείο Ψ, η παράλληλη προς τον άξονα θα ανακλάται στο Φ μεταξύ Ν και Δ.

Η έννοια της εστίας (μπουούρα **بؤرة**) ως ορίου για τον Ιμπν Αλ Χαϊθάμ

Είναι προφανές ότι ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε ιδιαίτερη σημασία στην ανάκλαση των παράλληλων ακτινών προς τον οπτικό άξονα. Όπως έδειξε, οι ακτίνες δε συγκεντρώνονται σε ένα σημείο, παρά μόνο οι ακτίνες που προέρχονται από ένα συγκεκριμένο κύκλο. Στο πέμπτο θέμα έδωσε την ακμή του κανονικού εξαγώνου ως το όριο της απόστασης του σημείου πρόσπτωσης που δίνει ανάκλαση πάνω στην κορυφή του κατόπτρου. Καθώς η απόσταση από την κορυφή γίνεται μικρότερη, το σημείο απ' όπου διέρχεται η ανακλώμενη ακτίνα πλησιάζει το κέντρο. Με το τρίτο θέμα διαπιστώνει ότι η απόσταση από το κέντρο είναι πάντοτε μεγαλύτερη από το ένα τέταρτο της διαμέτρου. Αν πλησιάσει το σημείο ανάκλασης την κορυφή του κατόπτρου, ελαττώνεται η απόσταση αλλά η γνωστή από τα σχολικά εγχειρίδια σχέση εστιακής απόστασης με ακτίνα ($f=R/2$, f εστιακή απόσταση, R ακτίνα) δεν είναι παρά ένα όριο. Η εστία στον Αλ Χαϊθάμ είναι μια προσεγγιστική έννοια. Αναφέρεται πιο πολύ στο «*εύρος*» της εστίασης (*arv* **عرض**), η οποία είναι μια πεπερασμένη περιοχή όπου συγκεντρώνονται οι ανακλώμενες ακτίνες.



Εικόνα 5: Προσδιορισμός της ακτίνας του κατόπτρου

Προσδιορισμός της ακτίνας σφαιρικού δακτυλίου για εστίαση σε ένα ορισμένο σημείο.

Ο Αλ Χαϊθάμ ασχολήθηκε με μια γεωμετρική μέθοδο για τη λύση του εξής προβλήματος:

Αν έχουμε ένα κύκλο γνωστής διαμέτρου, πώς θα προσδιορίσουμε την ακτίνα της σφαίρας του κατόπτρου πάνω στην οποία θα τοποθετήσουμε αυτόν τον κύκλο για να ανακλά τις ακτίνες σε ένα σημείο που βρίσκεται σε μια δεδομένη απόσταση από το κέντρο του κύκλου;

Έστω ότι η ακτίνα του κύκλου είναι ΔP και το ζητούμενο σημείο εστίασης βρίσκεται στο Z . Σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο τρίγωνο με ορθή γωνία στο P και με υποτείνουσα τη ΔZ . Προεκτείνουμε την πλευρά PZ προς το E και το Ω έτσι, ώστε $EZ = Z\Omega = Z\Delta$. Η ζητούμενη σφαίρα θα είναι είτε αυτή που έχει κέντρο το E με ακτίνα $E\Delta$ είτε η σφαίρα με κέντρο Ω και ακτίνα $\Omega\Delta$. Αν φέρουμε την ευθεία $\Delta B // E\Omega$, είναι εύκολο να δούμε ότι η $\Delta\Delta$ ανακλάται από την πρώτη επιφάνεια από το σημείο Δ στο Z , παρόμοια και για τη δεύτερη επιφάνεια. Αν περιστρέψουμε το σχήμα γύρω από τον άξονα $E\Omega$, ο κύκλος με κέντρο P και ακτίνα $P\Delta$ είτε βρίσκεται στην πρώτη είτε στην δεύτερη σφαιρική επιφάνεια, θα δίνει εστίαση στο Z .

Εξήγηση για τον τρόπο ανάμματος φωτιάς με τη βοήθεια του κοίλου κατόπτρου και εξαγωγή της έννοιας της καμπυλότητας.

Ο Αλ Χαϊθάμ συμφωνεί με τους οπαδούς της γεωμετρικής άποψης ότι το φως που εκπέμπεται από φωτεινά σώματα είναι «φωτεινή φωτιά», είναι προσεκτικός στο να χρησιμοποιεί την έκφραση «φως» γι' αυτή την περίπτωση και προτιμά την έκφραση ακτίνες ή ακτίνα. Αναφέρει ηλιακές ακτίνες που εξέρχονται από τον ήλιο, οι οποίες κινούνται σε ευθείες και ανακλώνται σε ίσες γωνίες. Δεν αποτελούνται οι ακτίνες μόνο από φως εάν με τη λέξη φως εννοείται μόνο ο παράγοντας που επηρεάζει το μάτι. Με τη χρήση της έκφρασης «ακτίνες του Ηλίου» αντί για «ακτίνες φωτός» ο Αλ Χαϊθάμ ήθελε να δώσει μία γενίκευση για το φως πέραν από τον παράγοντα που επηρεάζει το μάτι.

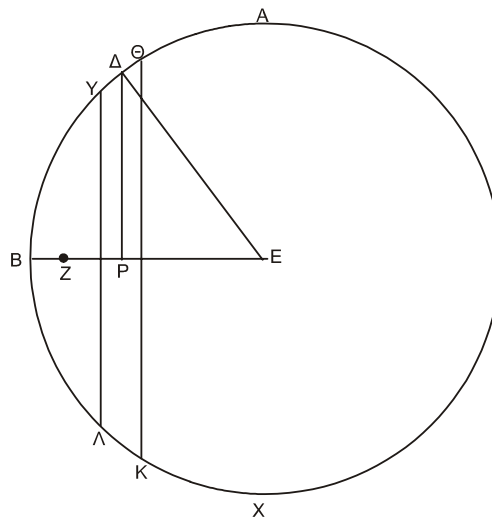
Ο Αλ Χαϊθάμ εξήγησε το άναμμα με τη βοήθεια του κοίλου κατόπτρου λέγοντας ότι όταν οι ακτίνες που ανακλώνται συγκεντρώνονται σε ένα σημείο, τότε σ' αυτό το σημείο αναπύσσεται ζέστη. Αν συγκεντρωθούν περισσότερες ακτίνες, τότε αυξάνεται η ζέστη (*χαράρα* حارة). Για να αυξήσουμε τη «δύναμη» της ζέστης, θα πρέπει να βρούμε έναν κύκλο από την περιφέρεια του οποίου θα ανακλώνται οι ακτίνες προς αυτό το σημείο. Πιθανόν η ζέστη του συνόλου των ανακλωμένων ακτινών να μην επαρκεί, γι' αυτό θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος ν' αυξηθεί. Αντί λοιπόν να θεωρούμε ένα μόνο κύκλο, θα πρέπει να θεωρούμε έναν ορισμένο δακτύλιο, που τα όρια του είναι δύο κύκλοι παράλληλοι προς τον πρώτο κύκλο. Όμως «η ζέστη δεν αυξάνει ανάλογα με την απόσταση αυτών των κύκλων». Υπάρχει όριο, «διότι, ενώ αυξάνει η ζέστη με τις ανακλώμενες ακτινοβολίες, αν τις μαζέψουμε σε σημεία κοντά στο πρώτο, η θέρμανση αυτή θα δίνεται σε ένα τμήμα του αέρα κοντά στο πρώτο σημείο (Ναζίφ σελ. 412)». Ο δακτύλιος είναι τμήμα της σφαιρικής επιφάνειας.

Πρώτη μέθοδος του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την κατασκευή του «καίοντος» κατόπτρου

Στη μέθοδο αυτή αρκείται στο να κατασκευάσει ένα δακτύλιο μικρού πλάτους. Θεωρεί το μεσαίο κύκλο του δακτυλίου με ακτίνα $P\Delta$. Έστω ότι το σημείο εστίασης βρίσκεται στη θέση Z (απόσταση PZ από κέντρο κύκλου). Προσδιορίζει την ακτίνα και τη θέση της σφαίρας πάνω στην

οποία θα βρίσκεται ο κύκλος (εικόνα 6). Δίνει λεπτομερείς οδηγίες για την κατασκευή του κατόπτρου με χρήση ατσαλένιων ελασμάτων.

Ο Αλ Χαϊθάμ στρέφει το βλέμμα του στο θέμα που ανακλύπει στην περίπτωση που το σημείο είναι έξω από την σφαίρα του κατόπτρου (εικόνα 7). Θα πρέπει να προσέξει να μην επεκταθεί το τόξο από την πλευρά του Δ παρά μόνο με μέτρο, έτσι που να μην πέφτουν οι ανακλώμενες ακτίνες από το σημείο Θ ή από τα κο-ντινά σ' αυτό το σημείο πάνω στα τμήματα του τόξου ΘΥ που είναι δίπλα στα άκρο του με τρόπο που θα εμποδι-ζουν να φτάσουν στο επιδιωκόμενο σημείο Ω. Αποδεικνύει ότι το τόξο ΔΘ θα πρέπει να είναι μικρότερο από το τόξο που ορίζεται από τα Α και Θ. (Στο Α συναντά η κάθετος στον οπτικό άξονα τον κύκλο).



Εικόνα 6: Κατασκευή ενός δακτυλίου

Το σύνθετο σφαιρικό κάτοπτρο, τρόπος κατασκευής του.

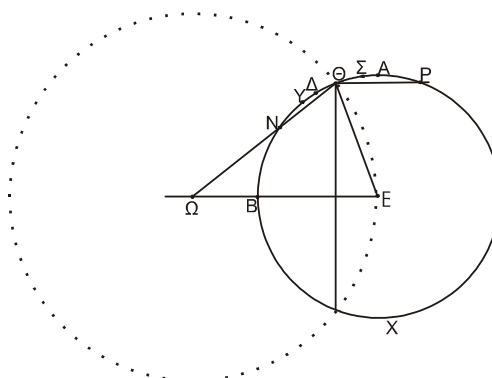
Στο κάτοπτρο αυτό η εστίαση είναι ισχυρότερη. Στο «απλό» η εστίαση εξαρτάται από τη θέση του σημείου. Λέει: «οι ανακλώμενες ακτίνες χάνουν δύναμη καθώς αυξάνει η απόσταση, εξασθενούν και έτσι δεν παράγεται αρκετή θερμότητα για άναμμα». Σ' αυτή την εξήγηση αποδίδει την εξασθένηση στην απόσταση. Ο Αλ Χαϊθάμ δεν μπόρεσε να κάνει διάκριση μεταξύ της εξασθένησης λόγω «απόκλισης» (διεύρυνσης της δέσμης) και εξασθένησης λόγω απορρόφησης.

Για να ξεπεράσει το πρόβλημα της εξασθένησης «πρέπει να βρεθεί ένα 'τέχνασμα' για την ενίσχυση των ακτινών μέχρι να φτάσουμε στο σημείο να παράγεται το άναμμα». Μελέτησε δύο περιπτώσεις.

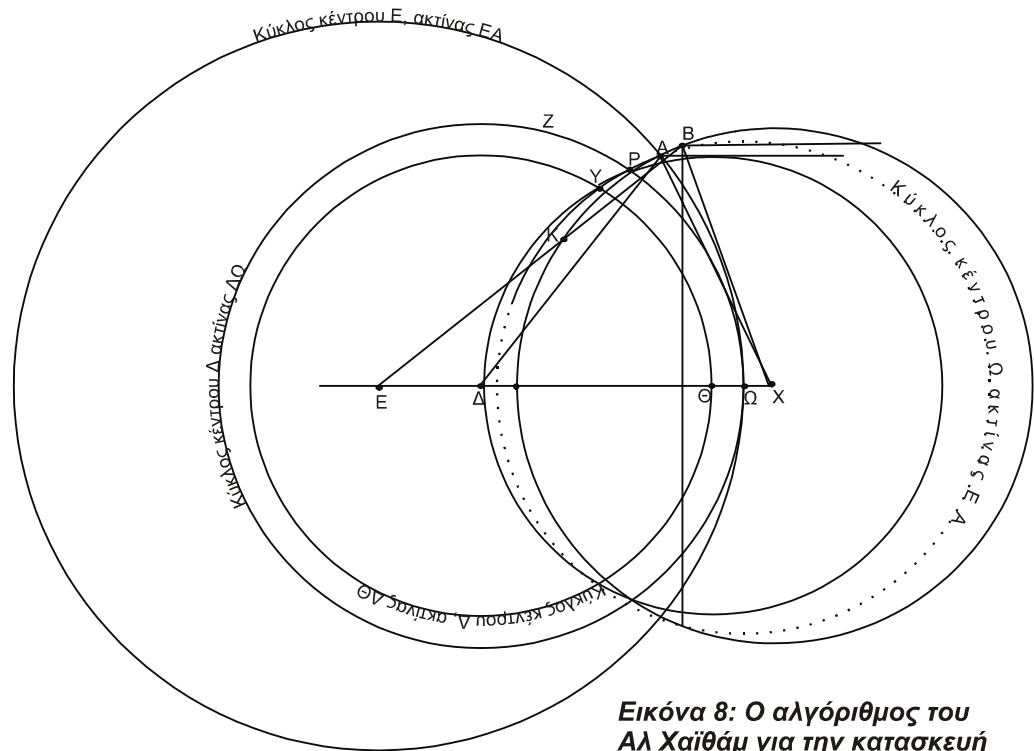
α) αν η θέση του σημείου είναι μέσα στη σφαίρα και

β) αν η θέση του σημείου είναι έξω από τη σφαίρα (του κατόπτρου).

Έστω ότι έχουμε κύκλο με κέντρο X που είναι μέγιστος κύκλος του κατόπτρου (εικόνα 8). Ο άξονάς του είναι η ευθεία EX. Οι ακτίνες που είναι παράλληλες προς τον άξονα ανακλώνται από το τόξο AB, από το A στο σημείο Δ και από το B στο σημείο E. Για τα E και Δ ισχύει: $\Delta A = \Delta X$ και $EB = EX$. Ορίζεται το σημείο Ω έτσι ώστε: $\Omega E = EA$. Βρίσκω το P ως τομή των τόξων (Δ, ΔΩ) και (Ω, ΩΑ) $\Delta P = \Delta \Omega$, άρα ΡΔ ανακλώμενη προς Δ της παράλληλης προς τον άξονα. Αφού $E\Omega = EA$, η Ε ανακλώμενη του Α στο $AP =$ τόξο (Ω, ΩΑ). Έτσι έχουμε το νέο τόξο ΡΑ με κέντρο το Ω από το οποίο οι παράλληλες ακτίνες



Εικόνα 7



**Εικόνα 8: Ο αλγόριθμος του
Αλ Χαϊθάμ για την κατασκευή
του σύνθετου κατόπτρου**

συγκεντρώνονται στο ΕΔ. Μπορούμε να βρούμε και άλλα τόξα. Σημειώνουμε το σημείο Θ έτσι ώστε $EΘ = EP$. Βρίσκουμε το Υ ως τομή των τόξων (Δ, ΔΘ) και (Θ, ΘΡ) $ΔΥ = ΔΘ$, άρα ΥΔ ανακλώμενη προς Δ της παράλληλης προς τον άξονα.

Αφού $EΘ = EP$, η ΕΡ ανακλώμενη προς Ε της παράλληλης προς τον άξονα.

Έτσι έχουμε ένα τρίτο τόξο, το ΡΥ που ανακλά τις παράλληλες προς τον άξονα μεταξύ Ε και Α.

Έτσι τα τρία τόξα ΑΒ, ΡΑ και ΥΡ ενισχύουν το φως στην περιοχή ΕΔ που είναι το εύρος της εστίασης.

Αν κατασκευαστεί το δακτυλιοειδές κάτοπτρο με σύνθετη επιφάνεια, από τα τόξα ΒΑ, ΑΡ, ΡΥ κοκ, οι παράλληλες προς τον άξονα ακτίνες συγκεντρώνονται στην περιοχή ΔΕ.

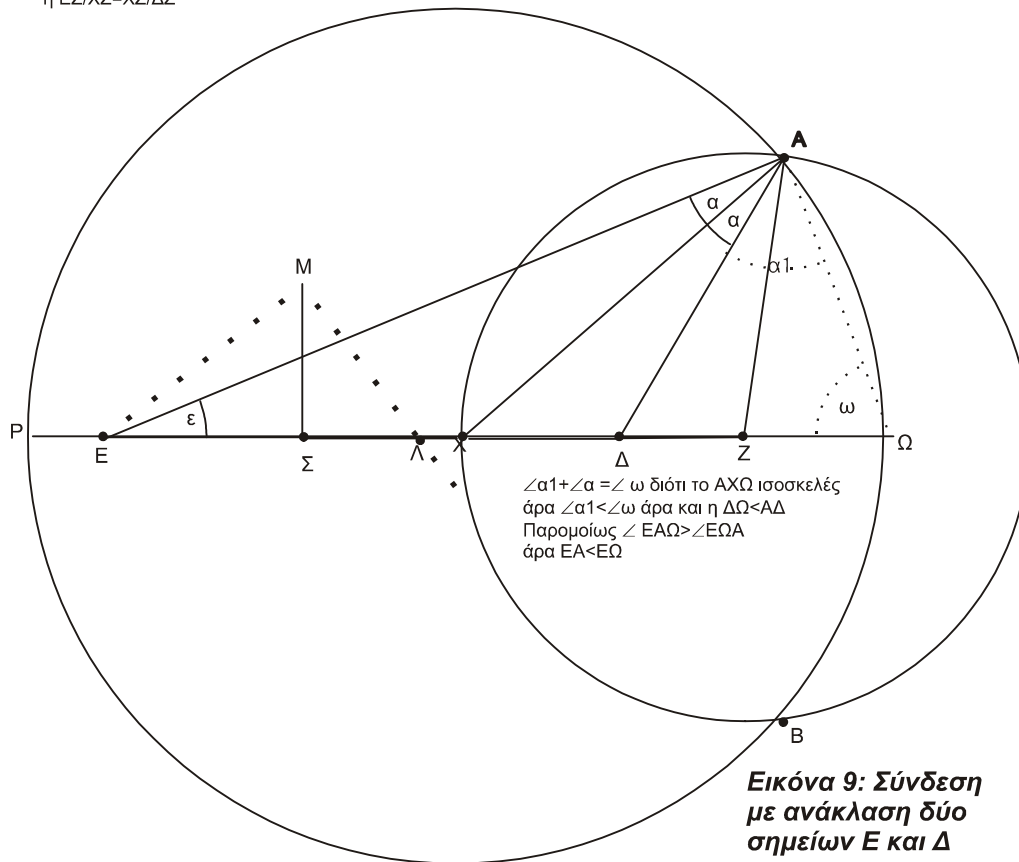
Η μέθοδος που παρουσιάστηκε λαμβάνει ως αρχικό σημείο το Δ και ως δεύτερο σημείο το Ε. Όπως παρατηρούμε από το σχήμα, τα τόξα για εστίαση προχωρούν προς το Δ. Ο αριθμός των τόξων περιορίζεται από τη γωνία. Καθώς μειώνεται η γωνία, ελαττώνεται ο αριθμός των τόξων. Αν πάρουμε ως αρχικό σημείο του αλγορίθμου το Ε, τότε προχωρούμε απομακρυνόμενοι από τα δύο σημεία Ε και Δ. Σ' αυτήν την περίπτωση μπορούμε να έχουμε πολλά τόξα. Σε πρόγραμμα του Η/Υ έχουν μπει οι δύο περιπτώσεις καθώς και παραβολές που έχουν ως εστίες είτε το σημείο Δ, είτε το Ε είτε το $(E+Δ)/2$.

Για την κατασκευή του σύνθετου κατόπτρου χρησιμοποιεί και πάλι τα φύλλα από ατσάλι.

Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την αμοιβαία ανάκλαση των δύο σημείων από την κοίλη σφαίρα

Το θέμα με το οποίο θα ασχοληθούμε σ' αυτό το κεφάλαιο ονομάζεται «πρόβλημα» της ανάκλασης του Αλ Χαϊθάμ. Οι έρευνες του Αλ Χαϊθάμ γι' αυτό το θέμα χωρίζονται σε δύο τμήματα. Στο ένα ασχολείται με την

Για την εύρεση του ΔΖ.
 Σχεδιάζω $MΣ=ΣΧ=ΧΔ$. Φέρω ΕΜ και επ' αυτής την κάθετο
 Σχεδιάζω $ΔΖ=ΣΛ$ τότε:
 $ΕΣ/ΣΜ=ΣΜ/ΣΛ$ ή $ΕΣ/ΣΧ=ΣΧ/ΔΖ$ ή $(ΕΣ+ΣΧ)/ΧΔ=(ΔΧ+ΔΖ)/ΔΖ$
 ή $ΕΧ/ΧΔ=ΧΖ/ΔΖ$ ή $ΕΧ/ΧΖ=ΧΔ/ΔΖ$ ή $(ΕΧ+ΧΖ)/ΧΖ=(ΧΔ+ΔΖ)/ΔΖ$
 ή $ΕΖ/ΧΖ=ΧΖ/ΔΖ$



Εικόνα 9: Σύνδεση με ανάκλαση δύο σημείων Ε και Δ

περίπτωση που τα δύο σημεία βρίσκονται στην ίδια διάμετρο και το δεύτερο τμήμα αφορά στην περίπτωση που δε βρίσκονται. Για το δεύτερο τμήμα της έρευνας του υπάρχουν δύο κλάδοι. Ο πρώτος κλάδος αφορά στα σημεία που βρίσκονται σε ίση απόσταση από το κέντρο του κατόπτρου, ενώ ο δεύτερος αφορά στα σημεία που βρίσκονται σε διαφορετική απόσταση.

Ανάκλαση των δύο σημείων που βρίσκονται σε μία διάμετρο του σφαιρικού κατόπτρου ή σε προέκτασή της.

Έστω ότι έχουμε τα σημεία Δ και Ε και το κέντρο του κατόπτρου Χ, με $ΧΕ > ΧΔ$. Το επίπεδο του σχήματος είναι ένα από τα επίπεδα που περνούν από τη διάμετρο του κατόπτρου και τέμνουν το κάτοπτρο στο μέγιστο κύκλο κέντρου Χ.

Φέρουμε την ΕΔ και βρίσκουμε ένα σημείο Ζ ώστε: $ΕΖ \cdot ΖΔ = ΖΧ^2$. Η μέθοδος παρουσιάζεται στην εικόνα 9 και οφείλεται στο σχολιαστή του Αλ Χαϊθάμ, τον Φαρίσι.

Σχεδιάζουμε τον κύκλο με κέντρο το Ζ και ακτίνα ΖΧ που τέμνει τον πρώτο κύκλο στα σημεία Α και Β. Τα Α και Β είναι σημεία όπου ανακλάται το φως από το Ε στο Δ στο επίπεδο του σχήματος. Αν φέρουμε τα ΑΖ, ΑΔ, ΑΧ και ΑΕ, έχουμε: $ΕΖ \cdot ΖΔ = ΖΧ^2 = ΖΑ^2$, άρα $\frac{ΕΖ}{ΖΑ} = \frac{ΖΑ}{ΖΔ}$

Αφού η γωνία Ζ στα τρίγωνα ΖΑΕ και ΖΔΑ είναι κοινή τα δύο τρίγωνα είναι όμοια. Άρα:

Άρα ΑΧ διχοτόμος της ΕΑΔ, δηλ. Ε και Δ συνδέονται με ανάκλαση.
Παρόμοια οι ΕΒ και ΔΒ είναι ζεύγη προσπίπτουσας ανακλώμενης.

Ας σημειώσουμε με Ω το σημείο που τέμνονται η διάμετρος ΕΔ με τον κύκλο από τη μεριά του Δ. Δεν έχουμε ανάκλαση αν ο λόγος $\Omega\Delta/\Omega\text{E} > \Delta\text{X}/\text{X}\text{E}$.

Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε αυτήν την περίπτωση και έδειξε ότι δεν είναι δυνατή η ανάκλαση παρά μόνο από δύο τόξα: την πρώτη τομή ή τομέας (Αλ κιτάα αλ άουλ **القطاع الأول**) και την απέναντι τομή ή τομέα (Αλ κιτάα αλ μονκάμπιλ **القطاع المقابل**). Αυτούς τους όρους τους χρησιμοποιεί επανειλημμένα. Στην εικόνα 10, αν Ε και Δ είναι τα σημεία που συνδέονται με ανάκλαση, τότε η πρώτη τομή είναι το τόξο ΡΛΘ, ενώ η απέναντι τομή είναι το τόξο ΥΚΖ όπου Λ, Κ τα μέσα των τόξων ΡΛΘ,

α) Τα σημεία βρίσκονται στους πόδες Μ, Ν των καθέτων από το Λ πάνω στις διαμέτρους
β) τα σημεία βρίσκονται πιο κοντά προς το κέντρο

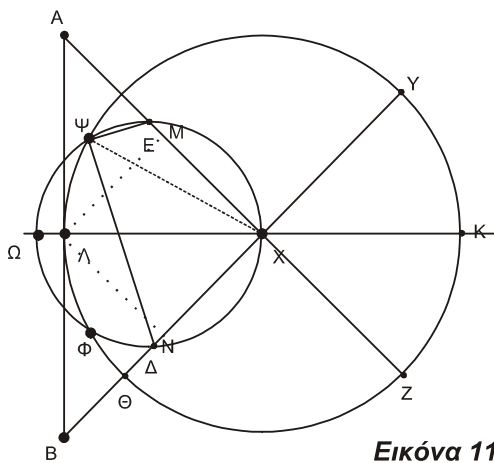
γ) τα σημεία βρίσκονται πιο μακριά από τους πόδες των καθέτων.

δ) αν τα σημεία βρίσκονται μεταξύ του κύκλου και της εφαπτομένης ΑΒ.

ε) Αν τα σημεία βρίσκονται στην εφαπτομένη.

Για τις (α) και (β) υπάρχει μόνο ένα σημείο στο τόξο ΡΘ.

Για την περίπτωση (γ) μπορούμε να δούμε ότι υπάρχουν άλλα δύο σημεία τα Φ και Ψ.



Εικόνα 11

Για την περίπτωση (δ) υπάρχει μόνο το σημείο Λ.

Ο Αλ Χαϊθάμ έδειξε με μεθόδους εις άτοπον απαγωγής ότι δεν υπάρχουν άλλα σημεία.

Για την περίπτωση (ε) τότε δεν υπάρχει σημείο πάνω στο ΡΛΘ που να επιτρέπει την ανάκλαση μεταξύ των δύο σημείων.

Σύνδεση με ανάκλαση των δύο σημείων που δε βρίσκονται σε μία διάμετρο αν οι αποστάσεις τους από το κέντρο είναι διαφορετικές

Θεωρούμε το κάτοπτρο και τις δύο διαμέτρους ΘΘ και ΖΡ (εικόνα 12).

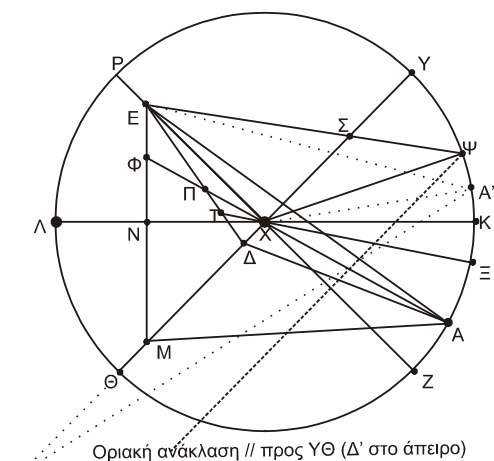
Δυνατότητα για ανάκλαση από τον απέναντι τομέα.

Φέρουμε $XM = XE$ (αυτό για όλες τις δυνατές θέσεις του Ε). Έστω Α σημείο στον απέναντι τομέα ΥΚΖ, στο τόξο ΚΖ. Φέρουμε ΕΑ και ΑΧ. Η ΑΧ τέμνει την ΕΜ στο Φ. Στα τρίγωνα ΕΧΑ, ΜΧΑ $XE = XM$, ΑΧ κοινή, γωνία $EXM >$ γωνία MXA άρα $EA > AM$. Γωνία $EA\Phi <$ γωνία $MA\Phi$. Η ευθεία που διχοτομεί τη γωνία ΕΑΜ βρίσκεται μεταξύ Ν και Μ.

$\angle EA\Phi = \angle XA\Delta$ (αφού το Δ συνδέεται με ανάκλαση), άρα το Δ βρίσκεται μεταξύ Χ και Μ.

Αν το σημείο Α είναι μεταξύ Κ και Υ το σημείο Δ θα βρίσκεται μακρύτερα από το Μ.

Αν το Ε είναι σταθερό και το Δ κινείται επί της ΧΘ, τότε και το σημείο ανάκλασης κινείται. Αν το Δ (π.χ σημείο Δ') ξεπεράσει το Μ, το σημείο ανάκλασης Α' περνά το Κ και πλησιάζει το Υ. Αν $\Sigma\Psi = \Sigma X$, τότε η ανακλώμενη γίνεται παράλληλη προς την ΥΘ, οπότε το δεύτερο σημείο βρίσκεται στο άπειρο. Έτσι το σημείο ανάκλασης Ψ είναι ένα όριο που δεν μπορεί να ξεπεραστεί.



Οριακή ανάκλαση // προς ΥΘ (Δ' στο άπειρο)
 Δ' Έστω ότι υπάρχει ένα δεύτερο σημείο ανάκλασης Ξ, στο τόξο ΑΨ. Φέρουμε την ΕΔ που τέμνει την ΑΦ στο Π και τέμνει την προέκταση της ΧΧ στο Τ. Το σημείο Τ θα βρίσκεται μεταξύ Δ και Π και $ET > EP$ & $T\Delta < P\Delta$. $E\Xi < EA$ άρα αφού $EA/ED = EP/P\Delta$ θα είναι $EA/ED < ET/T\Delta$. Για Ξ σημείο ανάκλασης, θα έχουμε $E\Xi/\Xi\Delta = ET/T\Delta$, όμως $E\Xi < EA$ και $\Delta\Xi < \Delta A$, άρα $E\Xi/\Xi\Delta < EA/ED$, άρα $E\Xi/\Xi\Delta < EP/P\Delta < ET/T\Delta$ που είναι αντίφαση.

Εικόνα 12

Δεν υπάρχει δεύτερο σημείο ανάκλασης από τον απέναντι τομέα. Η απόδειξη με εις άτοπον απαγωγή βρίσκεται στην εικόνα 12.

Ανάκλαση από δύο σημεία που διαφέρουν σε απόσταση για τον πρώτο τομέα

Αν Α Β δύο σημεία που απέχουν εξίσου από το κέντρο του κύκλου, μέσα στον κύκλο, τότε αυτά συνδέονται με ανάκλαση από τα σημεία Λ και στα Ψ και Φ που είναι σημεία της τομής του περιγεγραμμένου κύκλου γύρω από το τρίγωνο ΑΧΒ και του αρχικού κύκλου.

Από ένα τυχόν σημείο Ω του τόξου ΒΦ φέρουμε την ΨΩ και σημειώνουμε το σημείο Δ της τομής ΒΦ και ΨΩ. Βρίσκουμε το σημείο Ε έτσι που γωνία ΑΨΕ = γωνία ΒΨΩ. Τότε τα Ε και Ω συνδέονται μεταξύ τους με ανάκλαση δια του σημείου Ψ (γωνία ΕΨΧ = γωνία ΧΨΩ)

Ο «ανακλαστικός διπλασιασμός»

Εάν συνδέονται με ανάκλαση δύο σημεία που δεν απέχουν εξίσου από το κέντρο του κατόπτρου από ένα σημείο του πρώτου τομέα, ο Αλ Χαϊθάμ σχολίασε το μέγεθος της γωνίας που διατέμνουν τα δύο σημεία στο σημείο ανάκλασης, δηλαδή της γωνίας που ορίζεται από την προσπίπτουσα και την ανακλώμενη, και την ονόμασε «γωνία ανάκλασης» (*Ζαουνέιατ αλ ινικάς زوية الانعكاس*) και ο Αλ Φαρίσι στα σχόλιά του την ονόμασε «ανακλαστικό διπλασιασμό» (*νιάαφ αλινικασια ضعف الانعكاسية*), σε σχέση με τη γωνία που είναι παραπληρωματική προς τη γωνία του τομέα που ονόμασε «ακόλουθη γωνία (*τάλια تالية*)».

Ο Αλ Χαϊθάμ έκανε μια πολύ εκτεταμένη ανάλυση για τη σχέση των δύο γωνιών. Ο ίδιος έδωσε μια σύνοψη των αποτελεσμάτων του, την οποία παραθέτουμε στην επόμενη παράγραφο.

Η γενική άποψη με την οποία ξεκαθαρίζεται η σύνδεση με ανάκλαση των σημείων που έχουν διαφορετική απόσταση από το κέντρο στην επιφάνεια του κοίλου κατόπτρου.

Αν με Ε και Δ παρασταθούν τα δύο σημεία που συνδέονται με ανάκλαση και φέρουμε τις ευθείες που τα συνδέουν με το κέντρο του κατόπτρου Γ, τότε οι δύο ευθείες ορίζουν ένα επίπεδο που τέμνει το κάτοπτρο κατά ένα μέγιστο κύκλο. Η ευθεία που συνδέει τα δύο σημεία μπορεί να βρίσκεται εξ ολοκλήρου έξω από τον κύκλο ή να εφάπτεται ή να τον τέμνει. Ο Αλ Χαϊθάμ λαμβάνει όλες τις δυνατές θέσεις αυτής της ευθείας ως προς τον κύκλο και εξετάζει τις διάφορες περιπτώσεις ανάκλασης. Αν η πρώτη και η δεύτερη από τις ευθείες που ενώνουν τα σημεία με το κέντρο ανάκλασης εμποδίζουν την ανάκλαση, τότε υπάρχει ένα μόνο σημείο ανάκλασης, από τον απέναντι τομέα.

Αν η ευθεία τέμνει τον κύκλο του κατόπτρου σε δύο σημεία, τότε θεωρούμε τον κύκλο που ορίζεται από το τρίγωνο των σημείων και του κέντρου και θεωρούμε τη θέση αυτού του κύκλου προς τον κύκλο της τομής του κατόπτρου (*νταίραι αλ φασλ دائرة الفصل*) όπως στην εικόνα 13 και σχηματίζεται τότε ο κύκλος των Ε,Δ,Γ.

Στο σχήμα αυτό ο κύκλος των σημείων Δ,Ε και του κέντρου Γ του κατόπτρου είναι στο εσωτερικό του κύκλου του κατόπτρου. Αν λάβουμε ένα οποιοδήποτε σημείο του πρώτου τομέα και φέρουμε τη ΔΓ μέχρι το σημείο Ω,

μπορούμε να διακρίνουμε ότι η $\angle EAD$ (ανακλαστικός διπλασιασμός) είναι μικρότερη από την ακόλουθη γωνία που είναι η $\angle E\Gamma\Omega$.

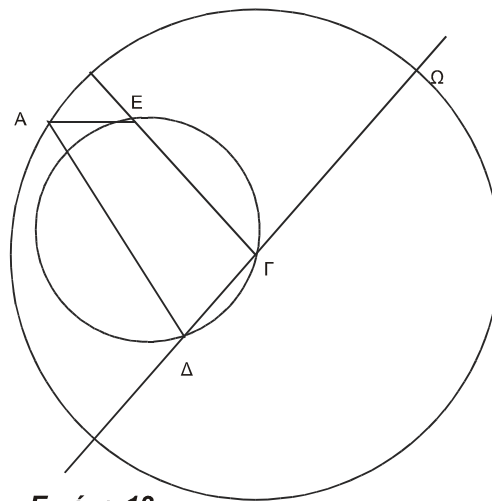
Έχουμε ακόμη μία ανάκλαση από τον «απέναντι τομέα», οπότε τελικά έχουμε δύο σημεία στα οποία έχουμε ανακλάσεις.

Η δεύτερη περίπτωση είναι να εφράπεται εσωτερικά ο κύκλος. Τότε έχουμε περίπτωση παρόμοια με την προηγούμενη.

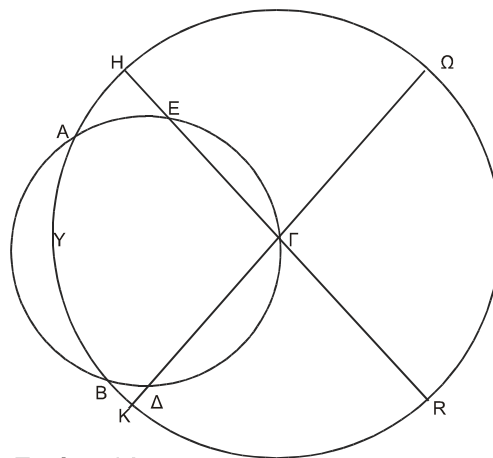
Αν ο κύκλος των Γ, Δ, E τέμνει τον κύκλο του κατόπτρου, τότε μπορεί τα δύο σημεία να βρίσκονται έξω από τον κύκλο του κατόπτρου ή το ένα να είναι εξωτερικό ως προς τον κύκλο και το άλλο να είναι στο εσωτερικό, οπότε έχουμε μια μόνο ανάκλαση από τον «απέναντι τομέα».

Αν τα σημεία που συνδέονται με ανάκλαση βρίσκονται στο εσωτερικό του κατόπτρου (σημεία E, Δ όπως στο εικόνα 14), τότε, αν έχουμε ένα σημείο Y ανάκλασης, εύκολα μπορούμε να δούμε ότι η $\angle EY\Delta$ (ανακλαστικός διπλασιασμός) είναι μεγαλύτερη από την $\angle E\Gamma\Omega$ («ακόλουθη»). Μπορούμε

να δούμε ότι αυτό μπορεί να γίνει μόνο σε δύο σημεία μέσα στο τόξο AB , και ότι αν λάβουμε ένα σημείο όπως το K στον πρώτο τομέα έξω από τον κύκλο των σημείων Γ, Δ, E τότε η $\angle EK\Delta$ (ανακλαστικός διπλασιασμός) είναι μικρότερη από την «ακόλουθη» $\angle E\Gamma\Omega$. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο σε ένα σημείο. Έτσι σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε συνολικά ανακλάσεις σε τρία σημεία από τον «πρώτο τομέα», όπου στα δύο σημεία η γωνία «ανακλαστικού διπλασιασμού» είναι μεγαλύτερη από την «ακόλουθη» και σε ένα μικρότερη. Επίσης υπάρχει ένα σημείο ανάκλασης από τον απέναντι τομέα.



Εικόνα 13



Εικόνα 14

Έρευνες του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την ανάκλαση του φωτός στο κοίλο μιας επιφάνειας από περιστροφή μιας παραβολής. (Αλ κιτάα αλ μακάφι القطع المكاني)

Ο Αλ Χαϊθάμ αναφέρεται σε εργασίες των προγενεστέρων του για τα «καίοντα» κάτοπτρα. Αναφέρει ότι αυτοί γνώριζαν ότι οι ακτίνες του Ηλίου ανακλώνται από την επιφάνεια του επίπεδου κατόπτρου από ένα σημείο προς ένα άλλο σημείο ενώ σε ένα σφαιρικό κοίλο κάτοπτρο, από την περιφέρεια ενός κύκλου προς ένα σημείο. Αναφέρεται στην κατασκευή των κοίλων κατόπτρων από πολλά επίπεδα κάτοπτρα έτσι που να συγκεντρώνουν τις ακτίνες του Ηλίου σε ένα σημείο. Αναφέρει πως οι αρχαίοι βρήκαν ότι η κοίλη επιφάνεια ενός παραβολικού τομέα ανακλά τις παράλληλες ακτίνες σε ένα σημείο. «Σ' αυτό», συνεχίζει, «αυτοί δεν έδωσαν την απόδειξη αυτής της έννοιας ούτε την πορεία της εξαγωγής



Τὼς νὰ στηρίζεται στὸ ἔργο τοῦ
 Ἀνθεμίου γιὰ τὰ «καίοντα»
 κάτοπτρα καὶ γιὰ τὴ χρῆση πολλῶν
 επιπέδων κατόπτρων γιὰ τὴν
 ἐστίαση τοῦ φωτὸς καὶ τὸ ἀνάμμα

Ο Rashed Roshdi (Α Pioneer in Anaclastics, Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses) παρουσίασε το έργο του Ιμπν Σαχλ που προηγήθηκε του Αλ Χαϊθάμ στο θέμα αυτό. Ο Ιμπν Σαχλ ήταν πολύ καλός γνώστης του Απολλώνιου και έδωσε εργαλεία κατασκευής των κωνικών τομών. Ο Ιμπν Σαχλ εκτός από το παραβολοειδές κάτοπτρο δίνει τη θεωρία για το ελλειψοειδές κάτοπτρο, οπότε παρουσιάζει το θέμα των δύο εστιών.

Ο Αλ Χαϊθάμ παίρνει μια ευθεία παράλληλη προς τον άξονα προς ένα σημείο Β και από το Β μια ευθεία προς την εστία. Σχηματίζουν με την εφαιπομένη δύο ίσες γωνίες. Λέει: «Σε κάθε παραβολική τομή φέρουμε τον άξονά της και φέρουμε την κάθετη από την εστία» (*ρουμπασα ντάλιατ αλα κάιμα ربع ضلعة القائمة*). Κάθε ευθεία που είναι παράλληλη προς τον άξονα ανακλάται προς ένα σημείο που χωρίζει αυτή την κάθετη με δύο ίσες γωνίες». Ο Αλ Χαϊθάμ στήριξε την απόδειξή του πάνω σε δύο θεωρήματα για τις κωνικές τομές.

Το πρώτο είναι ότι αν έχουμε ένα σημείο όπως το Β (εικόνα 15) και φέρουμε από την περιφέρεια της τομής την κάθετο ΒΡ πάνω στον οπτικό άξονα ΑΔ κι αν συμβολίσουμε το μήκος της με το γράμμα λ τότε $BP^2 = \lambda^2 = 4 \cdot AF \cdot AP$.

Το σημείο Ε είναι η «εστία» της παραβολής. Την έκφραση εστία τη χρησιμοποίησε ο Απολλώνιος για τις ελλείψεις και τις υπερβολές.

Το δεύτερο είναι ότι, αν σχεδιάσουμε στο σημείο Β την εφαιτομένη ΚΒΗ αυτή συναντά τον άξονα σε ένα σημείο Η και έχουμε ΑΗ=ΑΡ. Αν φέρουμε τη ΒΘ παράλληλη προς τον άξονα, τότε $\angle ΚΒΘ = \angle ΕΒΗ$

Εξετάζει τρεις περιπτώσεις ανάλογα με τα είδη της γωνίας που κάνει η ΒΕ με τον άξονα· αν έχουμε δηλαδή τη γωνία ΒΕΑ οξεία, ορθή ή αμβλεία.



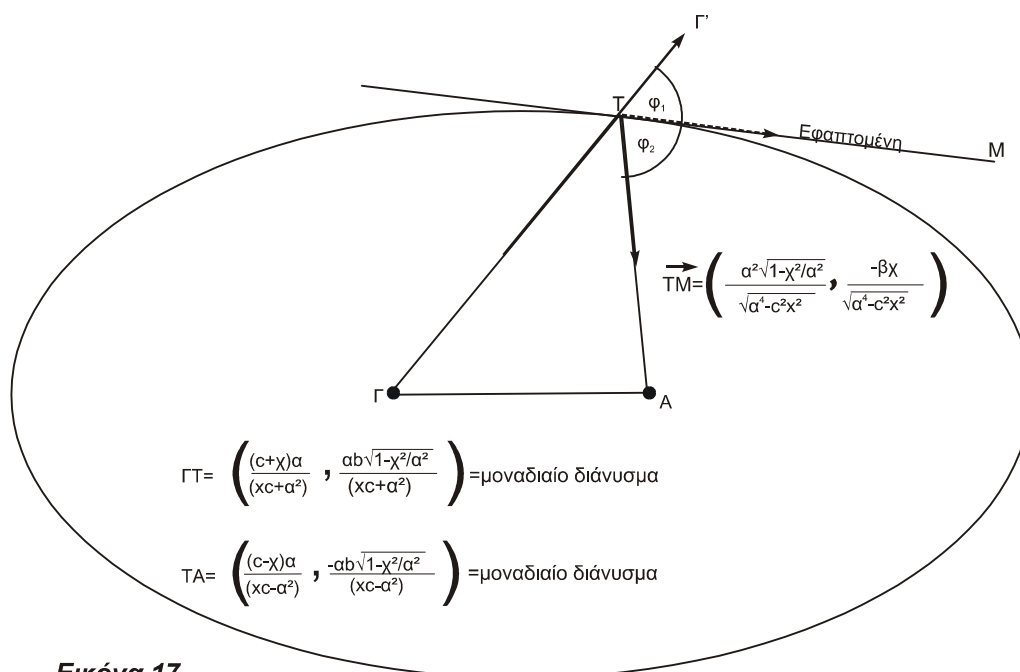
Για το τμήμα ΕΗ ισχύει $ΕΗ = ΡΗ \pm ΡΕ$, ανάλογα με το αν η γωνία ΒΕΗ είναι οξεία ή αμβλεία. Αφού $ΑΗ=ΑΡ$ θα έχουμε $ΡΗ=2ΑΡ$ και $Ε Η ^2 = 4 Α Ρ ^2 + Ρ Ε ^2 - \pm 4ΑΡ.ΡΕ=ΡΕ^2+4ΑΡ(ΑΡ\pm ΡΕ)= ΡΕ^2+4ΑΡ*ΑΕ = ΡΕ^2+ΒΡ^2=ΒΕ^2$, άρα $ΕΗ=ΒΕ$, άρα γωνία ΕΒΗ = γωνία ΕΗΒ, άρα γωνία ΘΒΚ =

γωνία EBH, άρα οι ευθείες BΘ και BE σχηματίζουν ίσες γωνίες με την εφαιπτομένη. Έτσι αποδεικνύει ότι, αν η ΘΒ είναι παράλληλη προς τον άξονα, ανακλάται έτσι που να περνά από το σταθερό σημείο E.

Περίπτωση επιφάνειας περιστροφής του παραβολοειδούς για παράλληλες ακτίνες.

Όλες οι παράλληλες ακτίνες προς τον άξονα του παραβολοειδούς περνάνε από το σημείο E. Δίνει τον τρόπο κατασκευής του κατόπτρου, όμοιο με τον τρόπο κατασκευής του σφαιρικού κατόπτρου.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι έδωσε την παραγωγή όλων των τομών με τη βοήθεια εργαλείων και έδωσε τον τρόπο σχεδιασμού των διαφόρων τμημάτων με πολλές λεπτομέρειες.



Εικόνα 17

Το ελλειψοειδές κάτοπτρο του Ιμπν Σαχλ

Κατά τον Rashed Roshdi το μόνο έργο για το ελλειψοειδές κάτοπτρο πριν από τον Ιμπν Σαχλ είναι μία προκαταρκτική μελέτη από τον Ανθέμιος από τις Τράλλεις. Ο Ανθέμιος χρησιμοποίησε την ιδιότητα των δύο εστιών και βεβαίωσε χωρίς καμία εξήγηση ότι με βάση τους νόμους της ανάκλασης μία ακτίνα από τη μία εστία ανακλάται προς τη δεύτερη εστία. Ο Ανθέμιος έδωσε και τη μέθοδο του «κηπουρού» για το σχεδιασμό των ελλείψεων.

Ο Roshdi δίνει το ακόλουθο απόσπασμα του Ιμπν Σαχλ:

Περιστρέφοντας το τόξο BZ γύρω από την ευθεία ΑΓ παράγεται μια επιφάνεια (BX), όπου το σημείο B διαγράφει ένα κυκλικό τόξο BH και το Z ένα κυκλικό τόξο ZX. Μπορεί να αποδειχτεί ότι οι ακτίνες από το Γ ανακλώνται στο A (εικόνα 16).

Αν Γ' είναι ένα τυχόν σημείο της επιφάνειας (BX), το επίπεδο ΑΓ'Γ τέμνει την (BX) κατά το τόξο Β_αΟ', μία θέση του τόξου ΖΒ, έτσι έχουμε Γ'Α +

$I'G = BA + BG$. Αν προεκτείνουμε τον GI' κατά ένα μήκος $I'B_\beta = I'A$, η διχοτόμος $B_\gamma I'B_\delta$ της $\angle AI'B_\beta$ εφάπτεται στο τόξο $B_\alpha O'$ στο I' .

Ο Ιμπν Σαχλ αποδεικνύει αυτό καθώς και τη μοναδικότητα της εφαπτομένης δια της εις άτοπον απαγωγής.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αναλυτική γεωμετρία (εικόνα 25) για να δείξουμε ότι η εφαπτομένη στο σημείο T μιας έλλειψης διχοτομεί την $\angle ATG'$. Το σημείο T έχει συντεταγμένες $(\chi, \beta \cdot \sqrt{1 - \chi^2/\alpha^2})$. Με $c = \sqrt{\alpha^2 - \beta^2}$ βρίσκω τις κλίσεις των ευθειών που συνδέουν το T με τις εστίες A και G .

Οι γωνίες ϕ_1 και ϕ_2 των δύο ευθειών με την εφαπτομένη υπολογίζονται μετά από λίγες πράξεις και είναι:

$$\sin \phi_1 = \frac{\alpha \cdot \sqrt{1 - \chi^2/\alpha^2}}{\sqrt{\alpha^4 - c^2 \cdot \chi^2}} = \sin \phi_2$$

δηλαδή η εφαπτομένη στο σημείο T διχοτομεί την $\angle ATG'$

Συμπεράσματα

Η θεωρία του Αλ Χαϊθάμ για τα κοίλα κάτοπτρα δείχνει την ικανότητά του να χειρίζεται την Ευκλείδιο Γεωμετρία. Δίνει ενδιαφέρουσες απόψεις για τον αριθμό των σημείων που μπορούν να «συνδέσουν με ανάκλαση» δύο σημεία. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί διδακτικά για ναδειχθεί η προσεγγιστική φύση της φυσικής. Τα συμπεράσματα του Αλ Χαϊθάμ έρχονται σε αντίθεση με την τάση να υπερτονίζεται κατά τη διδασκαλία ότι όλες οι ακτίνες που ξεκινούν από ένα σημείο διέρχονται από το αντίστοιχο σημείο του ειδώλου. Βέβαια αναφέρεται αυτή η προσέγγιση, συνήθως όμως με τις ασκήσεις που δίνονται αγνοείται. Η σύγκριση με την προσεγγιστική θεωρία εξετάζεται στο 9ο κεφάλαιο. Οι εφαρμογές που ανέπτυξε ο Αλ Χαϊθάμ για τα σύνθετα κάτοπτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτές διδακτικά πράγμα που αναπτύσσεται στο 9ο κεφάλαιο.

Μελέτη του νόμου της διάθλασης

Ο νόμος της διάθλασης στην Αρχαιότητα.

Οι αρχαίοι Έλληνες που ασχολήθηκαν με την Οπτική, έδωσαν το νόμο της ανάκλασης και μάλιστα με τη μορφή του «ελάχιστου δρόμου» από τον Ήρωνα. Εκτός όμως από την ανάκλαση ασχολήθηκαν και με τη διάθλαση.

Το γνωστό πείραμα επίδειξης όπου ένα νόμισμα που δεν μπορεί να ιδωθεί από έξω καθώς βρίσκεται στον πυθμένα ενός κυπέλλου και που γίνεται ορατό αν ρίξουμε λίγο νερό, αναφέρεται από τον Ευκλείδη.

Ο Πτολεμαίος έκανε συστηματικά πειράματα για τη σχέση μεταξύ της γωνίας πρόσπτωσης και γωνίας διάθλασης.

Στο πέμπτο βιβλίο του έχει πειράματα για τη διάθλαση.

Εξετάζει τη διάθλαση των ακτίνων που βγαίνουν από το μάτι. Στις έρευνες του έδωσε τρεις κανόνες όπως τους κανόνες της ανάκλασης (Ναζίφ 1942).

Κανόνας Ι: Το είδωλο που βλέπουμε με διάθλαση, το παρατηρούμε στην ευθεία που ακολουθεί η ακτίνα που εξέρχεται από το μάτι μέχρι το σημείο που διαθλάται.

Κανόνας ΙΙ: Η θέση του ειδώλου του αντικειμένου είναι το σημείο όπου συναντιούνται η ευθεία αυτής της ακτίνας με την προέκταση της καθέτου από το σημείο που παρατηρείται, πάνω στην επιφάνεια του διαθλώντος σώματος αν είναι επίπεδο.

Κανόνας ΙΙΙ: Η γωνία πρόσπτωσης και η γωνία διάθλασης εξετάζονται και δίνονται πίνακες.

Μελέτησε τη διάθλαση από τον αέρα στο νερό και στο γυαλί. Έδωσε πίνακες με μεταβολές των γωνιών κατά 10° . Είναι το αρχαιότερο ποσοτικό πείραμα.

Ο ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΣ μελέτησε πειραματικά το νόμο της διάθλασης



με την εξής συσκευή: ένας χάλκινος δίσκος ABGD μοιράζεται σε 4 τεταρτημόρια και εφοδιάζεται με ένα βαθμολογημένο κύκλο (μοιρογνωμόνιο). Κάθε τεταρτημόριο είναι χωρισμένο σε 90° . Ένας στόχος - ένα μικρό σώμα - τοποθετείται στο κέντρο του δίσκου E, και δύο άλλοι μικροί στόχοι, Z και H είναι τοποθετημένοι στα τόξα DA, BG έτσι που τα Z και H να μπορούν να κινηθούν κατά μήκος τους. Ο δίσκος τοποθετείται μέσα σε νερό έτσι που η επιφάνεια του να είναι κάθετη προς τη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του νερού και του αέρα κατά τη διάμετρο BD. Χρησιμοποιώντας το αρχικό σημείο Z μετρείται μια γωνία πρόσπτωσης ZEA.

Γωνία Πρόσπτωσης	Γωνία Διάθλασης	Αύξηση της Γωνίας Διάθλασης	Διαφορά της αύξησης
0°	0°	8	
10°	8	$7^\circ 30'$	30'
20°	$15^\circ 30'$	$7^\circ 0'$	30'
30°	$22^\circ 30'$	$6^\circ 30'$	30'
40°	$29^\circ 0'$	$6^\circ 0'$	30'
50°	$35^\circ 0'$	$5^\circ 30'$	30'
60°	$40^\circ 30'$	$5^\circ 0'$	39'
70°	$45^\circ 30'$	$4^\circ 30'$	30'
80°	$50^\circ 0'$		30'

Ο παρατηρητής βλέπει κατά την κατεύθυνση ZE, ενώ κινεί το σώμα H, μέχρις ότου το καλύψει πλήρως. Ο Πτολεμαίος θεωρεί ότι τα ZE, EH είναι οι πραγματικές ακτίνες όρασης. Τότε μετρά τη γωνία διάθλασης GEH.

Από τους πίνακες φαίνεται ότι μόνο για γωνία 60° έχουμε τη σωστή γωνία διάθλασης που δίνει για το νερό δείκτη διάθλασης 1,333. Σε μερικές περιπτώσεις οι διαφορές είναι μεγάλες. Έγινε η υπόθεση ότι οι γωνίες του Πτολεμαίου είναι διορθωμένες για να δίνουν μια σχέση κατά την οποία για ίσες μεταβολές γωνίας πρόσπτωσης οι μεταβολές της γωνίας διάθλασης έχουν ίσες διαφορές.

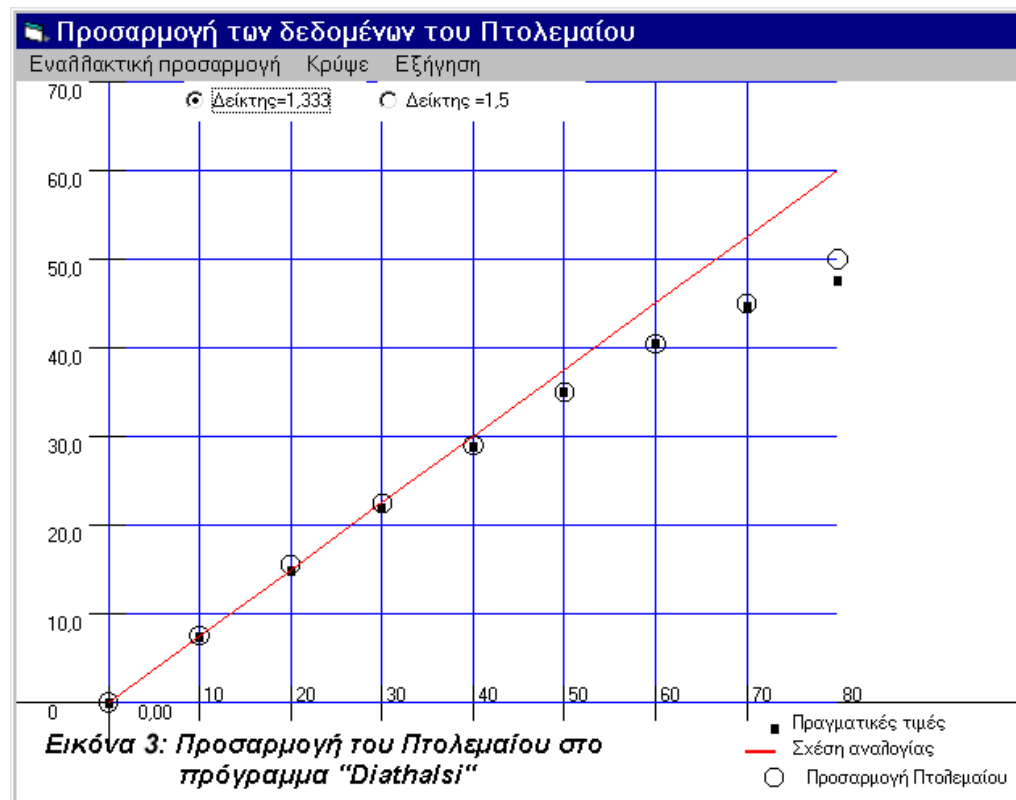
Παρατηρούμε ότι οι δεύτερες διαφορές είναι οι ίδιες για όλες τις περιπτώσεις.

Μήπως ο Πτολεμαίος προσπαθούσε να δώσει ένα γενικό κανόνα;

Πάντως αν έδωσε ένα κανόνα ότι οι γωνίες είναι ανάλογες όπως υποστηρίζεται σε διάφορα βιβλία ιστορίας της Οπτικής, ο νόμος αυτός ήταν προσεγγιστικός και ο ίδιος ο Πτολεμαίος δε θα πρέπει να ήταν ικανοποιημένος από το νόμο αυτό.

Ο Άραβας μελετητής Μουστάφα Ναζίφ γράφει ως προς το ότι οι αυξήσεις των γωνιών διάθλασης διαφέρουν με το ίδιο ποσό σε όλες τις περιπτώσεις, ότι θα πρέπει να είχε παρατηρηθεί αποκρουστικά από τους Ισλαμιστές. Ο Σάλεχ Ομπάντα Όμαρ αναφέρει τις απόψεις του Lejeune που θεωρεί ότι ο Πτολεμαίος προσπάθησε να δώσει έναν κανόνα βαθύτερο από μια αναλογία. Αν σχεδιάσουμε τα δεδομένα του Πτολεμαίου, μπορούμε να

δούμε ότι αυτά δε συμφωνούν με τον όρο της αναλογίας. Σύμφωνα με αυτές τις απόψεις ο Πτολεμαίος προσάρμοσε τις πειραματικές τιμές έτσι που οι δεύτερες διαφορές των γωνιών διάθλασης, δηλ. οι διαφορές των



διαφορών δύο διαδοχικών γωνιών διάθλασης, να είναι 30'. Με τον τρόπο αυτό πλησίασε αρκετά κοντά στις πειραματικές τιμές. Η μέθοδός του συνίσταται στο να λάβει την διαφορά της πρώτης ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ (για πρόσπτωση 10°) και της δεύτερης ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ (για πρόσπτωση 20°) που είναι 7,5° (από αέρα σε νερό) με την απαίτηση η διαφορά της τρίτης τιμής από τη δεύτερη να είναι 7°, δηλαδή να είναι μικρότερη κατά 30' (0,5°) από την πρώτη διαφορά. Αυτό μπορεί να γίνει με βάση κάποιο άλλο ζεύγος γωνιών και όχι μόνο με το πρώτο.

Ο David Lindberg στην εργασία του «The Cause of Refraction in Medieval Optics» γράφει ότι «ο Πτολεμαίος δεν εξέφρασε ένα ξεκάθαρο ενδιαφέρον στην αιτία της διάθλασης». Στις μελέτες του όμως πρόσεξε ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ της σχετικής πυκνότητας των δύο μέσων και της ποσότητας της διάθλασης. Ο Lindberg παραθέτει το εξής απόσπασμα από την Οπτική του Πτολεμαίου: «Θα παρατηρηθούν όμως μικρότερες διαθλάσεις, όταν το γυαλί τοποθετηθεί δίπλα σε νερό [απ' ότι αν το γυαλί ή το νερό είναι δίπλα σε αέρα]. Η διαφορά στην πυκνότητα (ή λεπτότητα) μεταξύ του νερού και του γυαλιού είναι μικρότερη απ' ότι η διαφορά μεταξύ της πυκνότητας του αέρα και οποιουδήποτε από αυτά τα δύο υλικά».

Πιστεύει ότι στο όριο αέρα - αιθέρα θα υπάρχει διαφορά στην πυκνότητα.

Στο πέμπτο βιβλίο του Πτολεμαίου περιλαμβάνεται μια εφαρμογή της διάθλασης στην παρατήρηση των ουρανίων σωμάτων έτσι που να μη φαίνονται στις σωστές τους θέσεις. Ο Πτολεμαίος θεώρησε τη διάθλαση των ακτίνων που βγαίνουν από το μάτι στον αέρα και μετά στον «αιθέρα», δηλαδή στο χώρο πάνω από τη Σελήνη. Ο Πτολεμαίος έβγαλε το

συμπέρασμα ότι τα σώματα φαίνονται πιο κο-ντά από την πραγματική τους θέση και βλέπουμε την ανύψωση τους από τον ορίζοντα μεγαλύτερη απ' ότι είναι στην πραγματικότητα. Αυξάνει αυτή η διαφορά καθώς πλησιάζουν τα σώματα αυτά τον ορίζοντα. Δεν ήξερε όμως το ύψος του αέρα ή το ύψος του «ουράνιου θόλου».

Η συσκευή του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη μελέτη της διάθλασης

Πολύ αργότερα ο Αλ Χαϊθάμ διατύπωσε και αυτός έναν παρόμοιο νόμο με το νόμο της αναλογίας των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης του Πτολεμαίου.. Είναι ενδιαφέρον ότι ο Αλ Χαϊθάμ πίστευε ότι η ταχύτητα του φωτός ελαττώνεται καθώς περνάμε από το οπτικά αραιό στο οπτικά πυκνό. Οι απόψεις του Αλ Χαϊθάμ για τη διάθλαση αναφέρθηκαν προηγουμένως στο κεφάλαιο 3. Εδώ παρατηρούμε ότι στη διάθλαση αναλύει το φως που προσπίπτει στην επιφάνεια του δευτέρου μέσου σε δύο συνιστώσες. Η μία στην κάθετη πάνω στην επιφάνεια και η δεύτερη εφαπτομένη στο σημείο της συνάντησης. Αυτό που βλέπει είναι ότι η δεύτερη συνιστώσα δε διαφυλάσσει την αρχική της ποσότητα, αν το φως εισχωρήσει στο δεύτερο μέσο. Αν το δεύτερο μέσο είναι πιο «παχύ», τότε η ταχύτητα γίνεται μικρότερη. Ο συνδυασμός (συνισταμένη) των δύο συνιστωσών στο δεύτερο μέσο δεν είναι στην ίδια ευθεία με την κίνηση του φωτός στο πρώτο μέσο, αλλά έχει μια κλίση προς την κάθετο, αν η ταχύτητα είναι μικρότερη. Αντίθετα, αν το φως μεταβαίνει από το πυκνότερο προς το αραιότερο, τότε η ταχύτητα αυξάνει και αυξάνει η κλίση της ως προς την κάθετο.

Δε μας ξεκαθαρίζει αν η κατακόρυφη συνιστώσα μεταβάλλεται ή παραμένει σταθερή. Σε όλα τα λεγόμενά του δείχνει να ενδιαφέρεται μόνο για την εφαπτομενική συνιστώσα. Αυτή είναι μια αδυναμία της θεώρησης του Αλ Χαϊθάμ. Ο Lindberg γράφει ότι τα επιχειρήματα του Αλ Χαϊθάμ για την κατεύθυνση της διάθλασης είναι λιγότερο ελκυστικά απ' ότι η μηχανική του ανάλυση.

Ως αιτία αυτού βλέπει το ότι η αντίσταση του πυκνότερου είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση του αραιότερου μέσου. Εδώ έχει μια διαφορά από την ανάλυση του για την ανάκλαση. Δεν οφείλεται μόνο στην «αντίσταση» η ελάττωση της ταχύτητας, αλλά κατά την άποψή του η μεταβολή αυτή συμβαίνει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των διαφανών μέσων είτε το φως μπαίνει από το πυκνότερο στο αραιότερο είτε συμβαίνει το αντίθετο.

Ο Αλ Χαϊθάμ σχεδίασε πολύ προσεχτικά τη συσκευή με την οποία μελέτησε τις γωνίες πρόσπτωσης και απόκλισης (Saleh Beshara Omar: *Ibn al Haytham's Optics, a study of the origins of experimental science*).

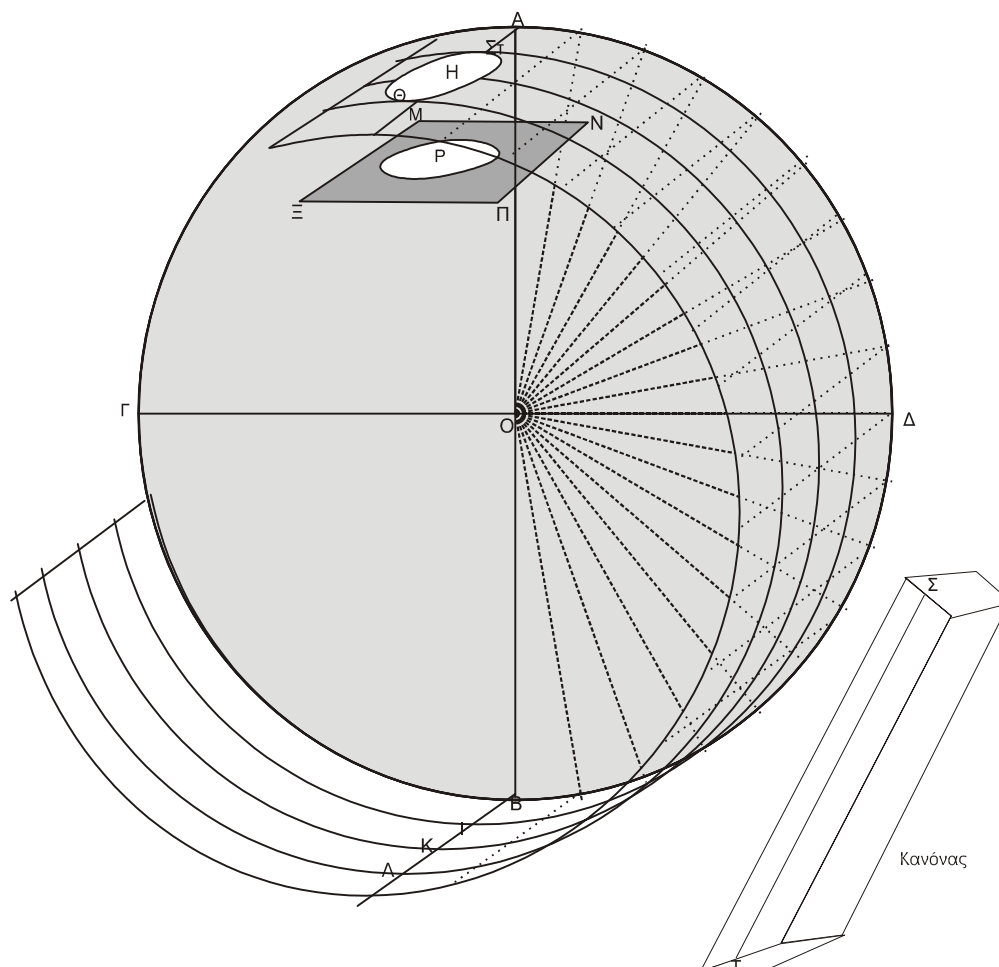
Περιγραφή της συσκευής

Ένας χάλκινος δίσκος μετατρέπεται σε ένα καλά στρογγυλεμένο κύκλο με διαμέτρους ΑΒ, ΓΔ. Τις διαμέτρους τις καθορίζει σε 2/3 του πήχεως (δινάα $\frac{2}{3}$). Κατασκευάζεται ένα πλαίσιο από το ίδιο μέταλλο που έχει πάχος 2 δαχτύλους και τοποθετείται κατακόρυφα προς το δίσκο ΑΔΒΓ και στα 3/4 του έτσι που η μία άκρη του πλαισίου να ξεπερνάει το σημείο

Α κατά δύο «shaïra». Από το σημείο Α φέρεται η κάθετος ΑΕ. Πάνω στη γραμμή ΑΕ λαμβάνονται τα σημεία Στ, Η, Θ σε αποστάσεις $\frac{1}{2}$ shaïra (شعيرة) (0,35 εκατοστά), 1 shaïra, $1\frac{1}{2}$ shaïra από το Α αντιστοίχα. Φέρεται άλλη μια κάθετος ΒΙ από το Β και πάνω του λαμβάνονται τα σημεία Ι, Κ, Λ που αντιστοιχούν στα Στ, Η, Θ. Σχεδιάζονται τρία τόξα στο εσωτερικό του πλαισίου έτσι που το πρώτο να διέρχεται από τα σημεία Στ και Ι, το δεύτερο από τα Η και Κ και το τρίτο από τα Θ και Λ. Έτσι τα τρία τόξα ορίζουν τρία επίπεδα που είναι παράλληλα μεταξύ τους και προς το δίσκο. Ο Αλ Χαϊθάμ ονομάζει το μεσαίο τόξο «μεσαίο κύκλο» και σύμφωνα με τις οδηγίες του τον διαμοιράζει ξεκινώντας από το σημείο Η σε 360 ίσες μοίρες. Με το Η ως κέντρο του και με ΗΘ ως διάμετρο ανοίγεται η οπή ΣτΘ.

Μια οπή, Ρ με διάμετρο ίση με ΘΗ ανοίγεται στο κέντρο ενός τετραγωνικού κομματιού χαλκού ΜΝΠΞ, που έχει μήκος δύο «δακτύλους (ισμπασα إصبع)» και πλάτος δύο. Το διάφραγμα ΜΝΠΞ θα τοποθετηθεί κάθετα στην επιφάνεια του δίσκου, περίπου στο μέσο μεταξύ των σημείων Α και Ο έτσι που η διάμετρος του μεσαιού κύκλου ΘΚ να περνάει από την οπή Ρ. Από το κέντρο Ο φέρουμε ακτίνες στο τεταρτημόριο ΟΑΔ σε διαστήματα 10° .

Ένα άλλο ουσιώδες εργαλείο για τη συσκευή του Αλ Χαϊθάμ είναι ο «κανόνας». Είναι μια χάλκινη ράβδος που το μήκος της είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα του δίσκου αλλά μικρότερο από τα $\frac{3}{4}$ της διαμέτρου του



Εικόνα 3: Συσκευή του Αλ Χαϊθάμ για τη μελέτη του νόμου της διάθλασης

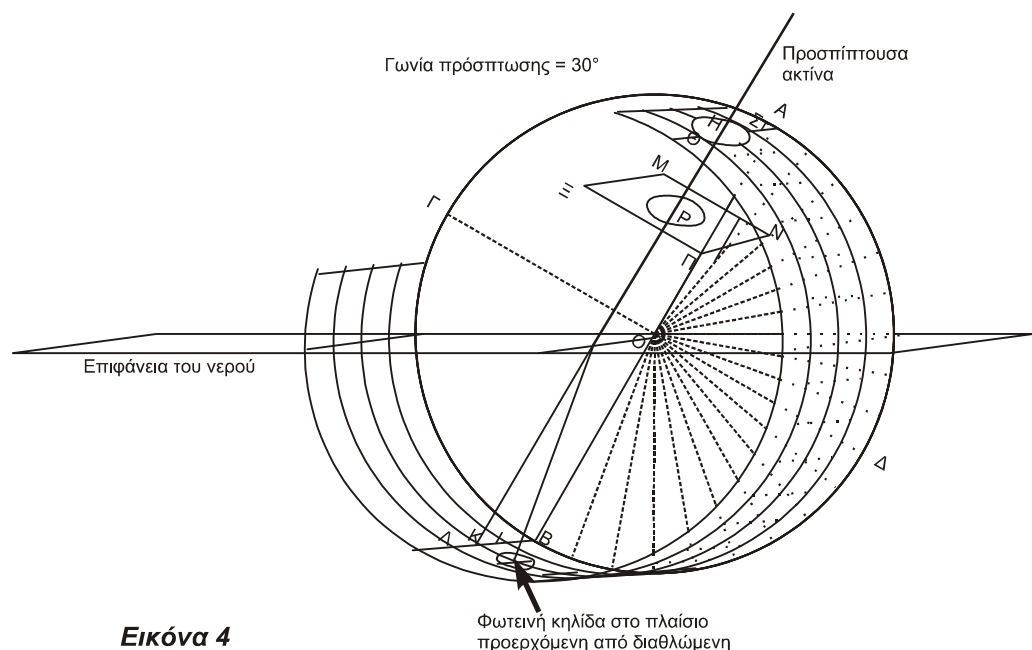
δίσκου και έχει φάρδος 2 shaira και πάχος 1 shaira. Το φάρδος του κανόνα διχοτομείται από τη γραμμή ΣΤ και αφαιρείται ένα τριγωνικό τεμάχιο έτσι που το τεμάχιο που παραμένει να είναι οξύ. Αν ο κανόνας τοποθετηθεί με το πλατύ του μέρος πάνω στην επιφάνεια του δίσκου ή όρθιος πάνω στην πλευρά του, η γραμμή ΣΤ θα βρίσκεται στο επίπεδο του μεσαίου κύκλου.

Για να διευκολυνθεί στην κίνηση του δίσκου, τοποθετείται μια μικρή ράβδος στο πίσω μέρος του έτσι που αν φανταστούμε τον άξονα του δίσκου, αυτός να περνάει από τη ράβδο. Μια άλλη τετραγωνική ράβδος κόβεται με μήκος ίσο με τη διάμετρο του δίσκου και ανοίγεται μια οπή, στο κέντρο έτσι που η πρώτη ράβδος να ταιριάζει σφιχτά στην οπή όταν η πρώτη συμπίπτει με την επιφάνεια του δίσκου. Στις δύο άκρες της δεύτερης ράβδου προσαρμόζονται δύο λαβές έτσι που, όταν το εργαλείο τοποθετηθεί πάνω σε μια λεκάνη, οι λαβές να στηρίζονται στα χείλη της. Αυτή η διευθέτηση θα επιτρέψει στον πειραματιστή να χρησιμοποιήσει την πρώτη ράβδο στο πίσω μέρος του δίσκου, για να την περιστρέψει προς την επιθυμητή θέση.

Μέθοδος του πειράματος

Η διαφορά στη μέθοδο του Αλ Χαϊθάμ και του Πτολεμαίου φαίνεται από την αυστηρότητα με την οποία έλεγξε ο πρώτος όλες τις υποθέσεις που ο Πτολεμαίος τις είχε ως δεδομένες.

Το εργαλείο τοποθετείται σε μια λεκάνη με τέτοιο τρόπο ώστε η διάμετρος ΓΔ να συμπίπτει με την επιφάνεια του νερού ενώ οι λαβές θα πρέπει να βρίσκονται οριζόντια στα χείλη. Η λεκάνη θα πρέπει να είναι αρκετά βαθιά που να επιτρέπει την περιστροφή του δίσκου. Το άνοιγμα ΣτΘ στρέφεται προς μια ισχυρή πηγή φωτός έτσι που μια φωτεινή δέσμη να περάσει από τα ανοίγματα ΣτΘ και Ρ. Μέσα από το ανοιχτό τεταρτημόριο ο Αλ Χαϊθάμ κάνει τις εξής παρατηρήσεις: η φωτεινή κηλίδα που εμφανίζεται στον πυθμένα του πλαισίου είναι μεγαλύτερη από το άνοιγμα ΣτΘ, διότι αποκλίνει η δέσμη. Το κέντρο της κηλίδας, αν και εμφανίζεται στον κεντρικό κύκλο,



Εικόνα 4

γραμμή ΣΤ να είναι στο μεσαίο κύκλο. Αν τώρα μία δέσμη φωτός περάσει από την οπή ΣτΘ, τότε εμφανίζεται μια φωτεινή κηλίδα στην επιφάνεια του κανόνα και το κέντρο της κηλίδας θα είναι στη γραμμή ΣΤ. Με το λεπτό μολύβι μπορεί να προσδιοριστεί ότι το φως προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού κατά μήκος «της γραμμής των δύο οπών», μια γραμμή που περνά από το Η και το κέντρο της οπής Ρ.

Μετά ο κανόνας τοποθετείται στην επιφάνεια του δίσκου κατά τέτοιο τρόπο που η κάτω ακμή της μακριάς του πλευράς με το αιχμηρό άκρο να περνά από το κέντρο του δίσκου, ενώ η κορυφή της αιχμής θα συμπίπτει με το κέντρο του φωτεινού σημείου που θα εμφανίζεται στον πυθμένα του πλαισίου. Έτσι η πάνω ακμή του κανόνα στην πλευρά του αιχμηρού άκρου θα συμπίπτει με το άκρο της διαμέτρου στο μεσαίο κύκλο.

Αν τώρα ένα λεπτό και μακρύ μολύβι βυθιστεί στο νερό και τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε μέρος της «σφήνας» κάτω από το νερό, η άκρη του μολυβιού διακόπτει το φως που φτάνει στον πυθμένα του πλαισίου έτσι που η κορυφή της προβαλλόμενης σκιάς να είναι πάντοτε στο άκρο του κανόνα.

Ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε την ακόλουθη ιδιότητα της διάθλασης: το φως που προσπίπτει κατά την κάθετο σε ένα μέσο, διατηρεί αυτή τη διεύθυνση στο δεύτερο μέσο. Για να το δείξει αυτό, εκτέλεσε διάφορα πειράματα. Σε μια περίπτωση χρησιμοποίησε ένα σφαιρικό τεμάχιο γυαλιού (εικόνα 5). Με το γυαλί αυτό μπόρεσε να κάνει πολλά πειράματα. Από ένα κρυστάλλινο ημισφαίριο που η ακτίνα του είναι λίγο μικρότερη από την απόσταση μεταξύ του ανοίγματος Ρ και του κέντρου του δίσκου, κόβεται ένα κομμάτι έτσι που το επίπεδο τομής να είναι κατακόρυφο προς τη βάση του ημισφαιρίου και μία «shaira» από το κέντρο του. Αν το κέντρο αυτό είναι το σημείο Ο', τότε το επίπεδο της τομής συναντά τη βάση του ημισφαιρίου κατά τη γραμμή ΥΨ και το μήκος της κατακόρυφης προς την ΥΨ, Ο'Ω που διχοτομεί την ΥΨ, είναι μία « shaira » (δηλ. ίσο με τη διάμετρο της οπής Ρ ή της οπής ΣτΘ). Ονομάζουμε την επιφάνεια της βάσης του ημισφαιρίου που απομένει μετά το κόψιμο «βάση του τμήματος του γυαλιού», την επιφάνεια της τομής «επιφάνεια τομής» και την γραμμή ΥΨ «κοινό διαιρέτη» μεταξύ τους.

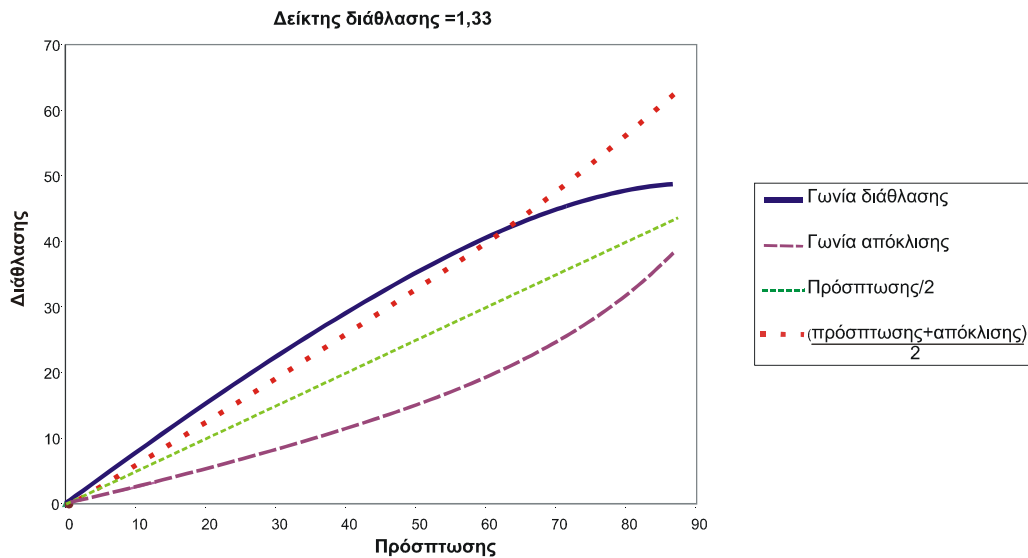
Τοποθετείται το τμήμα του γυαλιού πάνω στην επιφάνεια του δίσκου, ώστε το Ω να συμπίπτει με το Ο και η σφαιρική επιφάνεια να είναι απέναντι από την οπή Ρ. Έτσι η διάμετρος ΑΒ του δίσκου είναι κάθετος προς τη γραμμή ΥΨ και τη διχοτομεί. Μια διατομή που περνά από το μεσαίο κύκλο τέμνει το γυάλινο κομμάτι κατά ένα ημικύκλιο που το κέντρο του είναι το κέντρο της αρχικής σφαίρας και συμπίπτει και με το κέντρο του μεσαίου κύκλου. Η «γραμμή των δύο οπών» (ΘΡ) περνά από το κέντρο της σφαίρας. Με αυτή τη διάταξη μπόρεσε να ελέγξει αν το φως που προσπίπτει κατά τη γραμμή ΘΡ θα προχωρήσει στην ίδια ευθεία.

Ο Αλ Χαϊθάμ θεώρησε ότι αυτό που ελέγχεται είναι αν το φως που περνά μέσα από το γυαλί είναι συγγραμμικό με το φως που προσπίπτει. Το φως που αναδύεται, διακόπτεται με τη βοήθεια του κανόνα πάνω στο κέντρο του οποίου παρατηρείται μια φωτεινή κηλίδα. Το κέντρο του κανόνα, συμπίπτει με το κέντρο του μεσαίου κύκλου. Για να βεβαιωθεί γι' αυτό βάζει το λεπτό μολύβι και παρατηρεί το αποτέλεσμα. Κάνει άλλα πειράματα που ελέγχουν την κάθετο από αέρα σε νερό, από νερό σε γυαλί.

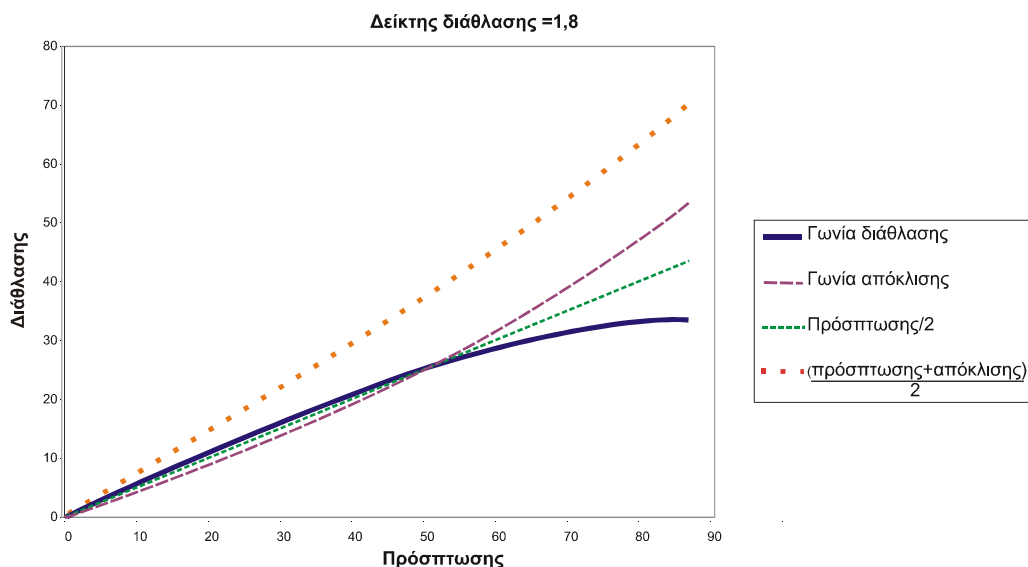
Έβγαλε ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα για πλάγια πρόσπτωση. Π.χ.

128 για διάθλαση από το γυαλί στον αέρα βρίσκει ότι η ακτίνα απομακρύνεται

από την κάθετο. Στα ποσοτικά του πειράματα προσπάθησε να επιβεβαιώσει τις σχέσεις του Πτολεμαίου. Τοποθετεί το δίσκο με το νερό μέχρι το κέντρο. Για να προσπίπτει το φως σε μια ορισμένη γωνία, ο δίσκος περιστρέφεται μέχρι την επιθυμητή γωνία. Για γωνία πρόσπτωσης 80° ο δίσκος περιστρέφεται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού μέχρις ότου η διάμετρος που είναι κοντά με τη διάμετρο ΑΒ να συμπίπτει με την επιφάνεια του νερού. Η γωνία διάθλασης είναι η γωνία που διατέμνεται από το κέντρο του μεσαίου κύκλου από το τόξο αυτού του κύκλου που περιορίζεται από τη μια πλευρά από το φωτεινό σημείο και τη διάμετρο ΗΚ από την άλλη. Αυτή η γωνία πιο σωστά ονομάζεται γωνία απόκλισης και ορίζεται από την προέκταση της προσπίπτουσας και τη διαθλώμενη. Αν αφαιρέσουμε την απόκλιση από την γωνία πρόσπτωσης έχουμε τη γωνία διάθλασης του Πτολεμαίου. Αντίθετα με τον Πτολεμαίο ο Αλ Χαϊθάμ χρειαζόταν να περιστρέψει το δίσκο για να παίρνει τις διάφορες γωνίες πρόσπτωσης. Με την περιστροφή όμως κινεί και την κάθετο ΗΚ (εικ. 4 ,5).



Εικόνα 6: Περίπτωση που επιβεβαιώνονται οι κανόνες του Αλ Χαϊθάμ.



Εικόνα 7: Περίπτωση που δεν ισχύει ο κανόνας: γωνία απόκλισης < μισό γωνίας πρόσπτωσης

Μέτρησε γωνίες απόκλισης για γωνίες πρόσπτωσης που είναι πολλαπλάσια των 10° μέχρι 80° όταν το φως περνά από αέρα σε νερό από αέρα σε γυαλί και αντίστροφα. Ο Αλ Χαϊθάμ περιορίστηκε στα υλικά που μελέτησε ο Πτολεμαίος.

Νόμοι του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για τη διάθλαση

Αντί για μια σχέση έδωσε 8 νόμους:

Αν pr_1 και pr_2 είναι δύο γωνίες πρόσπτωσης, ap_1 , ap_2 οι γωνίες απόκλισης και δ_1 , δ_2 οι γωνίες διάθλασης τότε αν $pr_1 > pr_2$ έχουμε

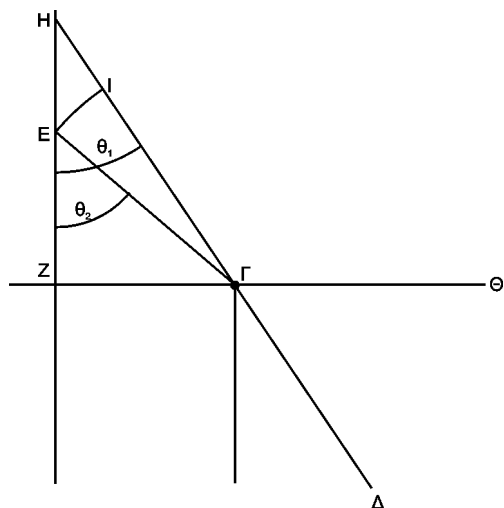
- (1) $ap_2 > ap_1$.
- (2) $ap_2 - ap_1 < pr_2 - pr_1$.
- (3) $ap_2 / pr_2 > ap_1 / pr_1$.
- (4) $\delta_2 > \delta_1$
- (5) για διάθλαση από αραιό σε πυκνό $ap < pr/2$
- (6) για διάθλαση από πυκνό σε αραιό, $ap < \frac{1}{2}(pr + ap)$
- (7) Σε ένα πυκνότερο μέσο πλησιάζει το φως προς την κάθετο
- (8) Σε ένα αραιότερο μέσο απομακρύνεται το φως από την κάθετο.

Ο Ναζίφ έδειξε ότι η σχέση (2) ισχύει μόνο για πρόσπτωση από αραιό σε πυκνό, ενώ οι (5) και (6) ισχύουν μόνο για ορισμένες περιπτώσεις. Μέσα όμως στα πλαίσια των πειραμάτων του Αλ Χαϊθάμ ήταν σωστές. Οι εξαιρέσεις γι' αυτούς τους κανόνες εμφανίζονται μόνο όταν οι γωνίες και τα υλικά είναι διαφορετικά απ' αυτά που χρησιμοποίησε ο Αλ Χαϊθάμ. Στα δύο διαγράμματα βλέπουμε ότι για το νερό ισχύει ο κανόνας 5, ενώ για ένα υλικό με δείκτη διάθλασης 1,8 δεν ισχύει ο κανόνας 5. Για το γυαλί με δείκτη διάθλασης 1,5, ο κανόνας ισχύει για τις γωνίες που είναι μικρότερες των 83° , αλλά ο Αλ Χαϊθάμ μελέτησε τις περιπτώσεις για γωνίες πρόσπτωσης μικρότερες ή ίσες των 80° . Στις εικόνες 6 και 7 παρουσιάζονται διαγράμματα των γωνιών διάθλασης, απόκλισης, πρόσπτωσης/2. Από τα διαγράμματα αυτά είναι προφανές ότι για μεγάλους δείκτες διάθλασης δεν ισχύουν ορισμένοι από τους κανόνες του Αλ Χαϊθάμ.

Τα αποτελέσματα του Αλ Χαϊθάμ επαναλήφθηκαν από τον Witelo. Όπως αναφέρει ο Emil Wilde (1793 -1859) στο έργο του «Geschichte der Optik vom Ursprunge dieser Vissenschaft bis auf die gegenwartige Zeit» (Ιστορία της Οπτικής από τις αρχές της μέχρι τη σύγχρονη εποχή) ο Witelo επανέλαβε τα αποτελέσματα και μάλιστα τα επέκτεινε άκριτα. Δίνει π.χ. για διάθλαση από το νερό στον αέρα γωνίες πρόσπτωσης που ξεπερνούν την οριακή γωνία πρόσπτωσης (περίπου $48,75^\circ$) και δίνει γωνία πρόσπτωσης 60° με γωνία διάθλασης $79,5^\circ$, γωνία πρόσπτωσης 70° με γωνία διάθλασης $94,5^\circ$ και τέλος γωνία πρόσπτωσης 80° με γωνία διάθλασης 110° . Φαίνεται ότι ο Witelo εφάρμοσε άκριτα τον κανόνα του Αλ Χαϊθάμ που λέει ότι «το φως μπορεί να κάνει την αντίστροφη πορεία προς μία δεδομένη πορεία».

Ο νόμος του Snell από τον Ιμπν Σαχλ.

Ο Ιμπν Σαχλ έζησε πριν από τον Αλ Χαϊθάμ και όπως φαίνεται σύμφωνα με τις έρευνες του Rashed Roshdi, είχε φτάσει σε ένα νόμο που είναι σύμφωνος με το νόμο του Snell. Ο Roshdi γράφει ότι υπήρξε μία παράδοση Αράβων μελετητών της Οπτικής πριν από τον Αλ Χαϊθάμ. Ο Roshdi ανακάλυψε ένα χειρόγραφο που γράφτηκε το 984 από ένα μαθηματικό που είχε σύνδεση με



Εικόνα 8
Ο νόμος της διάθλασης
κατά τον Ιμπν Σαχλ

την αυλή της Βαγδάτης, τον Ιμπν Σαχλ. Το έργο του «καίοντα εργαλεία» είναι το πρώτο έργο μαθηματικού που μελέτησε τους φακούς. Στο έργο αυτό εξετάζει τα κάτοπτρα, παραβολικά και ελλειψοειδή και κατόπιν εξετάζει τους υπερβολικούς φακούς: υπερβολικό - επίπεδο και τομή δύο υπερβολών.

Ο Roshdi γράφει ότι τα αποτελέσματά του μπορεί να εκπλήξουν, διότι θα χρειαστεί να επανεξεταστεί η ιστορία των ανακλαστικών συσκευών.

Για το θέμα του υπερβολικού φακού ο Ιμπν Σαχλ πρώτα θεωρεί τη διάθλαση σε μία επίπεδη επιφάνεια. Αν ορίσουμε την ZΘ ως μία επίπεδη επιφάνεια ενός τεμαχίου κρυστάλλου με ομογενή διαφάνεια, δίνει μία σχέση που είναι το αντίστροφο του δείκτη διάθλασης n του κρυστάλλου σε σχέση με τον αέρα.

Έστω ΔΓ μία φωτεινή ακτίνα μέσα στον κρύσταλλο που διαθλάται στον αέρα κατά μήκος της ΓΕ. Η κάθετος στην επίπεδη επιφάνεια ZΘ στο σημείο Η τέμνει τη γραμμή ΓΔ στο σημείο Η και τη διαθλώμενη ακτίνα στο Ε.

Ο λόγος $ΓΕ/ΓΗ < 1$ χρησιμοποιείται από τον Ιμπν Σαχλ επανειλημμένα στο έργο του και είναι το αντίστροφο του δείκτη διάθλασης n .

Αν θ_1 και θ_2 είναι οι γωνίες που σχηματίζουν τα ευθύγραμμα τμήματα ΓΔ και ΓΕ με την κατακόρυφο έχουμε:

$$\frac{ΓΕ}{ΓΗ} = \frac{ΓΕ}{ΓΖ} \cdot \frac{ΓΖ}{ΓΗ} = \frac{\eta\mu(\theta_1)}{\eta\mu(\theta_2)} = \frac{1}{n}$$

Ο Ιμπν Σαχλ χρησιμοποίησε αυτόν το νόμο και το νόμο της αντίστροφης πορείας του φωτός για να μελετήσει τους φακούς

Ο φακός του Ιμπν Σαχλ

Ο Roshdi έδωσε το ακόλουθο απόσπασμα από τη μελέτη του Ιμπν Σαχλ:

Αν Α, Β, Κ και Λ είναι σημεία σε μία ευθεία που δίνουν μία υποδιαίρεσή της όμοια με τα Γ, Ξ, Ι, Η, έτσι ώστε

$$\frac{ΑΚ}{ΑΒ} = \frac{ΓΚ}{ΓΕ} \text{ και } ΒΛ = ΒΚ$$

τότε έχουμε:

$$\frac{ΑΚ}{ΑΒ} = \frac{ΓΕ}{ΓΗ} = \frac{1}{n}$$

Έστω ότι το Μ είναι επί της ΑΒ έτσι που ΑΜ = ΒΚ. Κατασκευάζουμε την υπερβολή με κορυφή το σημείο Β, άξονα την ΒΜ και το τμήμα ΒΝ. Περιστρέφοντας το τόξο ΓΣ της υπερβολής γύρω από την ευθεία ΑΒ παράγεται μια υπερβολική επιφάνεια. Το σημείο Σ διαγράφει έναν κύκλο με κέντρο Ο και αποκτούμε ένα στερεό από περιστροφή που περιορίζεται

από την υπερβολική επιφάνεια και τον κύκλο με κέντρο Ο και ακτίνα ΟΣ. Υποθέτουμε ότι το στερεό αποτελείται από ένα κρύσταλλο με δείκτη διάθλασης n .

Αυτή η υπερβολή έχει κορυφές τα σημεία Β και Μ και εστίες τα Α και Λ και έχει εκκεντρότητα:

Για κάθε είδος κρυστάλλου θα πρέπει να επιλέγεται μια διαφορετική υπερβολή.

Μπορούμε να κάνουμε την απόδειξη με αναλυτική γεωμετρία.

Αν θεωρήσουμε την εξίσωση της υπερβολής:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Στο σημείο Τ, η εφαιτομένη έχει τιμή:

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{\beta \cdot \chi}{a^2 \sqrt{\frac{x^2}{a^2} - 1}}$$

Από αυτή την τιμή μπορούμε να βρούμε την τιμή του ημίτονου γωνίας πρόσπτωσης:

$$\eta\mu\theta_1 = \frac{\alpha^2 \sqrt{\frac{\chi^2}{\alpha^2} - 1}}{\sqrt{c^2 \chi^2 - \alpha^4}}$$

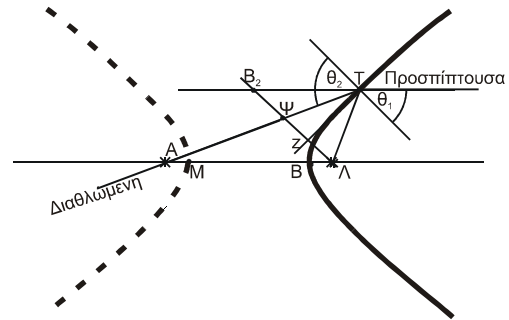
Αν φέρουμε ΑΤ και υπολογίσουμε την κλίση της θ_3 μπορούμε από αυτήν και την θ_1 να υπολογίσουμε το $\eta\mu\theta_2$ της γωνίας θ_2 που κάνει η ΑΤ με την κάθετο στο σημείο Τ.

άρα έχουμε:

$$\frac{\eta\mu\theta_2}{\eta\mu\theta_1} = \frac{c}{\alpha} = n$$

Αυτό δείχνει την ορθότητα της θεώρησης του Ιμπν Σαχλ.

Ο Ιμπν Σαχλ έδωσε και ένα φακό με δύο εστίες θεωρώντας την αντιστροφή πορεία του φωτός. Μια εικόνα του φακού αυτού φαίνεται στο πρόγραμμα Ibn Sahl:



Εικόνα 9: Εφαρμογή του νόμου της διάθλασης σε υπερβολικό φακό

Μπορούμε να δούμε ότι οι ακτίνες εστιάζονται τέλεια, όταν η πηγή βρίσκεται στην εστία, δεν εστιάζονται όμως τέλεια σε άλλα σημεία.

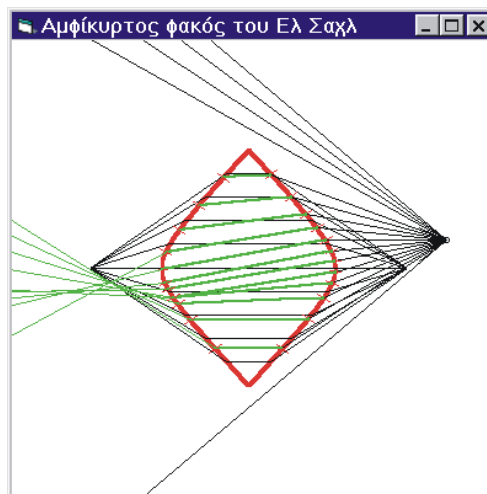
Συμπεράσματα

Ο Πτολεμαίος έδωσε το αρχαιότερο γνωστό ποσοτικό πείραμα. Η μελέτη των δεδομένων του δίνει την ευκαιρία να δούμε μια περίπτωση πιθανής προσαρμογής δεδομένων για να ταιριάζουν με τη θεωρία. Η μελέτη αυτής της προσαρμογής των

δεδομένων μπορεί να συνδυαστεί με συζήτηση θεμάτων ηθικής που σχετίζονται με επιστημονική έρευνα (Allchin 1998). Η συσκευή του στηρίχτηκε στη θεωρία εκπομπής από το μάτι. Αντίθετα η συσκευή του Αλ Χαϊθάμ στηρίχτηκε στην άποψη ότι το φως εκπέμπεται από τα σώματα. Οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται στη σχολική πράξη. Τα γνωστά πειράματα με καρφίτσες ή χάρακες (π.χ. Walker 1973) επαναλαμβάνουν τη μέθοδο του Πτολεμαίου με τα γνωστά μειονεκτήματά της μεγέθυνσης του ειδώλου. Η χρήση προβολέων είναι κατ' ουσία η μέθοδος του Αλ Χαϊθάμ. Οι κανόνες του Αλ Χαϊθάμ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δείξει η προσωρινότητα των θεωριών της φυσικής αρκεί να γίνει μια προσεκτική προσέγγιση και να μη θεωρηθεί από τους διδασκόμενους ότι η ενασχόληση με τη φυσική είναι κάτι το μάταιο. Από την άλλη όπως επισημαίνει ο Bevilacqua (1998) αν δειχθεί η μη μονολιθική δομή της φυσικής μαζί με το «αντικειμενικό» της περιεχόμενο, μπορεί να μας βοηθήσει να ζήσουμε έχοντας μια ηθική στάση μέσα στον κόσμο μας, στον οποίο γνωρίζουμε ότι αντιμετωπίζουμε μια πολλαπλότητα αξιών και πολιτισμών.

Όπως τονίζει ο Οικονόμου (1990) η φυσική δε μπορεί να οριστεί από ένα εκ των προτέρων δοσμένο αντικείμενο μελέτης όσο από τη μεθοδολογία της. Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να φανεί μέσα από απλά πειράματα όπως αυτά που αφορούν οπτικά φαινόμενα. Τα πειράματα που δίνουν ποσοτικές παρατηρήσεις (όπως αυτά που αφορούν το νόμο της διάθλασης) με την επίδραση του εποικοδομισμού έχουν κάπως παραμεληθεί. Όμως για την πραγματική κατανόηση της φύσης της φυσικής θα πρέπει να επανέλθουν πιο ενεργά στη διδασκαλία.

Τέλος η «τέλεια εστίαση» του Ιμπν Σαχλ μπορεί να δείξει και πάλι την προσεγγιστική φύση των θεωριών της φυσικής καθώς παύει αυτή να υπάρχει αυτή η τέλεια εστίαση μόλις η πηγή πάψει να βρίσκεται στην εστία, ή οι παράλληλες ακτίνες αποκτήσουν κάποια κλίση.



Εικόνα 10: Προσομοίωση της ιδέας του Ιμπν Σαχλ στον Η/Υ

Το ουράνιο τόξο

Εισαγωγή

Μερικοί από αυτούς που ασχολήθηκαν με το ουράνιο τόξον ήταν: ο Αριστοτέλης στο έργο «*Μετεωρολογικά*», ο Αλ Χαϊθάμ στο έργο «*Αλ Αθιράν*», ο Αβικέννας στο έργο «*Al Shifa*», ο Αλ Φαρίσι στο έργο «*Η άλως και το ουράνιο τόξο*», και ο Θεοδώριχος στο έργο «*De iride et radialibus impressionibus*». Με την αναγέννηση έχουμε το έργο του Καρτεσιού «*Les Meteores*» και το έργο «*Opticks*» του Νεύτωνα.

Προσέγγιση του Αριστοτέλη

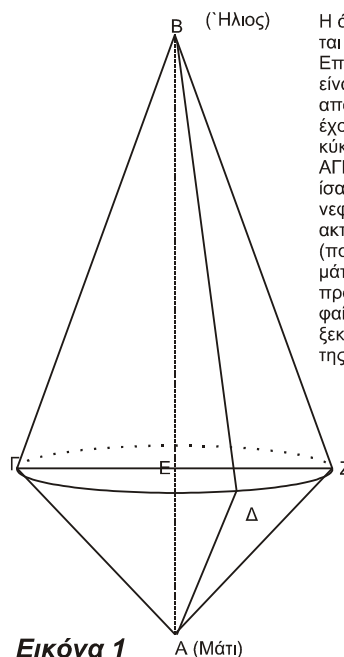
Ο Αριστοτέλης προσπάθησε να εξηγήσει το ουράνιο τόξο με ανακλάσεις. Η προ-σπάθεια του Αριστοτέλη ήταν πρόωρη καθώς εκείνη την εποχή δεν είχε ξεκαθαριστεί το θέμα του νόμου της ανάκλασης.

Για το ουράνιο τόξο ο Αριστοτέλης έγραψε (Μετεωρολογικά, ΙΙΙ, κεφάλαιο ΙΙ, 371 b 18 αρχαίο κείμενο στο περιθώριο) «τώρα θα ασχοληθούμε με την άλω, τα ουράνια τόξα, τους ψεύτικους ήλιους και τις ράβδους, εξηγώντας τι είναι και ποιες είναι οι αιτίες τους, γιατί οι ίδιες αιτίες τα εξηγούν όλα». Ο Αριστοτέλης δίνει τα χαρακτηριστικά των φαινομένων αυτών και εξηγεί ότι θα πρέπει να καταφύγουμε στην επιστήμη της Οπτικής για να τα εξηγήσουμε με βάση την ανάκλαση. Οι

περί δε τῆς ἱριδος, τί τε
^ο ἐκάτερον καί διὰ τιν' αἰτίαν
^ν γίγνεται, λέγωμεν, καί περί
^ι παρηλίων καὶ ῥάβδων καί γὰρ
^ο ταῦτα γίγνεται πάντα διὰ τὰς
^ι αὐτὰς αἰτίας ἀλλήλοις»

με βάση την ανάκλαση. Οι ανακλαστικές επιφάνειες καμιά φορά ανακλούν το σχήμα, αλλά πολλές φορές μόνο το χρώμα. Στο τρίτο κεφάλαιο των μετεωρολογικών ασχολείται με το σχήμα της άλω και εξηγεί γιατί εμφανίζεται γύρω από τον Ήλιο και τη Σελήνη. Λέγει « δηλ. η ανάκλαση της όρασης μας λαμβάνει χώρα όταν ο αέρας και ο ατμός έχουν συμπυκνωθεί σε νέφος, αν η συμπύκνωση είναι ομοιόμορφη και τα συστατικά της μέρη είναι μικρά. (Κείμενο στο περιθώριο)

Στην εικόνα 1 έχουμε μια αναπαράσταση της ιδέας του Αριστοτέλη.



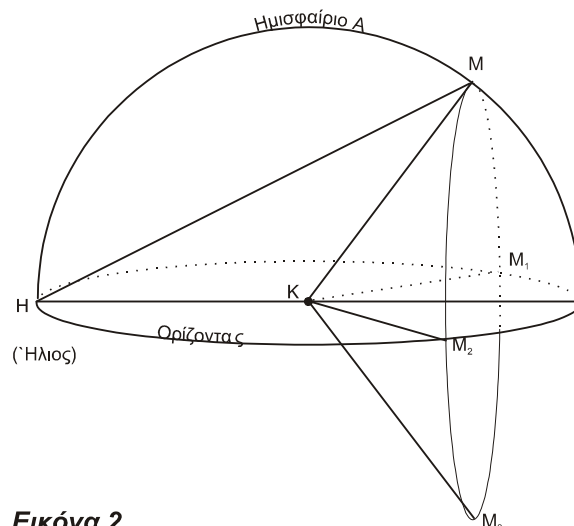
Η όραση μας ανακλάται από την ομίχλη. Επειδή η ανάκλαση είναι συμμετρική το αποτέλεσμα είναι να έχουμε κύκλο ή τμήμα κύκλου. Τα τρίγωνα ΑΓΒ, ΑΔΒ, ΑΖΒ είναι ίσα. ΓΖΔ είναι το σύννεφο από το οποίο οι ακτίνες της όρασης (που ξεκινούν από το μάτι Α) ανακλώνται προς τον Ήλιο Β (δε φαίνεται να είναι ξεκάθαρος ο νόμος της ανάκλασης).

Γίνεται μὲν οὖν ἡ
ἀνάκλασις τῆς
ὀψεως
συνισταμένου τοῦ
ἀέρος καὶ τῆς
ἀτμίδος εἰς νέφος..

Εικόνα 1  A (Μάτι)

Για το ουράνιο τόξο (ίριδα) πιστεύει ότι και αυτό οφείλεται στην ανάκλαση των ακτίνων της όρασης. «Η όραση (ακτίνες της όρασης) ανακλάται από όλες τις λείες επιφάνειες ανάμεσα στις οποίες είναι και ο αέρας και το νερό. Ο αέρας ανακλά όταν είναι συμπυκνωμένος αλλά και όταν δεν είναι συμπυκνωμένος μπορεί να παράγει μια ανάκλαση όταν η όραση είναι ασθενής» (Μετεωρολογικά 373 b). Το ουράνιο τόξο είναι μία ανάκλαση πάνω στα σταγονίδια του νερού (ψακάς δηλ. σταγόνες βροχής). Σε τέτοια είδους κάτοπτρα ανακλάται μόνο το χρώμα και όχι το σχήμα. Πριν από τη βροχή και καθώς ο αέρας στα σύννεφα συμπυκνώνεται σε σταγόνες αλλά δεν έχει αρχίσει ακόμη να βρέχει, αν ο Ήλιος είναι απέναντι από το σύννεφο, τότε το σύννεφο αντανακλά. Τα σωματίδια που αντανακλούν είναι μικρά και εμείς βλέπουμε τον γενικό σχηματισμό.

Για τα χρώματα γράφει (Μετεωρολογικά 374 b): «Οι ακόλουθες θεωρήσεις θα κάνουν ξεκάθαρο πως φαίνονται τα χρώματα του τόξου». Θεωρεί ότι υπάρχουν οι ακόλουθες αρχές: (1) το λευκό φως όταν ανακλάται από μια σκοτεινή επιφάνεια ή όταν περνά από ένα σκοτεινό έγχρωμο μέσο καθίσταται κόκκινο. (2) Η όραση μας γίνεται πιο ασθενής και λιγότερο αποτελεσματική όσο αυξάνει η απόσταση, (3) το σκοτεινό χρώμα είναι μια κατάργηση της όρασης: η εμφάνιση του σκοταδιού οφείλεται στην αδυναμία της όρασης μας, κι έτσι τα αντικείμενα σε μεγάλη απόσταση φαίνονται πιο σκοτεινά γιατί το φως μας δεν μπορεί να τα φτάσει. Δίνει το ακόλουθο επιχείρημα για την εξασθένηση της όρασης: Αν παρατηρούμε τα σύννεφα μέσα από το νερό, φαίνονται πιο σκοτεινά γιατί η όραση μας εξασθενίζει με την ανάκλαση. Όταν ένα σύννεφο είναι κοντά στον Ήλιο και το κοιτάζουμε, δε φαίνεται να έχει χρώμα αλλά είναι λευκό. Στην ανάκλαση του όμως φαίνεται πιο σκούρο. Αν το φως είναι αρκετά δυνατό μεταβάλλεται σε κόκκινο, όταν είναι πιο ασθενές γίνεται πράσινο και όταν ακόμα είναι πιο ασθενές γίνεται κυανό. Γι' αυτό και το ουράνιο τόξο έχει τρία χρώματα, αλλά τα χρώματα είναι αντίστροφα στα δύο τόξα. Στο πρωτεύον η πιο εξωτερική λωρίδα είναι κόκκινη, γιατί η όραση ανακλάται πιο ισχυρά προς τον Ήλιο από τη μεγαλύτερη περιφέρεια και η εξωτερική περιφέρεια είναι η πιο μεγάλη, το ίδιο ισχύει και για τη δεύτερη και τρίτη λωρίδα. Το κίτρινο χρώμα που εμφανίζεται στο ουράνιο τόξο οφείλεται στην αντίθεση των δύο άλλων (δηλ. το πορτοκαλί δεν οφείλεται στην ανάκλαση). Λέει ότι το κίτρινο είναι πιο έντονο όταν η αντίθεση είναι πιο έντονη και αυτό γίνεται όταν το σύννεφο είναι πιο σκούρο. Το όλο του κόκκινου φαίνεται πιο λευκό εξαιτίας του μαύρου



A: ημισφαίριο που έχει βάση τον ορίζοντα με κέντρο K.
H: σημείο ανατολής του Ήλιου.
Οι γραμμές που ξεκινούν από το K περιστρέφονται γύρω από τον άξονα HK. Αν οι ακτίνες που συνδέουν τα K και M ανακλαστούν στο M από την επιφάνεια του ημισφαιρίου πίσω στο H, οι γραμμές από το K βρίσκονται σε κύκλο. Στην ανατολή ή δύση του Ήλιου το τμήμα του κύκλου MM₁M₂ πάνω από τον ορίζοντα θα είναι το ουράνιο τόξο

Εικόνα 2

σύννεφου. Το ίδιο συμβαίνει, όταν εξαφανίζεται το ουράνιο τόξο και τότε εξαφανίζεται πρώτα το κόκκινο χρώμα. Σε περίπτωση που έχουμε δεύτερο τόξο ισχύει η ίδια εξήγηση: Η ανάκλαση από το πιο εξωτερικό είναι ασθενέστερη, γιατί η όραση χρειάζεται να διασχίσει μεγαλύτερη απόσταση. Η πρόσπτωση που γίνεται προς τον Ήλιο είναι εντονότερη από τους εσωτερικούς κύκλους από ότι από τους εξωτερικούς. Η πιο κοντινή ανάκλαση για το μάτι μας γίνεται από τον εσωτερικό κύκλο που τώρα είναι κόκκινος.

Ο Αριστοτέλης συνεχίζει με την ανάλυση του σχήματος. Δίνει όρια για το μέγεθος του ουράνιου τόξου: Όταν ο Ήλιος είναι στον ορίζοντα τότε το τόξο δε μπορεί να είναι μεγαλύτερο από ένα ημικύκλιο ενώ όταν είναι πάνω από τον ορίζοντα το τόξο θα είναι μικρότερο από ένα ημικύκλιο.

Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για το ουράνιο τόξο

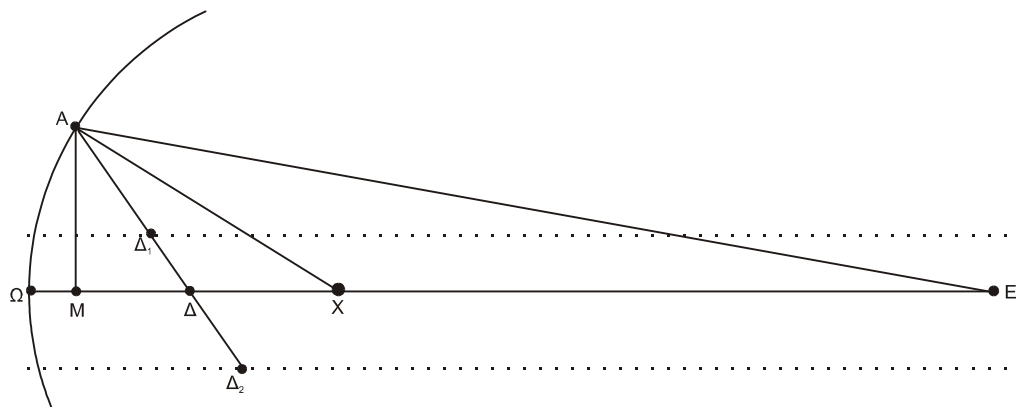
Επειδή η υπόθεση του Αριστοτέλη είχε παρουσιαστεί γεωμετρικά, είχε αποκτήσει «αξιοπρέπεια», πράγμα που έκανε και άλλους μελετητές όπως τον Αλ Χαϊθάμ να τη δεχτούνε.

Ο ίδιος ο Αλ Χαϊθάμ αφού είχε διατυπώσει την πρόθεση του να εφαρμόσει τις ιδέες του στη μελέτη του ουράνιου τόξου, παραμένει κοντά σε μια παράδοση ενάντια στην οποία ασκεί κριτική. Οι μελέτες του προκάλεσαν το θαυμασμό και την παραπλάνηση των ιστορικών της οπτικής. Έτσι σύμφωνα με τον Roshdi o Boyer γράφει:

«Το στάδιο φαινόταν έτοιμο για μια μεγάλη πρόοδο στην ιστορία του ουράνιου τόξου. Όμως τι μεγάλη εξαπάτηση! Είναι σαν ο Αλ Χαϊθάμ να είχε ένα πέπλο μπροστά στα μάτια του!»

Ο Αλ Χαϊθάμ υποτάχθηκε στις ιδέες του Αριστοτέλη όπως και ο Αβικέννας. Το τμήμα των Μετεωρολογικά του Αριστοτέλη που αναφέρεται στο ουράνιο τόξο έχει ένα χαρακτήρα που συνδυάζει τη γεωμετρική σκέψη με τη φυσική κατά ένα τρόπο στοιχειώδη. Πιθανόν ο Αλ Χαϊθάμ να πείσθηκε από την αυστηρότητα του ύφους στο να υποτάξει τις δικές του ιδέες στις ιδέες του Αριστοτέλη.

Η θεωρία που αναπτύχθηκε στο 6ο κεφάλαιο για τα κοίλα κάτοπτρα εφαρμόστηκε από τον Αλ Χαϊθάμ για την εξήγηση της εμφάνισης του ουράνιου τόξου. Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε στο έργο του «για τα



Εικόνα 3 Η δημιουργία του ουράνιου τόξου κατά τον Αλ Χαϊθάμ με ανάκλαση σε κοίλο νέφος

φαινόμενα» (*al athrān* الأثرين) και όχι στο Αλ Μαναζίρ που είναι το βασικό του βιβλίο της Οπτικής. Σύμφωνα με την εικόνα 3, αν το φως που πηγάζει από την πηγή Ε ανακλάται προς ένα ορισμένο σημείο Δ από το κοίλο κάτοπτρο με κορυφή Ω, τότε η ανάκλαση αυτή μπορεί να γίνει από ένα τόξο με κέντρο το σημείο Μ και ακτίνα ΜΑ.

Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί ότι η εμφάνιση του ουράνιου τόξου προϋποθέτει την ύπαρξη «πυκνού αέρα με υγρασία» όπως ο ίδιος τον αναφέρει. Θα πρέπει μαζί με αυτόν τον αέρα να υπάρξει ένα φωτεινό σώμα το οποίο πρέπει να βρίσκεται σε μια ορισμένη θέση έτσι που το μάτι να βρίσκεται σε μια ενδιάμεση θέση μεταξύ του φωτεινού σώματος και του πυκνού αέρα. Αν η διάταξη του αέρα δίνει μια κοίλη σφαίρα και αν η θέση του φωτεινού σώματος και του ματιού είναι όμοια με τη θέση των σημείων Ε και Δ τότε εμφανίζεται το τόξο. Το ανακλαστικό σώμα είναι λείο ή αποτελείται από τμήματα λεία που δεν είναι πολύ μικρά. Γράφει ο Αλ Χαϊθάμ: «όσο περισσότερα λεία ή μεγαλύτερα είναι τα κομμάτια από τα οποία αποτελείται, τότε καλύτερα μπορεί να εμφανιστεί ανάκλαση, οπότε το σχήμα θα είναι καθαρότερο και τα χρώματα πιο ξεκάθαρα (Ναζίφ σελ. 426)».

Ο Αλ Χαϊθάμ θεωρεί τις αιτίες για την ύπαρξη υγρού αέρα σε σχήμα κοίλης σφαίρας: «Μπορούν να υπάρξουν διάφορα είδη κοιλότητας στα οποία να θεωρήσουμε τους κύκλους και τις τομές. Έχουν περισσότερη τάξη και καλύτερο σχήμα με την ύπαρξη τέτοιων σχημάτων σε τμήματα του κόσμου, και το πρώτο που μπορεί να συμβεί είναι το σχήμα του υγρού αέρα να παίρνει το σχήμα του κόσμου, που είναι σφαιρικό, και αυτό είναι το σχήμα που έχει η Γη και το νερό και ο αέρας. Καθώς ανέρχονται οι ατμοί από την επιφάνεια της σφαίρας της γης προς την επιφάνεια μιας άλλης σφαίρας που έχει μια ορισμένη θέση, κατ' ανάγκην θα παίρνουν ένα σφαιρικό σχήμα που έχει ως κέντρο το κέντρο του κόσμου, και κάθε τμήμα της σφαίρας των υδρατμών έχει αυτό το σχήμα ή σχήμα που να προσεγγίζει το σφαιρικό σχήμα (Ναζίφ σελ. 426)».

Αν έτσι είναι τα πράγματα έστω ότι ο πυκνός- υγρός αέρας έχει σχήμα σφαίρας με κέντρο Χ. Έστω ότι το κέντρο Χ βρίσκεται πάνω στην ευθεία που συνδέει την πηγή του φωτός Ε και το μάτι του παρατηρητή Δ με το κέντρο της σφαίρας σε θέση ενδιάμεση μεταξύ Ε και Δ. Φέρομε την ΕΧΔ μέχρι το σημείο Ω. Αν συμβαίνει $E\Omega/\Omega\Delta > EX/X\Delta$ τότε μπορούν να συνδεθούν με ανάκλαση τα σημεία Ε και Δ από ένα σημείο όπως το Α από την επιφάνεια της σφαίρας. Αν μπορεί να συμβεί αυτή η ανάκλαση τότε θα μπορεί να υπάρξει ανάκλαση και από τον κύκλο με κέντρο το Μ και ακτίνα ΜΑ. Τότε το μάτι αντιλαμβάνεται τις θέσεις των ανακλάσεων σαν ένα φωτεινό τόξο. Αν ληφθεί υπόψη ότι η ανακλαστική επιφάνεια δεν είναι τελείως λεία και ότι έχει κάποια διαφάνεια, το ανακλώμενο φως δεν είναι τόσο ισχυρό όπως το προσπίπτον, και αφού το φωτεινό σώμα δεν είναι σημειακό αλλά έχει κάποιο πλάτος, θα πρέπει και οι θέσεις της ανάκλασης να έχουν κάποιο πλάτος.

Ο Αλ Χαϊθάμ δεν απαιτεί από το νέφος του ατμού να έχει τέλεια σφαιρικότητα, του αρκεί να είναι τμήμα σφαίρας. Ούτε απαιτεί από το κέντρο της σφαίρας να συμπίπτει με το κέντρο του κόσμου. Για τον Αλ Χαϊθάμ ο υγρός αέρας μπορεί να μετατοπίζεται, «ο πυκνός αέρας δεν είναι σταθερός αλλά μετατοπίζεται και μεταφέρεται από μέρος σε μέρος είτε ως ένα σύνολο είτε

Ο Αλ Χαϊθάρ με βάση αυτήν τη θεωρία παρατηρεί ότι το τόξο μπορεί να είναι μεγαλύτερο από ό,τι μπορεί να αντιληφθεί το μάτι ή μπορεί να



«Ο πόλος (κοντμπ قطب) του τόξου (σημείο Ω εικ. 3) μπορεί να βρίσκεται στον ορίζοντα ή ψηλότερα ή χαμηλότερα και το κέντρο του τόξου (σημείο Μ εικόνα 3) να είναι μεταξύ του ματιού και του σύννεφου (ή μεταξύ του ματιού και του πόλου Δ) ή στο μάτι ή πίσω απ' αυτό. Αυτό δίνει εννέα περιπτώσεις. Αν ο πόλος είναι στον ορίζοντα, τότε το τόξο είναι ημικύκλιο (θέση ματιού Δ εικ. 4), αν είναι πάνω από τον ορίζοντα και το κέντρο του τόξου πιο μπροστά, τότε το τόξο είναι μεγαλύτερο από ημικύκλιο (θέση ματιού Δ₂), αν είναι στο μάτι, τότε είναι ημικύκλιο, αν είναι από πίσω από το μάτι, τότε είναι μικρότερο από ημικύκλιο. Αν ο πόλος είναι από κάτω από τον ορίζοντα και το κέντρο μπροστά από το μάτι, τότε το τόξο είναι μικρότερο από ημικύκλιο. Αν είναι στο μάτι τότε είναι ημικύκλιο, αν είναι μικρότερο τότε είναι μεγαλύτερο (Ναζίφ σελ. 428)».

Η κυκλική ανάκλαση μπορεί να συμβεί και σε μια δεύτερη σφαιρική επιφάνεια οπότε έχουμε ένα δεύτερο ουράνιο τόξο.

Η θεωρία του Αλ Χαϊθάμ για το ουράνιο τόξο δέχτηκε κριτική από τον Αλ Φαρίσι ο οποίος πρότεινε μία θεωρία βασισμένη στη διάθλαση.

Η ικανότητα του Καμάλ αλ Ντιν Αλ Φαρίσι (كمال الدين الفارسي) να χρησιμοποιεί τις μεθόδους των πινάκων αριθμών, έδωσε τη βάση για μια ποσοτική ανάλυση των φαινομένων την ίδια εποχή που οι δυτικοί όπως ο Θεοδώριχος περιοριζόντουσαν σε μια ποιοτική ανάλυση. Ο Καρτέσιος ισχυρίζεται ότι πρώτος αυτός έκανε μαθηματικούς υπολογισμούς όμως πραγματικά αυτούς τους υπολογισμούς τους είχε ήδη κάνει ο Αλ Φαρίσι. Ο Καρτέσιος επίσης

θεωρεί τον εαυτό του ως τον πρώτο που ασχολείται με το ουράνιο τόξο με όρους διάθλασης, όμως ο Νεύτωνας θεωρεί ότι ήδη στον 14ο αιώνα ο Antoine de Dominis το είχε εξηγήσει με όρους διάθλασης.

Ο Αλ Φαρίσι ήταν μαθητής του Αλ Shirazi που του ανέθεσε τη μελέτη του ουράνιου τόξου. Όπως φαίνεται από τις μελέτες των ιστορικών, ο Αλ Φαρίσι και ο Θεοδώριχος έκαναν τις έρευνες τους σχεδόν ταυτόχρονα. Ο Αλ Φαρίσι όμως είχε τις μετρήσεις του Αλ Χαϊθάμ για τις γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης σε μια σφαιρική επιφάνεια και μάλιστα δίνει τους πίνακες.

Η αλλαγή στη θεώρηση της Οπτικής του Αλ Χαϊθάμ είχε συνενώσει την όραση και το φως. Είχε δώσει τη θεώρηση της ανάκλασης. Όπως γράφει σύμφωνα με τον Roshdi o Boyer «είναι πολύ σημαντικό ότι οι σχολιαστές είτε ήταν Έλληνες, είτε Λατίνοι είτε Άραβες των *φιλοσοφικών* έργων του Αριστοτέλη δεν έκαναν καμία πρόοδο για τη διάλυση των μυστηρίων του ουράνιου τόξου, ενώ τα σχόλια του *γεωμετρικού* έργου του Αλ Χαϊθάμ οδήγησαν σε επιτυχία όσον αφορά αυτό το αδύνατο να εξηγηθεί φαινόμενο· φαίνεται όμως ότι ήταν η νέα πειραματική προσέγγιση και όχι τόσο τα μαθηματικά ήταν αυτά που δικαιολόγησαν την επιτυχία».

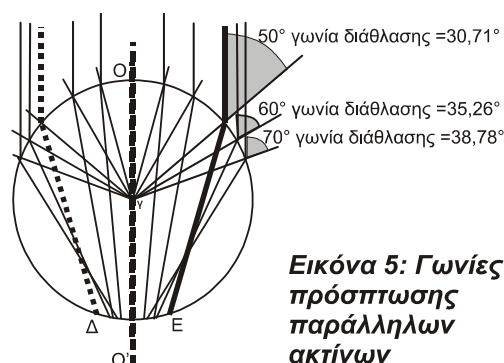
Ο Θεοδώριχος και ο Αλ Φαρίσι κατέφυγαν σε ένα κατασκευάσμα για να εξηγήσουν το ουράνιο τόξο: μια μεγάλη γυάλινη σφαίρα, γεμάτη νερό. Η εξήγηση έγινε με τη συστηματική εκμετάλλευση της αναλογίας της σφαίρας αυτής με τη σταγόνα του νερού. Δημιούργησαν έτσι ένα σύνολο από αναλογικές αντιστοιχίες μεταξύ των δύο αντικειμένων και με τον τρόπο αυτό, συστηματικά, με τη βοήθεια της γεωμετρίας, ανήγαγαν τη διάδοση του φωτός στο ένα μέσο (γυάλινη φιάλη), στη διάδοση του φωτός στο άλλο μέσο (σταγόνα). Η μοντελοποίηση αυτή δε θα ήταν δυνατή παρά μόνο με την επανάσταση των ιδεών του Αλ Χαϊθάμ.

Απόψεις του Αβικέννα για το ουράνιο τόξο.

Ο Αβικέννας είχε γράψει το βιβλίο Al - Shifa, στο οποίο χρησιμοποιεί την ιδέα του Αριστοτέλη για τα σταγονίδια που είναι σκορπισμένα στην ατμόσφαιρα, τη στιγμή που τα σύννεφα μετατρέπονται σε βροχή, τα οποία είναι η αιτία της δημιουργίας του ουράνιου τόξου. Ο Αβικέννας απορρίπτει την ιδέα του Αριστοτέλη ότι ο πυκνός και υγρός αέρας βοηθά στο σχηματισμό του τόξου. Γράφει γι' αυτό:

«Επανέλαβε με επιτυχία αυτό το πείραμα πολλές φορές και φαίνεται ότι το σύν-νεφο μόνο του δε συμπεριφέρεται ως ένα κάτοπτρο που παράγει αυτό το είδωλο, αλλά ότι η ανάκλαση γίνεται για το μάτι από τον υγρό

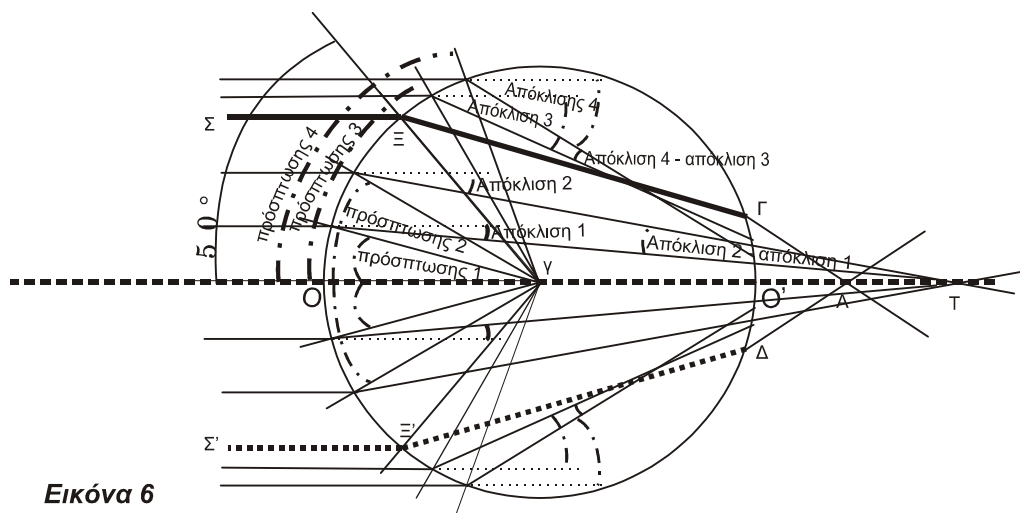
αέρα όπου είναι σκορπισμένα τα διαφανή σταγονίδια του νερού ως μια ελαφριά βροχή (rash رشة) και οι σταγόνες δεν περιορίζουν τη διαφάνεια, δεν μπορούν να ενεργούν ως κάτοπτρο αφού δεν υπάρχει από πίσω τους κάποιο έγχρωμο σώμα. Είναι όπως ένα κρύσταλλο που αν έχει ένα κάλυμμα από τη μία πλευρά γίνεται κάτοπτρο, ενώ αν δεν έχει,



αφήνει ένα κενό χωρίς όρια και δεν είναι κάτοπτρο. Θα πρέπει να υπάρχει στις πιο πολλές περιπτώσεις ένα αδιαφανές σώμα πίσω από τον υγρό αέρα: ένα βουνό ή ένα μαύρο σύννεφο για να πετυχαίνεται το αποτέλεσμα που είναι η αντανάκλαση από τις σταγόνες οι οποίες είναι διασκορπισμένες στην ατμόσφαιρα, αλλά δεν είναι οι καθαροί ατμοί που τότε δεν θα επέτρεπαν κάτι τέτοιο».

Προσέγγιση του Αλ Φαρίσι

Ο Αλ Φαρίσι θεωρεί τις σταγόνες όπως ο Αβικέννας, σε ένα όμως διαφορετικό πλαίσιο. Αντί να θεωρήσει το σύνολο των σταγόνων παίρνει μόνο μία σταγόνα είναι το σημαντικό βήμα για να κάνει την αναλογία μεταξύ της σταγόνας του νερού και της σφαιρικής φιάλης.



Αφού έκανε την αναλογία ο Αλ Φαρίσι, είχε την ιδέα, αντί να θεωρήσει την ανάκλαση, να θεωρήσει τις δύο διαθλάσεις που μεταξύ τους να μπορούν να συμβούν μία ή περισσότερες ανακλάσεις στην εσωτερική επιφάνεια της σταγόνας. Η μελέτη αυτής της διπλής διάθλασης έχει ως συνέπεια ότι θα πρέπει να μελετηθεί η πορεία του φωτός μέσα στη σφαίρα και ο τρόπος που εξέρχεται το φως από τη σταγόνα. Ο Αλ Φαρίσι είχε το πλεονέκτημα να μελετήσει τα δεδομένα του Αλ Χαϊθάμ αναφορικά με την «καίουσα σφαίρα». Στη μελέτη αυτή ο Αλ Χαϊθάμ είχε μελετήσει την πορεία που διαδίδεται το φως μεταξύ των δύο διαθλάσεων ως μια συνάρτηση της αύξησης των γωνιών πρόσπτωσης και τη σχέση των αυξήσεων των γωνιών της απόκλισης από την αρχική διεύθυνση. Θεώρησε τις ακτίνες που προσπίπτουν παράλληλα προς ένα άξονα ΟΟ'. Αυτές οι ακτίνες συναντούν τη σφαίρα σε σημεία που απομακρύνονται από το Ο' μέχρι τη γωνία των 50° (εικόνα 5). Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των 50° τα σημεία της δεύτερης διάθλασης πλησιάζουν το σημείο Ο'.

Ο Αλ Χαϊθάμ είχε δώσει για τις εξερχόμενες ακτίνες αυτό που ονομάζεται αναφορικά με τους φακούς σφαιρική εκτροπή. Είχε δείξει την ακόλουθη πρόταση: *Έστω μία παράλληλη ακτίνα προς τον άξονα ΟΟ' που διαθλάται μια δεύτερη φορά σε ένα σημείο Γ και συναντά την προέκταση του ΟΟ' στο σημείο Τ (εικόνα 6). Είναι αδύνατο σε μια δεύτερη ακτίνα παράλληλη προς την πρώτη να συναντήσει μετά τη δεύτερη της διάθλαση την προέκταση του ΟΟ' στο Τ, εκτός αν*

αυτή η ακτίνα διαθλαστεί σε ένα σημείο της περιφέρειας που διαγράφει το Γ στην περιφέρεια. Αν η δεύτερη ακτίνα διαθλαστεί σε ένα σημείο πιο μακριά από το O' σε σχέση με το Γ , τότε περνά μετά την έξοδο της από τη σφαίρα από ένα σημείο που απέχει λιγότερο από το T πάνω στην προέκταση της OO' .

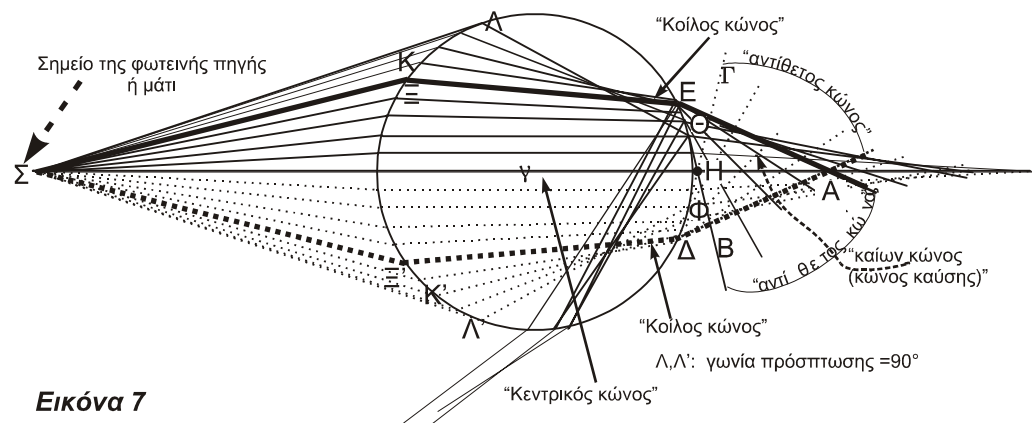
Μπορούμε να δούμε ότι για δύο γωνίες πρόσπτωσης π_1 και π_2 έχουμε αντίστοιχες γωνίες διάθλασης δ_1 και δ_2 και αποκλίσεις από αρχικές πορείες $A_1 = \pi_1 - \delta_1$ και $A_2 = \pi_2 - \delta_2$ για τις οποίες ισχύει:

Αν οι διαθλώμενες ακτίνες βρίσκονται μέσα στη σφαίρα, $\frac{1}{2}(\pi_2 - \pi_1)$ (= επίκεντρη γωνία) $< A_2 - A_1$ ενώ αν το σημείο τομής των δύο ακτινών είναι έξω από τη σφαίρα $\frac{1}{2}(\pi_2 - \pi_1) > A_2 - A_1$. Υπάρχει μία «κρίσιμη» γωνία πρόσπτωσης (50° για πρόσπτωση από αέρα σε γυαλί) που τη διαθλώμενη της την τέμνουν στο εσωτερικό της σφαίρας οι διαθλώμενες των ακτινών που προσπίπτουν με μεγαλύτερη γωνία πρόσπτωσης. Για πολύ μικρές διαφορές από την «κρίσιμη» αυτή γωνία θα έχουμε $dA = \frac{1}{2} d\pi$

δηλ. $\frac{dA}{d\pi} = \frac{1}{2}$. Με βάση τους πίνακες του Αλ Χαϊθάμ ο Αλ Φαρίσι μπορούσε να βρει ότι η γωνία για την οποία ισχύει αυτή η σχέση είναι των 50° (για το γυαλί). Αν χρησιμοποιήσουμε το νόμο του Snell τότε έχουμε για τη συγκεκριμένη αυτή γωνία:

$\frac{\sin(\pi)}{\sin(\delta)} = n \quad \therefore \frac{d\pi}{d\delta} = \frac{\cos(\delta)}{\cos(\pi)} n \quad \therefore \frac{dA}{d\pi} = 1 - \frac{d\delta}{d\pi} = 1 - \frac{\cos(\pi)}{n \cdot \cos(\delta)} = \frac{1}{2}$
Λύνοντας αυτή τη σχέση και σε συνδυασμό με το νόμο του Snell βρίσκουμε

$$\sin(\pi) = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$



Εικόνα 7

Για διάθλαση από αέρα σε γυαλί ($n = 1,5$) η γωνία είναι $49,73^\circ$. Για πρόσπτωση από αέρα σε νερό ($n = 1,33$) η γωνία είναι 59° .

Μοντέλο του Αλ Φαρίσι

Ο Αλ Φαρίσι προσπάθησε να δείξει πως με βάση τη διπλή διάθλαση μέσα στη σφαίρα των ακτινών που θεωρούνται κοντινές και αυτών που θεωρούνται μακρινές ως προς τον άξονα, εξηγείται ο σχηματισμός ενός ή περισσότερων ειδώλων ενός φωτεινού αντικειμένου και οι διάφορες μορφές του ουράνιου τόξου ή του δακτυλίου στην περίπτωση ενός κυκλικού αντικειμένου.

Πριν τη λεπτομερή περιγραφή της διπλής διάθλασης στη σφαίρα και της υπέρθεσης των ειδώλων, θα εξεταστεί ο σχηματισμός του ειδώλου σε διάφορους κώνους διαθλωμένων ακτινών. Ο Αλ Φαρίσι φαίνεται να γνωρίζει ότι θα έπρεπε να λάβει υπόψη την επίδραση του γυαλιού και κάνει μια προσέγγιση. Λέει ότι «η διαφάνεια (σήμερα θα λέγαμε ο δείκτης διάθλασης) του καθαρού γυαλιού και του νερού είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη και ότι η ακτίνα που διεισδύει μέσα στη φιάλη δε διαθλάται κατά τέτοιο τρόπο που θα πρέπει να τη λάβουμε υπόψη».

Με αυτό τον τρόπο διαβεβαιώνεται για την αναλογία.

Ο Αλ Φαρίσι θεωρεί τον κύκλο κέντρου γ και τις ακτίνες που σχηματίζουν γωνίες πρόσπτωσης $10^\circ, 20^\circ, 90^\circ$ (εικόνα 7). Θεωρεί τις προσιπτουσες (50°) $\Sigma\Xi$ και $\Sigma'\Xi'$ που οι διαθλωμένες τους ($\Xi\epsilon$ και $\Xi\epsilon'$) ορίζουν τον «κεντρικό κώνο». Μετά τη δεύτερη διάθλαση οι ίδιες ακτίνες θα βρίσκονται στο εσωτερικό του κώνου που παράγεται από τις ακτίνες $\epsilon\alpha$ και $\delta\alpha$. Ο Αλ Φαρίσι ονομάζει αυτόν τον κώνο «κώνο καύσης». Οι ακτίνες που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα με γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από 50° διαθλώνται αφ' ενός μεταξύ $\Xi\epsilon$ και $\Lambda\Theta$ και συμμετρικά μεταξύ $\Xi'\delta$ και $\Lambda'\Phi$ και παράγουν δύο κώνους που τους ονομάζει «κοίλους κώνους». Μετά τη δεύτερη φορά οι ακτίνες αυτές περνάνε αφ' ενός ανάμεσα στα $\Theta\beta$ και $\epsilon\alpha$ και αφ' ετέρου μεταξύ $\Phi\Gamma$ και $\delta\alpha$ και παράγουν αυτό που ονομάζει «αντίθετους κώνους». Οι ακτίνες τέμνονται πάνω στον άξονα $ΟΟ'$ μεταξύ των σημείων $Η$ και $Α$.

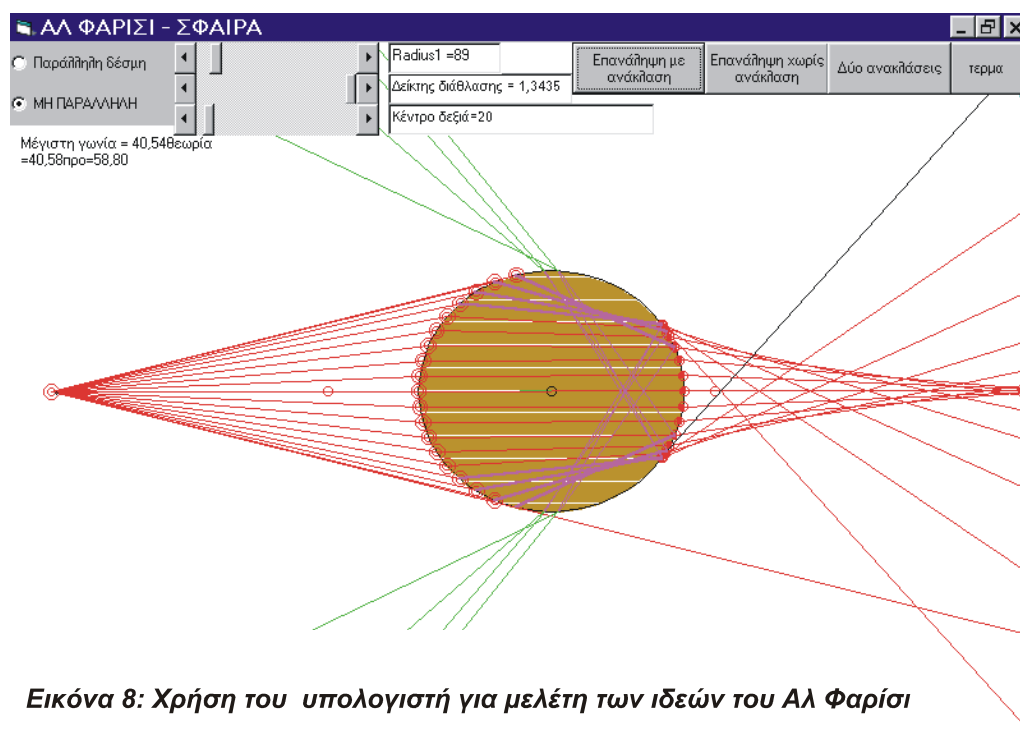
Βγάζει συμπεράσματα για το ότι ένα αντικείμενο που έχει τοποθετηθεί μπροστά στη σφαίρα κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να παράγει πολλαπλά είδωλα. Μετά μεταβάλλει τις θέσεις τους έτσι που άλλοτε να απομακρύνεται το ένα είδωλο από το άλλο και άλλοτε να συμπίπτουν. Η διαδικασία είναι δύσκολη, γι' αυτό και ο Αλ Φαρίσι παρουσιάζει πολλούς δισταγμούς. Θεωρεί και τη φωτεινή πηγή Σ και ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην ίδια πλευρά της σφαίρας με το $Ο'$ και βγάζει συμπεράσματα για τη θέση του ειδώλου που παράγεται από τη διάθλαση. Η αρχή της αντίστροφης πορείας δίνει το εξής συμπέρασμα:

α) Αν το αντικείμενο - π.χ. μια ευθεία - τοποθετηθεί πάνω στον άξονα και πολύ κοντά στη σφαίρα στο $\Phi\ThetaΗ$ έτσι που να μην εγγίζει ούτε την $\PhiΗ$ ούτε την $\epsilonΗ$, τότε το μάτι στο Σ θα αντιληφθεί το είδωλο μιας μοναδικής ευθείας που σχηματίζεται από τις ακτίνες που προέρχονται από τον κεντρικό κώνο. Όπως φαίνεται και από το σχήμα δεν είναι δυνατόν να έχουμε εξερχόμενες ακτίνες προς το Σ που να σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη από 50° .

β) Αν το ίδιο αντικείμενο τοποθετηθεί μέσα στην περιοχή $\PhiΗΒ\delta$ τότε το μάτι θα αντιληφθεί ένα είδωλο πιο μεγάλο που θα σχηματιστεί μέσα στον κεντρικό κώνο και στο δεξιό εξωτερικό κώνο, αντεστραμμένο.

γ) Αν βρίσκεται στο $\ThetaΗΓ\epsilon$, το είδωλο θα σχηματιστεί ταυτόχρονα μέσα στον κεντρικό κώνο πιο μεγάλο και ορθό και στον εξωτερικό αριστερό κώνο αντεστραμμένο.

δ) Αν το αντικείμενο βρίσκεται στην $ΑΒΗΓ$, το είδωλο σχηματίζεται στον κεντρικό κώνο πιο μεγάλο και ορθό και σε όλες τις κατευθύνσεις των εξωτερικών κώνων αλλά αντεστραμμένο. Αν θεωρήσουμε μια περιστροφή της εικόνας γύρω από τον άξονα $ΟΟ'$ το είδωλο μιας ευθείας θα είναι

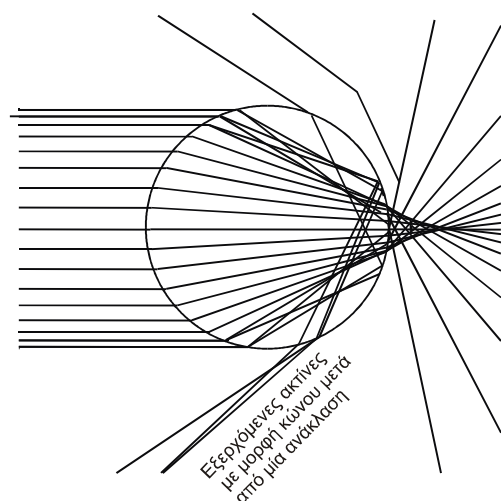


Εικόνα 8: Χρήση του υπολογιστή για μελέτη των ιδιών του Αλ Φαρίσι

έναν κύκλο στον κεντρικό κώνο που θα περιβάλλεται από ένα δακτύλιο στον εξωτερικό κώνο.

Πειράματα του Αλ Φαρίσι

Για να δοκιμάσει τη φυσική πραγμάτωση αυτών των αποτελεσμάτων ο Αλ Φαρίσι έκανε πειράματα. Πήρε ένα μικρό κύκλο με κέντρο πάνω στην



Εικόνα 8: Ακτίνες μετά μία ανάκλαση από εξομοίωση με Excell

ευθεία OO' και χωρισμένο σε δύο τμήματα: ένα κόκκινο δεξιά και ένα μαύρο αριστερά. Τοποθέτησε τον κύκλο πολύ κοντά στο O' έτσι που η περιφέρειά του να μην εγγίζει ούτε το ΦH ούτε το ΘH . Έχουμε ένα είδωλο πιο μεγάλο από το φυσικό στον κεντρικό κώνο με κόκκινο το δεξί και μαύρο το αριστερό. Ο Αλ Φαρίσι μετακινεί τον κύκλο στον άξονα απομακρύνοντας τον από τη σφαίρα και παρατηρεί τη μεγέθυνση του ειδώλου και του σχηματισμού του δακτυλίου γύρω από τον κύκλο ανάλογα με τη θέση του σε σχέση με τους κώνους των διαθλωμένων ακτινών.

Όταν ο κύκλος εγγίζει τις ΦH και ΘH , σχηματίζεται γύρω από το είδωλο του κύκλου ένας δακτύλιος που το δεξί μέρος είναι κόκκινο και το αριστερό μαύρο.

Αν μετακινήσουμε ξανά τον κύκλο, το εύρος του δακτυλίου αυξάνει και η περιφέρεια του κύκλου - ειδώλου ελαττώνεται, μέχρι τη στιγμή που το κέντρο του κύκλου περνά το σημείο H . Τότε παρατηρούμε ένα δεύτερο δακτύλιο γύρω από τον πρώτο έτσι που το δεξί μέρος να είναι μαύρο και

το αριστερό κόκκινο. Συνεχίζοντας αυτή τη μετατόπιση το είδωλο του κύκλου συγχέεται με τους δακτυλίους.

Επαναλαμβάνει το πείραμα δεύτερη φορά, με δύο όμως ομόκεντρους κύκλους, με κέντρο στον άξονα ΟΟ'. Ο ένας είναι μεγάλος και κόκκινος, ο άλλος μικρός και μαύρος. Διαπιστώνει έναν πολλαπλασιασμό ειδώλων σε σχέση με τους ίδιους κώνους ακτινών και διαπιστώνει ότι για ένα αντικείμενο κοντά στο σημείο Α υπάρχουν έξι είδωλα: τρία μαύρα και τρία κόκκινα.

Η ανάλυση αυτή των ειδώλων φαίνεται να είναι περιττή. Όμως για τον Αλ Φαρίσι ήταν ένα ουσιαστικό μέρος της εξήγησης που έδωσε για το ουράνιο τόξο.

Ο Αλ Φαρίσι μελέτησε την περίπτωση των δύο διαθλάσεων και ασχολήθηκε με διάφορες περιπτώσεις ανάκλασης. Διαπίστωσε ότι για την περίπτωση μιας ανάκλασης οι εξερχόμενες ακτίνες σχηματίζουν έναν κώνο (που περιέχει την πηγή). Η γωνία που σχηματίζει ο κώνος με τον άξονα ΟΟ' αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης, μέχρις ότου να φτάσουμε σε μια ορισμένη γωνία, πέρα από την οποία η γωνία απόκλισης ελαττώνεται και έχουμε μια τομή των ακτινών στα όρια του κώνου.

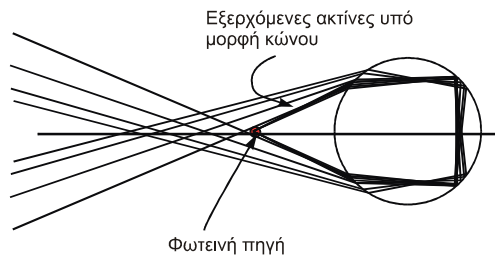
Η προσπάθεια του Αλ Φαρίσι για μια λεπτομερή εξέταση της πορείας των ακτινών ίσως να φαίνεται άσκοπη. Όμως για τον Αλ Φαρίσι ήταν ουσιώδης για την εξήγησή του για το ουράνιο τόξο, δηλαδή τη γεωμετρική μορφή του τόξου. Ταυτόχρονα όμως έχει να κάνει με την προσπάθεια του να λύσει το πρόβλημα του χρώματος.

Μεταξύ των δύο διαθλάσεων έχει μελετήσει τις διάφορες περιπτώσεις των ανακλάσεων.

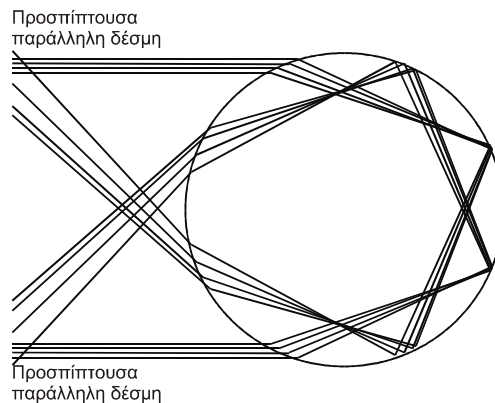
Η ιδέα του είναι ότι οι παράλληλες ακτίνες που προσπίπτουν στη σταγόνα μεταμορφώνονται μετά από ορισμένες ανακλάσεις σε μια αποκλίνουσα δέσμη που την ονομάζει «κώνο». Ο Αλ Φαρίσι δείχνει ότι οι ακτίνες που εξέρχονται μετά από μία ανάκλαση, βγαίνουν προς τη μεριά της φωτεινής πηγής με τη μορφή «κώνου». Η γωνία απόκλισης είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση της προσπίπτουσας από την ΟΟ' μέχρι μία ορισμένη τιμή και μετά ελαττώνεται, πράγμα που φέρνει μία τομή των ακτινών στα όρια του κώνου.

Δύο ανακλάσεις

Στην περίπτωση των δύο ανακλάσεων παρατηρεί ότι οι ακτίνες τέμνονται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις



Εικόνα 10: Εικόνα από εξομοίωση με Excell



Εικόνα 11: Δύο ανακλάσεις από εξομοίωση με Excell

ο Αλ Φαρίσι εξηγεί ότι το φως είναι πιο έντονο κοντά στα όρια των κώνων.

Στην περίπτωση της μίας ανάκλασης μεταξύ δύο διαθλάσεων διακρίνει δύο ομάδες ακτινών: αυτές που προέρχονται από τους εξωτερικούς κώνους και αυτές που προέρχονται από τον κεντρικό κώνο.

Στην περίπτωση των δύο ανακλάσεων ο Αλ Φαρίσι ομαδοποιεί τις ακτίνες σε δύο ομάδες που έχουν μεγαλύτερες αποκλίσεις από την προηγούμενη περίπτωση και που δίνουν ένα ή δύο είδωλα. Ανάλογα με τη θέση του ματιού, αν δηλαδή αυτό είναι τοποθετημένο έτσι που να δέχεται τις ακτίνες του κεντρικού κώνου ή αν βρίσκεται σε μια περιοχή όπου οι ακτίνες που προέρχονται από τον κεντρικό κώνο τέμνονται με αυτές που προέρχονται από τον εξωτερικό κώνο, βλέπει μόνο ένα είδωλο σε μια μόνη θέση ή δύο είδωλα σε δύο θέσεις. Αν τελικά το μάτι έχει τοποθετηθεί σε μια περιοχή όπου οι ακτίνες που προέρχονται από μία ανάκλαση τέμνονται με αυτές που προέρχονται από δύο ανακλάσεις, αντιλαμβάνεται τέσσερα είδωλα σε τέσσερις θέσεις.

Σκοτεινός θάλαμος

Για να δοκιμάσει το μοντέλο κάνει πείραμα όπως πολύ αργότερα έκανε ο Καρτέσιος. Χρησιμοποιεί σκοτεινό θάλαμο. Μέσα σ' αυτόν τοποθετεί μία διαφανή σφαίρα που φωτίζεται από τις ακτίνες του Ήλιου. Σκεπάζει τη μισή σφαίρα με ένα άσπρο αδιαφανές σώμα και παρατηρεί την πλευρά που βρίσκεται προς τη σφαίρα. Παρατηρεί τότε ένα τόξο που το κέντρο του βρίσκεται στον άξονα που φέρεται από το κέντρο της σφαίρας προς τον Ήλιο. Το τόξο αυτό σχηματίζεται από τις φωτεινές ακτίνες που έχουν υποστεί μία διάθλαση, μία ανάκλαση και μία ακόμη διάθλαση. Στο εσωτερικό του παρατηρεί έντονο γαλάζιο γιατί περιέχει τις ακτίνες του κεντρικού κώνου και του εξωτερικού κώνου.

Μπροστά στη σφαίρα βάζει ένα ακόμη λευκό σώμα λιγότερο αδιαφανές από το πρώτο και παρατηρεί και την πλευρά που είναι προς τη σφαίρα. Τώρα παρατηρεί ένα πλήρη δακτύλιο που σχηματίζεται από τις ίδιες ακτίνες που διαθλώνται για δεύτερη φορά πριν να ανακλαστούν στη σφαίρα. Παρατηρεί τη μεταβολή των χρωμάτων σύμφωνα με τη θέση τους στη οθόνη. Συνεχίζοντας αυτή τη διαδικασία ξανακάνει το πείραμα στο σκοτεινό θάλαμο για να θεωρήσει τώρα τις δύο ανακλάσεις μεταξύ δύο διαθλάσεων.

Συγκρίνει μετά τα δύο πειράματα και παρατηρεί στην περίπτωση των δύο ανακλάσεων το ίδιο φαινόμενο - τόξο και δακτύλιο - όπως και στην περίπτωση της μίας ανάκλασης, τώρα όμως έχουμε εξασθενημένα τα φώτα και τα χρώματα είναι πιο ωχρά.

Η επιτυχία του Αλ Φαρίσι οφείλεται στο ότι χρησιμοποίησε τη μέθοδο του Αλ Χαϊθάμ. Την υιοθέτησε και απαίτησε για το ουράνιο τόξο καθώς και για κάθε άλλο φαινόμενο του φωτός μια συστηματική σύνθεση γεωμετρίας και οπτικής. Τα συμπεράσματα του γεωμέτρη μπορούν να έχουν μια φυσική σημασία, όμως οι φυσικές έννοιες θα πρέπει να μπορούν πάντα να δεχτούν μια γεωμετρική θεώρηση. Για να γίνει έστω και μία ελάχιστη πραγμάτωση αυτής της μεθόδου θα έπρεπε να γίνουν πειράματα. Θα έπρεπε να δοκιμαστούν αυτές οι έννοιες για να ελεγχθεί

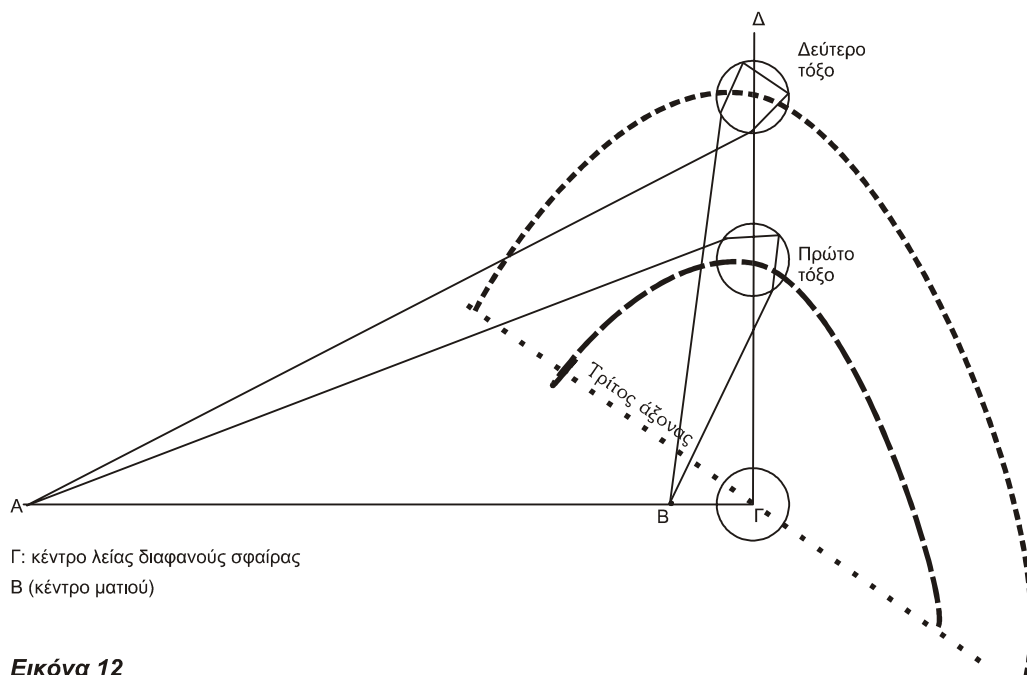
κατά πόσο μπορούν να εξηγήσουν το φαινόμενο που θέλουν να περιγράψουν ή τουλάχιστον να συλλάβουν ένα μέρος του.

Η προσπάθεια της πειραματικής έρευνας του Αλ Φαρίσι έφερνε την ανάγκη για χρήση αναλογιών. Για να μελετηθεί το φυσικό φαινόμενο, χρησιμοποιείται ένα κατασκευασμένο αντικείμενο, και στην περίπτωση του ουράνιου τόξου μια σφαιρική φιάλη.

Εξήγηση των χρωμάτων από τον Αλ Φαρίσι

Το θέμα του χρώματος οι Άραβες το εξέταζαν με βάση τις ιδέες του Αριστοτέλη που αναφέρονται στα «Μετεωρολογικά» του. Φαίνεται ότι ο Αλ Φαρίσι ξεχνά να εφαρμόσει τη μέθοδό του όσον αφορά το θέμα αυτό. Τα χρώματα τα θεωρεί ως προϊόντα ενός μείγματος φωτός και σκότους, λευκού και μαύρου. Το κόκκινο περιέχει περισσότερο φως και λιγότερο σκότος από το ιώδες. Για το ουράνιο τόξο πρέπει να εξειδικεύσει το θέμα. Για το πείραμα του ο Αλ Φαρίσι δε χρειάζεται να εξηγήσει τα χρώματα γενικά, αλλά μόνο αυτά που σχηματίζονται πάνω στην οθόνη λόγω του συνδυασμού των ανακλάσεων και διαθλάσεων.

Μεταβάλλοντας έτσι τις αντίστοιχες θέσεις των ειδώλων στους διάφορους κώνους που σχηματίζονται από τις διαθλωμένες ακτίνες, θεωρεί ότι μπορεί ν' αναλύσει τα διάφορα χρώματα ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η υπέρθεση των δύο ειδώλων: το λαμπρό κυανό παράγεται από το πλησίασμα χωρίς υπέρθεση των δύο ειδώλων μιας φωτεινής πηγής, ενώ το λαμπρό κίτρινο παράγεται από την υπέρθεση των δύο ειδώλων και το σκούρο κόκκινο ανήκει στα άκρα της δέσμης των ακτινών.



Εικόνα 12

Για να εξηγήσει τα διάφορα χρώματα, ο Αλ Φαρίσι λαμβάνει δύο ειδώλα αντί για ένα. Γι αυτό είχε προσπαθήσει να ταυτίσει τα διάφορα ειδώλα που παράγουν οι διάφοροι κώνοι των διαθλωμένων ακτινών.

Σύνθεση των δεδομένων για την εξήγηση του ουράνιου τόξου



'Ηλιο.

148

είναι από πάνω ή από κάτω τους, γιατί τα τμήματα μεταξύ των δύο τόξων έχουν αφαιρεθεί από το φως του Ήλιου.

Με τη μέθοδο που χρησιμοποίησε ο Αλ Φαρίσι, προσπάθησε να μελετήσει το ουράνιο τόξο μέσα στα πλαίσια της νέας οπτικής. Με τη μέθοδο αυτή ξεπέρασε το πρόβλημα της πλήρους και άμεσης μελέτης. Με τη νέα οπτική καθώς μετέβαλε την έννοια της ακτίνας και με την αρχή της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός, αλλά και με τους πολλαπλούς κανόνες της διάθλασης δόθηκε μια γεωμετρική υπόσταση στη μελέτη του φωτός. Ο Αλ Φαρίσι μπόρεσε να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο της μοντελοποίησης.

Η Θεωρία του Ιμπν Αλ Χαϊθάμ για την άλω (**hala ὕλη**)

Ο Αλ Χαϊθάμ έδωσε μία θεωρία για την εμφάνιση της άλως. Η θεωρία αυτή αξίζει να αναφερθεί γιατί δεν τη βάσισε στην ανάκλαση (όπως το ουράνιο τόξο).

Για την εμφάνιση του φαινομένου αυτού θεωρεί ότι πρέπει να υπάρχει η συνθήκη της ύπαρξης πυκνού αέρα με υγρασία όπως ένα σύννεφο, πράγμα που έκανε και για το ουράνιο τόξο. Θεωρεί ότι το σχήμα αυτού του αέρα είναι σφαιρικό και θεωρεί ότι το κέντρο του ματιού είναι στην ευθεία που συνδέει το κέντρο του φωτεινού σώματος και το κέντρο της σφαιρικής αυτής μάζας του αέρα. Για να εξηγηθεί η θεωρία του, χρησιμοποιούμε την εικόνα 13 όπου Ε είναι το κέντρο του φωτεινού σώματος και Η το κέντρο του πυκνού αέρα με υγρασία ή του σύννεφου και Δ το κέντρο του ματιού. Η ευθεία ΕΗ τέμνει την επιφάνεια του αέρα στο Ω και ας είναι ο λόγος ΕΩ/ΩΔ μεγαλύτερος από τον λόγο ΕΗ/ΗΔ.

Ο Αλ Χαϊθάμ λέει ότι αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα αν το σύννεφο είναι κοντά στο μάτι έτσι που η ΩΔ να είναι μικρότερη από την ΔΗ. Το φωτεινό σώμα είναι πολύ μακριά έτσι που να είναι ασήμαντη η διαφορά μεταξύ των ΩΕ και ΕΗ. Αν συμβαίνει αυτό, η ΕΔ τέμνεται στο Ρ έτσι που:

$$\frac{EP}{PD} = \frac{EH}{HD}$$

από το Ρ φέρουμε μια εφαπτόμενη ΑΡ προς την επιφάνεια της σφαίρας στο Α και φέρουμε τις ΕΑ, ΔΑ και ΗΑ που την προεκτείνουμε προς το Ζ.

Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η ακτίνα ΕΑ διαθλάται στην ακτίνα ΖΗ στο σημείο Α προς το Δ. Ο Αλ Χαϊθάμ το αποδεικνύει με το να φέρει την ευθεία ΗΘ παράλληλη προς την ΑΡ και προεκτείνει την ΑΔ μέχρι το Θ.

Από την ομοιότητα των τριγώνων ΔΑΡ, ΔΘΗ έχουμε:

$$\frac{PD}{HD} = \frac{PA}{\Theta H} \text{ και από το } \frac{EP}{PD} = \frac{EH}{HD} \text{ έχουμε : } \frac{PD}{HD} = \frac{EP}{EH}$$

Από το ότι οι ΑΡ και ΥΗ είναι παράλληλες έχουμε:

$$\frac{EP}{EH} = \frac{AP}{YH} \text{ και από του ότι : } \frac{AP}{H\Theta} = \frac{AP}{YH}$$

$$\text{έχουμε : } H\Theta = H\Theta \text{ έχουμε ότι οι γωνίες : } \hat{\Theta A H} = \hat{Y A H} = \hat{E A Z}$$

πράγμα απ' το οποίο βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η ευθεία ΕΑ ανακλάται (ως προς τη διεύθυνση) στο σημείο Α προς το Δ.

Αν περιστρέψουμε το σχήμα γύρω από το ΕΗ έχουμε την περιφέρεια ενός κύκλου και κάθε ακτίνα που έρχεται από το Ε προς ένα σημείο αυτού του κύκλου ανακλάται προς μια ευθεία που περνά από το σημείο Η και περνά από το Δ. Το μάτι αντιλαμβάνεται τα σημεία της ανάκλασης ως μία κυκλική άλω.

Συμπέρασμα

Οι ιδέες του Αλ Φαρίσι μπορούν να εφαρμοστούν στη διδασκτική της Οπτικής καθώς δίνουν ευκαιρία για εξέταση της αντίστροφης πορείας του φωτός, για μοντελοποίηση (Σταυρίδου 1995) και για μια αντιπαραβολή με τη σύγχρονη θεωρία των χρωμάτων (π.χ. Hewit 1994, Unesko 1985). Μπορεί να φανεί από το κεφάλαιο αυτό ότι οι επιστήμονες ως άνθρωποι έχουν τα όρια τους και ότι πολλές φορές αδυνατούν να εφαρμόσουν τις μεθόδους που οι ίδιοι προτείνουν.

Ιστορία και Διδακτική

Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό εξειδικεύεται σε θέματα διδακτικής της Οπτικής. Πριν προχωρήσουμε στη χρήση της ιστορίας στη διδασκαλία θέλουμε να αναφερθούμε σε θέματα εννοιών – εναλλακτικών ιδεών και μεθόδων αντιμετώπισης των, που αφορούν την οπτική για τα οποία υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία.

α) Σχηματισμός σκιάς

Οι Ραβάνης και Παπαμιχαήλ (1994) γράφουν ότι για το θέμα της κατανόησης της φυσικής αιτίας της σκιάς υπάρχουν τέσσερα είδη παράστασης:

Η σκιά ενός αντικείμενου θεωρείται ότι προέρχεται από το ίδιο το αντικείμενο, αλλά και από ένα εξωτερικό ως προς το αντικείμενο αίτιο, τη νύχτα, τη σκιά των δέντρων, κλπ.

Η σκιά προέρχεται από το αντικείμενο χωρίς όμως σχέση με το φως και χωρίς πρόβλεψη για το πού θα σχηματιστεί.

Η σκιά προέρχεται από το αντικείμενο, αλλά προσανατολίζεται προς την αντίθετη διεύθυνση από αυτήν του φωτός, σαν να αποπέμπεται από αυτό. Αρχίζει δηλαδή να αποδίδει κάποιο ρόλο στο φως, αλλά η αοριστία δεν επιτρέπει την παραδοχή της ύπαρξης συσχετίσεων μεταξύ φωτός και σκιάς.

Η σκιά είναι «απουσία φωτός» οφειλομένη στο ότι το αντικείμενο παρεμβάλλεται σαν ένα είδος οθόνης μεταξύ φωτός και επιπέδου προβολής.

Η Lillian McDermott (1996) και Karen Wosilat (1998) παρουσιάζουν διάφορες δραστηριότητες που αφορούν το σχηματισμό σκιών:

- Πετάσματα με οπές διαφόρων σχημάτων σε σχέση με πηγές. Ζητείται να προβλεφτεί το σχήμα της δημιουργούμενης φωτεινής περιοχής σε μία οθόνη πίσω από το πέτασμα.
- Πειράματα παρατήρησης σκιών: Παρατήρηση ύψους της σκιάς ενός καρφιού σε σχέση με τη θέση μιας λάμπας και μιας οθόνης. Παρατήρηση της σκιάς μέσα σε ένα κουτί.

Η Brickhouse (1994) διερευνήσε τις αντιλήψεις μικρών παιδιών σχετικά με τα παρακάτω ερωτήματα:

- Πώς δίνουν νόημα τα παιδιά στις παρατηρήσεις που τους ζητείται να κάνουν;
- Τι ρόλο παίζουν τα επεξηγηματικά πλαίσια στις προσπάθειες του παιδιού να εξηγήσει τις παρατηρήσεις του;
- Ποιοι είναι μερικοί από τους περιορισμούς στην κατανόηση των παιδιών από ένα τέτοιο περιβάλλον;
- Μπορούν να βοηθήσουν οι θεωρίες της τάξης τα παιδιά να καταλάβουν παρατηρήσεις εκτός τάξης;
- Τι κατανόηση δομούν τα παιδιά μετά από τη συμμετοχή τους σε μια σειρά μαθημάτων με ιδιαίτερη έμφαση στην κοινή γνώση της τάξης, δηλ. γνώση που είναι «δημόσια» και ανοιχτή για συζήτηση μεταξύ των παιδιών, γνώση *κοινωνικά δομημένη* από μια κοινότητα μαθητών;

Έγινε μια καταγραφή των περιπτώσεων που περιείχε *λεπτομερή χρονολογική περιγραφή* των αναφορών των παρατηρήσεων που βγήκαν από τις συζητήσεις των παιδιών, οι οποίες ταξινομήθηκαν σε τρεις διακριτές κατηγορίες:

- α) Παρατηρήσεις και εξηγήσεις φωτός.
- β) Παρατηρήσεις και εξηγήσεις σκιών.
- γ) Παρατηρήσεις έξω από την τάξη.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα ήταν η β) κατηγορία. Πολλές παρατηρήσεις έγιναν με τη βοήθεια μιας κούκλας που η ερευνήτρια τοποθετούσε μπροστά στην τάξη και ζητούσε από τα παιδιά να προβλέψουν σχήμα και μέγεθος της σκιάς.

β) Σκοτεινός θάλαμος

Ο Goldberg κ.ά. (1995) θεωρούν τον σκοτεινό θάλαμο σαν ένα σημαντικό μέσο για την διδασκαλία της οπτικής. Συσχετίζουν το σκοτεινό θάλαμο με τη διδασκαλία των φακών και της όρασης.

Προβάλουν ερωτήματα σχετικά με το μέγεθος του σχηματιζόμενου «ειδώλου» και ζητούν από το μαθητή να αντιπαραβάλει το είδωλο του σκοτεινού θαλάμου με το είδωλο του φακού.

Η McDermott (1996) στο κεφάλαιο «Σκοτεινοί θάλαμοι» ζητά προβλέψεις για το παρατηρούμενο είδωλο. Οι μαθητές καλούνται να εκτελέσουν πειράματα στα οποία εξομοιώνουν την κίνηση του φωτός με μία ράβδο.

γ) Ανάκλαση φωτός

Ο Goldberg κ.ά (1995) αναφέρουν ως μερικές ιδέες των μαθητών για την ανάκλαση τις εξής:

- Για να δει ένας παρατηρητής το είδωλο ενός αντικειμένου, είτε το αντικείμενο πρέπει να είναι άμεσα μπροστά στο κάτοπτρο, ή αν δεν είναι ακριβώς μπροστά, τότε το αντικείμενο να είναι κατά μήκος της γραμμής όρασης του παρατηρητή προς το κάτοπτρο. Δεν έχει σημασία η θέση του παρατηρητή στο αν μπορεί ή όχι να δει το είδωλο.
- Ο τρόπος που λειτουργεί το κάτοπτρο είναι ο εξής: Το είδωλο μεταβαίνει στην επιφάνεια του κατόπτρου. Μετά ο παρατηρητής βλέπει το είδωλο πάνω στην επιφάνεια του κατόπτρου ή το είδωλο ανακλάται και μεταβαίνει στο μάτι του παρατηρητή. Δηλαδή το είδωλο «κινείται» στο χώρο.
- Το φως ανακλάται από λείες επιφάνειες, αλλά όχι από μη ανακλαστικές.

δ) Διάθλαση φωτός

Για τη διάθλαση, ο Goldberg κ.ά. (1995) παρουσιάζουν διδασκαλίες στις οποίες ζητούν να προβλέψουν οι μαθητές την πορεία της δέσμης μετά από το πέρασμα της από ένα ημικύκλιο. Δίνουν σαν βασική αφορμή για το θέμα της διάθλασης τον σχηματισμό πραγματικού ειδώλου από φακό. Επιδιώξη τους είναι να συνδεθεί η λειτουργία των φακών με τη διάθλαση. Με περισσότερες λεπτομέρειες ασχολείται η McDermott (1996). Παραθέτει διαθλάσεις από διάφορα είδη επιφανειών και ζητά από το μαθητή να ελέγξει ως προς την ορθότητά τους διάφορα σχήματα πορειών ακτινών. Σε άλλες περιπτώσεις ζητά να βρεθούν κατάλληλα αντικείμενα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τις παρατηρούμενες πορείες των ακτινών.

Οι Singh και Butler (1990) μελέτησαν τη δομή της γνώσης της διάθλασης. Παρατήρησαν ότι πολλοί μαθητές έχουν μία αποσπασματική δομή της γνώσης. Δεν εφαρμόζουν τους γενικούς νόμους, αλλά αναλύουν κάθε φαινόμενο σαν ανεξάρτητο.

ε) Ιδιότητες των φακών

Οι Goldberg και McDermott (1987) διερεύνησαν τις παρανοήσεις των φοιτητών για το σχηματισμό ειδώλων σε φακούς. Παρατήρησαν ότι δε γινόταν κατανοητή η λειτουργία του φακού για το σχηματισμό αντίστροφου ειδώλου, αφού πολλοί περίμεναν ότι με την αφαίρεση του φακού θα έχουμε ορθό είδωλο στην οθόνη. Επίσης, δεν κατανοούν πολλοί ότι το είδωλο σχηματίζεται από άπειρες ακτίνες που ξεκινούν από κάθε σημείο του αντικειμένου. Συσχετίζουν το σχηματισμό ειδώλου με ένα είδος προβολής του αντικειμένου. Σαν συνέπεια αυτών των παρανοήσεων όσον αφορά την κάλυψη μέρους της επιφάνειας του φακού, πολλοί περιμένουν ότι θα εξαφανιστεί το μισό είδωλο.

Οι Ronen και Eylon (1993) παρατηρούν ότι ενώ διδάξαν το θέμα α) με διαγράμματα ακτινών β) με την επίδειξη ότι δε σβήνει το μισό είδωλο, η δραστηριότητα δεν ήταν αποτελεσματική αν ο φοιτητής δεν είχε κατανοήσει την πηγή του σφάλματός του μετά την τυπική εξήγηση. Πιθανόν μερικοί να συγχυστηκαν μετά την επίδειξη ή να έμειναν αβέβαιοι για την ερμηνεία του τι είχαν δει με τα μάτια τους.

Οι Galili, Bendall και Goldberg (1993) ερεύνησαν τα αποτελέσματα της πρότερης γνώσης στην κατανόηση του σχηματισμού των ειδώλων. Αυτό που συμπέραναν είναι ότι χρειάζεται μία ισχυρή «αναδόμηση» των νοητικών δομών. Μια αρχική γνώση που παρατήρησαν ότι είχαν οι φοιτητές ήταν μια «ολιστική» αναπαράσταση της πορείας του φωτός για το σχηματισμό των ειδώλων. Ως κεντρικές ιδέες αυτής της αναπαράστασης ήταν:

Το είδωλο σχηματίζεται από μια μετακίνηση της εικόνας του αντικειμένου μέσα από τον φακό που το αντιστρέφει

Ο φακός χρησιμεύει μόνο στο να αντιστρέφει το είδωλο. Ο σχηματισμός του ειδώλου δε συνδέεται με τις ακτίνες.

Θεωρούν απαραίτητη την ύπαρξη της επιφάνειας της οθόνης για το σχηματισμό του ειδώλου.

Ο Goldberg (1992) για να αντιμετωπίσει την παρανόηση διδάσκει τις ιδιότητες των φακών σε σχέση με τον σκοτεινό θάλαμο. Παρατηρεί ότι

όταν σχηματίζεται πραγματικό είδωλο ενός φακού και ενός σκοτεινού θαλάμου, αν η απόσταση φακού - αντικειμένου είναι η ίδια με την απόσταση οπής - αντικειμένου, τότε το σχηματιζόμενο είδωλο του φακού στην οθόνη θα είναι ίσου μεγέθους με το «είδωλο» που δίνει ο σκοτεινός θάλαμος αν βάλουμε την οθόνη σε απόσταση από την οπή ίση με αυτή που έχει με το φακό.

στ) Σχηματισμός φανταστικών ειδώλων από κάτοπτρα και φακούς.

Η Guesne (1984, 1993) αναφέρει ιδέες των μαθητών για την αλληλεπίδραση φωτός και ύλης. Παρατηρεί ότι πολλοί μαθητές έχουν δύο τύπους απαντήσεων: «ο μεγεθυντικός φακός κάνει το φως μεγαλύτερο» ή «ο μεγεθυντικός φακός συγκεντρώνει το φως».

Οι Galili, Bendall, Goldberg (1993) μελέτησαν την κατανόηση του σχηματισμού ειδώλων σε διάφορες περιπτώσεις: α)επίπεδο κάτοπτρο β)κοίλο κάτοπτρο γ)κυρτό κάτοπτρο δ)πρίσμα.

Η παρατήρηση του ειδώλου σε κάτοπτρα αντιμετωπίζεται με πολλές πειραματικές δραστηριότητες και πολλές ασκήσεις από την McDermott (1996). Το ίδιο κάνει και ο Goldberg. Κατ' αρχήν εξετάζει τα είδωλα σε επίπεδα κάτοπτρα. Μετά μελετά τα είδωλα λόγω διάθλασης. Για την παρατήρηση αυτών των ειδώλων χρησιμοποιεί τη μέθοδο της παράλλαξης. Μετά προχωρά στα είδωλα αμφίκυκλων φακών. Η McDermott δίνει επιπλέον εργαστηριακές δραστηριότητες και ερωτήματα για φανταστικά είδωλα αμφίκυκλων φακών, κοίλων και κυρτών κατόπτρων.

Ρόλος της Φύσης της επιστήμης στην εκπαίδευση

Το θέμα και ο ρόλος της φύσης της επιστήμης στην εκπαίδευση έχει μελετηθεί πολύ (π.χ. Duschl 1990, Duschl, Hamilton και Grandy 1992, Duschl και Hamilton 1998, Nersessian 1992, Matthews 1998, William f. McComas, κ.ά 1998). Ο Matthews (1998) αναφέρει ότι φιλοσοφικά θέματα πολύ εύκολα μπορούν να ανακύψουν μέσα στη διδασκαλία. Είναι απαραίτητη η συζήτηση όρων όπως «νόμοι», «θεωρίες», «γνώση», «υπόθεση» κ.ά. Ο Duschl (1990) παρουσίασε τη σημασία των θεωριών στις Φυσικές Επιστήμες. Τόνισε επίσης την αλληλεπίδραση μεταξύ θεωρίας, μεθόδων και ανάπτυξης των Φυσικών Επιστημών. Οι μέθοδοι αυτοί παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στον τρόπο διεξαγωγής των πειραμάτων. Όπως αναφέρουν οι Duschl, Hamilton και Grandy (1992) η μελέτη της φιλοσοφίας των επιστημών σε συνδυασμό με τη γνωσιακή ψυχολογία δίνει νέες μεθόδους για την εκπαίδευση. Η Nersessian (1992) δίνει μία σύνθεση της ιστορίας της επιστήμης, της φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών και της γνωσιακής επιστήμης. Η Nersessian θεωρεί ότι οι γνωσιακές δραστηριότητες των επιστημόνων που έχουν οικοδομήσει νέες νοηματικές δομές έχει μεγάλη σημασία στη μάθηση, και ότι η κατανόηση αυτών των πρακτικών θα βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς στο να βοηθήσουν τους μαθητές να οικοδομήσουν αναπαραστάσεις της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης. Χρειάζεται να μελετηθούν μέσα από την ιστορία των φυσικών επιστημών τα διάφορα είδη των διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική δόμηση των νοηματικών δομών και να γίνει προσπάθεια να διδαχθούν οι μαθητές πως να δομήσουν αυτές τις αναπαραστάσεις μόνοι τους χρησιμοποιώντας τις ίδιες διαδικασίες. Οι μαθητές τότε θα γνωρίσουν ότι έχουν κενά στη γνώση τους και ταυτόχρονα

θα αποκτήσουν εμπειρία για την αναδόμηση των δομών της γνώσης τους και για τη δημιουργία νέων δομών.

Διδακτική της Οπτικής και Ιστορία

Έχουν προταθεί διάφορες απόψεις για τη χρήση της ιστορίας στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. από τους Hulin (1996), Seroglou F, Koumaras P., (1998), Castro και Carvalho (1995), Κολιόπουλος και Ψύλλος (1982).

Θετικά ως προς το ζήτημα αναφέρονται οι Castro και Carvalho, (1995):

- Οι μαθητές έχουν μια πιο συνολική εικόνα για τη φύση των Φυσικών Επιστημών και ιδίως του δοκιμαστικού χαρακτήρα τους (Duschl 1990) αντίθετα προς την παρουσίαση της «επιστήμης της οριστικής μορφής».
- Οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν τη βαθμιαία δόμηση της γνώσης.
- Η ιστορική προσέγγιση μπορεί να δώσει μια εναλλακτική μορφή διδασκαλίας.
- Δίνει ενδιαφέρον στο περιεχόμενο του μαθήματος (Stinner & Williams 1998).
- Ο δάσκαλος μπορεί να χρησιμοποιήσει ιστορικά δεδομένα για να ανακαλύψει διάφορα εμπόδια που πιθανόν να αντιμετωπίζουν οι μαθητές (Σέρογλου 2000).
- Το μάθημα αποκτά σημασία και για τους μαθητές που δε σκοπεύουν να ασχοληθούν επαγγελματικά με τις Φυσικές Επιστήμες. Η γνώση για την ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών είναι μέρος του γενικότερου πολιτισμού. Μια ιστορική αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων της Φυσικής θα βοηθούσε τους μαθητές να αναθεωρήσουν εσφαλμένες ιδέες και να υιοθετήσουν τις σωστές /επιστημονικές.

Μερικές αντιρρήσεις που εξεφράστησαν ήταν:

- Το μάθημα φυσικής μπορεί να μετατραπεί σε μάθημα ιστορίας.
- Με τη μελέτη της ανάπτυξης μπορούμε να φτάσουμε σε κάποιο σημείο όπου εκθέτουμε τις λανθασμένες απόψεις των επιστημόνων του παρελθόντος. Αυτό μπορεί να εκληφθεί ως «γελοιοποίηση» π.χ. του Αριστοτέλη ή οι μαθητές μπορεί να οδηγηθούν να περιφρονήσουν κάποιον επιστήμονα ή φιλόσοφο, πράγμα που θα τους εμποδίσει αργότερα να μελετήσουν το έργο του. Ο αντίποδας αυτής της αντίρρησης είναι ότι υπάρχει δυνατότητα η ιστορική προσέγγιση να εκφυλιστεί σε μία συλλογή «βίων Αγίων» (Hulin 1996).
- Υπάρχει ανάγκη προσοχής στην παρουσίαση των ιστορικών δεδομένων. Οι μαθητές βρίσκονται σε σύγχυση αν δεν τους δοθεί η δυνατότητα να σκεφτούνε και να πειραματιστούνε με τις διάφορες απόψεις. Χρειάζεται μια προσεκτικά οργανωμένη παρουσίαση των ιστορικών θεμάτων (Kipnis 1998).
- Παρατηρήθηκε σε παρακολουθήσεις διδασκόντων Φυσική από τον συγγραφέα, να παρουσιάζονται ως «ιστορικά δεδομένα» ερμηνείες των διδασκόντων που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Ένας διδάσκων παρουσίαζε την επιβεβαίωση της υπόθεσης ότι στα βουνά η ατμοσφαιρική πίεση θα είναι μικρότερη από ό,τι στην επιφάνεια της θάλασσας λέγοντας «ο Pascal θα πρέπει να ήταν πολύ αθλητικός και ρωμαλέος νέος αφού για να επιβεβαιώσει την υπόθεση του δε δίστασε να υποστεί μια εξαντλητική ορειβασία!»

Εφαρμογές της ιστορικής μεθόδου στην Οπτική

Ο Kirnis (1998) εξέτασε διάφορους τρόπους εφαρμογής της μεθόδου αυτής: Αξιολόγηση διαφόρων περιστατικών, παίξιμο ρόλων, ιστορικά αναγνώσματα, αναπαραγωγή των πειραμάτων μέσα στα πλαίσια του μαθήματος. Κατ' αυτόν:

Ιστορικές έννοιες (της παλιάς επιστήμης)	Αντιλήψεις των μαθητών (που εμφανίζονται στη μάθηση)
Πυθαγόρεια αντίληψη της όρασης	“Ενεργός” όραση
Ευκλείδειες ακτίνες (οπτικές και φωτεινές)	Ακτίνες φωτός, ακτίνες όρασης (θεωρία των ακτίνων ως πραγματικών οντοτήτων)
“Είδωλα” των ατομικών	Σχήμα Ολικής εικόνας (ειδώλου)
Βιβλική – Μεσαιωνική διχοτομία του φωτός ως οντότητας και ως αντίληψης	Στατικό φως που βρίσκεται μέσα/ γύρω από τις φωτεινές πηγές, άλως, λαμπρός ουρανός, φωτισμένες επιφάνειες (θεώρηση του φωτός ως μιας στατικής πραγματικότητας)
Αντίληψη του Αλ Χαϊθάμ για όραση με τη βοήθεια φωτεινών ακτίνων	Σχήμα προβολής εικόνας

Με τη χρήση της ιστορίας μπορεί να διευκολυνθεί η κατανόηση μιας έννοιας αν αυτή «επανανακαλυφθεί» με μια ενεργό συμμετοχή του μαθητή.

Πρέπει να γίνεται χρήση ιστορικών πειραμάτων που απαιτούν από το μαθητή να μιμηθεί Φυσικούς.

Γίνεται πιο κατανοητή η στρατηγική του πειραματισμού. Μπορούν να μελετηθούν τα ερωτήματα που εγείρονται για πειραματική έρευνα. Υποδιαίρει την έρευνα σε «προκαταρκτική» όπου εξετάζεται η προέλευση του προβλήματος, παρουσιάζονται οι ιδέες των επιστημόνων και τα πρώτα πειράματα, ενώ στο «κύριο» μέρος έχουμε μια σχεδιασμένη πορεία.

Ο Kirnis χρησιμοποίησε ιστορικά πειράματα τα οποία επαναλαμβάνουν οι μαθητές.

Μια άλλη προσπάθεια χρήσης ιστορίας στη διδασκαλία της Οπτικής είναι αυτή που παρουσιάζουν οι Galili και Hazan (2000). Αυτοί σχεδίασαν ένα πειραματικό μάθημα γεωμετρικής Οπτικής που περιελάμβανε πολλά ιστορικά μοντέλα για το φως, την όραση και τα είδωλα. Σχεδίασαν το μάθημα με βάση τη γνώση που διαπίστωσαν ότι είχαν οι μαθητές όσον αφορά τα οπτικά φαινόμενα. Η θεώρησή τους ξεκινά με την ανάλυση της παραδοσιακής θεώρησης της γνώσης της φύσης που έπρεπε να είναι λιτή, και ότι η φύση μπορεί να κατανοηθεί με βάση τη δομή της. Το να γνωριστεί ή να μελετηθεί ένα θέμα ήταν συνώνυμο με το να μελετηθεί η δομή του θέματος.

Καθοδηγήθηκαν από τα σχήματα της εναλλακτικής γνώσης των μαθητών όσον αφορά την όραση, φύση του φωτός, εικόνες και σκιές. Ανάμεσα στα θέματα που συμπεριλήφθησαν στα μαθήματα ήταν: Αρχαίες Ελληνικές, Μεσαιωνικές Αραβικές και αρχικές σύγχρονες θεωρίες της όρασης, ιδέες που αφορούν τη φύση του φωτός, ιδέες που αφορούν τις ακτίνες, τα κάτοπτρα, τους φακούς, τις σκιές, την ανάκλαση και διάθλαση του φωτός, το σκοτεινό θάλαμο και την ταχύτητα του φωτός. Υπάρχει ένας παραλληλισμός μεταξύ των ιδεών (όπως φαίνεται στον πίνακα).

Η οντολογική θέση των «φωτεινών ακτινών» που χρησιμοποιούνται ως εργαλείο στη συνήθη διδασκαλία η οποία όμως δε συζητείται στα βιβλία, παραμένει ένα αίνιγμα για τους μαθητές. Οι μαθητές κάνουν μια αυθόρμητη μετατροπή των ακτινών σε πραγματικά όντα. Οι μαθητές συνήθως συγχέουν την οντολογική θέση των εννοιών, και αναφέρονται κατά ένα φυσικό τρόπο σε έννοιες που βασίζονται σε διαδικασίες ως έννοιες που βασίζονται σε ύλη. Στην οπτική οι μαθητές θεωρούν ως αντικείμενο το φως και ιδιαίτερα τις ακτίνες. Οι μαθητές στην πειραματική τάξη σαφώς μάθανε για την ιστορία των εννοιών της «φωτεινής ακτίνας» και της «ακτίνας όρασης» ξεκινώντας από τον Ευκλείδη. Τα επιχειρήματα του Αλ Χαϊθάμ κατά των ακτινών όρασης, συζητήθηκαν στην τάξη και ενθάρρυναν τους μαθητές να αναθεωρήσουν και να απορρίψουν αυτή την έννοια στην αφελή της έκφραση. Όσον αφορά την έννοια της φωτεινής ακτίνας η θεραπεία ίσως να έρχεται από τη μελέτη της ιστορικής αποτυχίας να εξηγηθεί η διάθλαση του φωτός με τη βοήθεια μιας μόνης ακτίνας. Γιατί «σπάει» η ακτίνα; Αυτή η ιστορική ερώτηση έφερε τους μαθητές στην αναγκαιότητα να εισάγουν τη ΔΕΣΜΗ φωτός, τη φωτεινή ροή και το μέτωπο του φωτός ως νέες έννοιες για να εξηγήσουν τη συμπεριφορά του φωτός. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές εκτίθενται στην ιστορική νοηματική αλλαγή της οντολογικής θέσης της φωτεινής ακτίνας, από μια θεμελιώδη έννοια της παλιάς επιστήμης προς ένα βοηθητικό εργαλείο στο σύγχρονο επιστημονικό μοντέλο.

Δυσκολίες των Φοιτητών:

Α) Για τη διάδοση του φωτός

Έχει παρατηρηθεί ότι δεν αντιμετωπίζονται τα φαινόμενα ή τα προβλήματα με βάση τις αρχές της Οπτικής αλλά περισσότερο ως μια εφαρμογή θεμάτων που έχουν διδαχθεί πρόσφατα. Αυτό εισάγει πολλές δυσκολίες που πολλές φορές είναι μη αναμενόμενες.

Για τις ιδέες των φοιτητών σε πολλά θέματα χρησιμοποιήθηκαν ιστορικές αναφορές όπως η ακόλουθη ερώτηση που δόθηκε σε αρχικά μαθήματα που αφορούσαν την Οπτική:

Ο Πλάτων στον Τίμαιο γράφει τα ακόλουθα για τη φύση της όρασης:

«Μέσα από τα μάτια ρέει το καθαρό πνρ. Εμποδίζεται το ισχυρότερο μέρος της φωτιάς να περνάει. Αυτό που περνάει είναι μόνο το τμήμα που μοιάζει με την ημέρα (τα όμοια έλκονται). Όταν υπάρχει το φως τα δύο όμοια ενώνονται και σχηματίζουν κάτι το οικείο μπροστά στα μάτια. Αυτό αν κάποτε αγγίξει κάτι άλλο μεταδίδει τις κινήσεις του στο μάτι και από εκεί στην ψυχή. Αυτό δίνει την όραση. Στη νύχτα δεν υπάρχει το εξωτερικό πνρ, οπότε αποκόπτεται από το όμοιο του το εσωτερικό. Το εσωτερικό αφού δε συναντά το «οικείο» του, σβήνεται.»

Ρωτήθηκαν οι φοιτητές (49): Ποια θεωρία για την όραση παρουσιάζεται εδώ; Τους δόθηκαν οι εξής επιλογές.

- α) Ότι η όραση οφείλεται στο φως που προσπίπτει στο μάτι και τη δημιουργία εικόνας στον αμφιβληστροειδή (16).
- β) Ότι η όραση οφείλεται σε φως που πηγάζει από τα μάτια μας (0).

γ) Ότι η όραση οφείλεται σε φως που πηγάζει από τα μάτια μας και συναντά όμοιο φως έξω από αυτά (33).

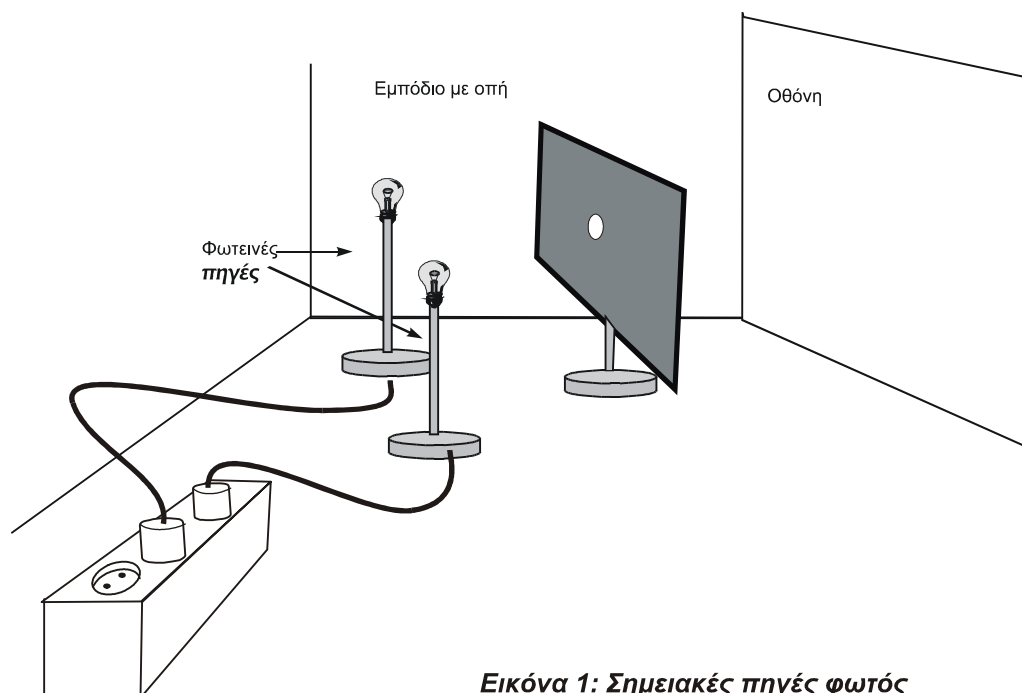
Η παραπομπή αυτή προκάλεσε έντονη συζήτηση. Μπορεί να συγκριθεί η θεωρία που παρουσιάζεται σ' αυτήν με την πιο απλοποιημένη θεωρία του Ευκλείδη και του Ήρωνα σύμφωνα με την οποία το μάτι εκπέμπει ακτίνες που έρχονται σε επαφή με τα αντικείμενα.

Δόθηκε η ακόλουθη ερώτηση:

Ο Ήρων έκανε σκέψεις για την ταχύτητα του φωτός. Είπε ότι αν στρέψουμε τα μάτια μας προς τον ουρανό και παρατηρήσουμε τα άστρα που βρίσκονται σε άπειρη απόσταση και μετά τα ανοίξουμε τα ξαναβλέπουμε αμέσως. Αυτό απέδειξε για τον Ήωνα ότι το φως έχει α) Πεπερασμένη ταχύτητα β) Άπειρη ταχύτητα.

Σε 49 φοιτητές οι 14 θεώρησαν ότι η ταχύτητα είναι πεπερασμένη, 29 άπειρη και 6 δεν απάντησαν.

Μια άλλη ερώτηση που δόθηκε ως συνέχεια της προηγούμενης ήταν:



Εικόνα 1: Σημειακές πηγές φωτός

Η θεωρία του Ήρωνα δε συμφωνεί με τις σύγχρονες αντιλήψεις διότι:

- | | |
|---|------|
| α) Τα άστρα δε βρίσκονται σε άπειρη απόσταση. | (1) |
| β) Το φως πηγάζει από τα άστρα και όχι τα μάτια μας. | (9) |
| γ) Το φως κινείται με πεπερασμένη ταχύτητα. | (12) |
| δ) Τα α, β, γ ταυτόχρονα. | (7) |
| ε) Πιστεύω ότι συμφωνεί με τις σύγχρονες αντιλήψεις για το φως. | (7) |
| στ) Δεν απάντησαν. | (13) |
| Σύνολο | (49) |

Παρατηρούμε ότι αρκετοί φοιτητές δε γνωρίζουν ότι το φως κινείται με πεπερασμένη ταχύτητα.

Για την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός υπήρξε συστηματική εργαστηριακή διδασκαλία με εργαστήρια που βασίστηκαν κατά ένα μεγάλο μέρος στα «Εισαγωγικά Μαθήματα Φυσικής» της McDermott και

αφορούσαν το σχηματισμό σκιάς, παρασκιάς, έγχρωμης σκιάς, σκοτεινό θάλαμο. Υπήρχαν και άλλες εργαστηριακές ασκήσεις που κάλυπταν θέματα ανάκλασης, διάθλασης, φακών, σχηματισμού ειδώλων.

Θα περιοριστούμε στις εργαστηριακές ασκήσεις που αφορούν τη διάδοση του φωτός και το σχηματισμό της σκιάς. Στα εργαστήρια συμμετείχαν πενήντα φοιτητές.

A. Πηγές φωτός.

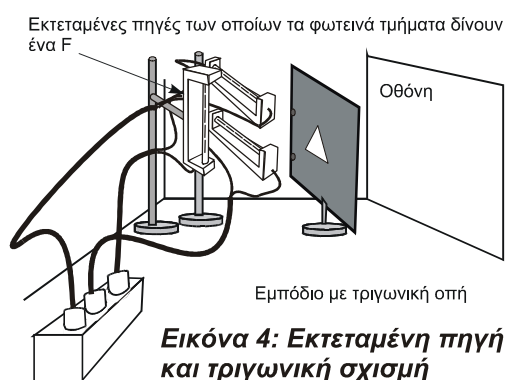
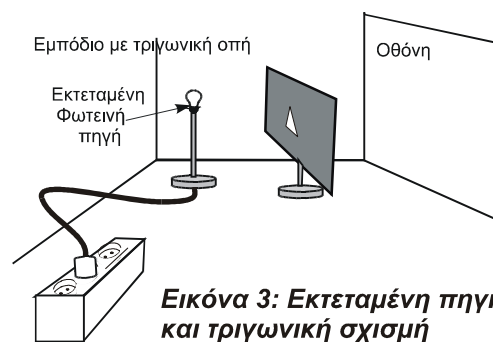
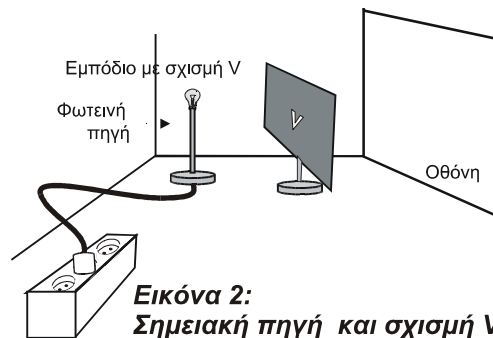
Στις εργαστηριακές ασκήσεις χρησιμοποιήθηκαν «σημειακές» πηγές και εκτεταμένες πηγές φωτός. Ως εκτεταμένες πηγές χρησιμοποιήθηκαν ευθύγραμμες λάμπες και γαλακτώδεις λάμπες. Για την παραγωγή χρωματιστού φωτός χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμες ζελατίνες (Edge 1987, Jakobson, Bergman 1991).

Ως προς τις σημειακές πηγές δεν παρουσιάστηκαν ιδιαίτερες δυσκολίες. Σε μερικές όμως περιπτώσεις ορισμένοι φοιτητές γενίκευαν τα φαινόμενα που παρατήρησαν σε εκτεταμένες πηγές και τα εφάρμοζαν και στην περίπτωση της σημειακής πηγής.

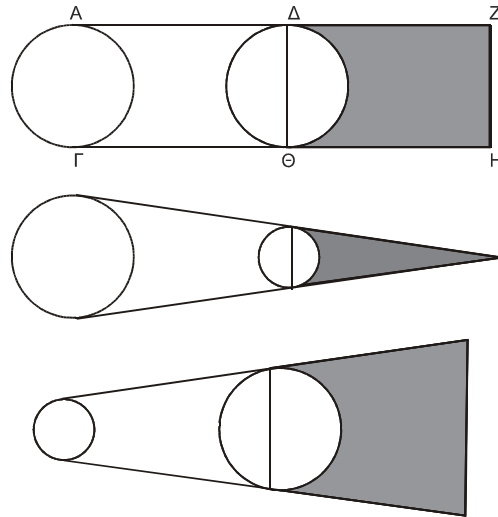
Από τα προτέσι προκύπτει ότι μόνο το 15% πιστεύει ότι μια δεύτερη σημειακή πηγή μπροστά από ένα διάφραγμα με οπή θα δώσει ένα δεύτερο φωτεινό σημείο (Εικόνα 1). Η πλειοψηφία (65%) θεωρεί ότι η δεύτερη σημειακή πηγή απλά θα επηρεάσει το φωτεινό σημείο ως προς τη φωτεινότητα του και το μέγεθος του. Μετά τη διδασκαλία και το εργαστήριο ένα πολύ μικρό ποσοστό (4%) δίνει το σχήμα της οπής (σε περίπτωση μη κυκλικής οπής) ανάποδα κάτι που δείχνει ότι έχουν κάνει υπεργενίκευση των αποτελεσμάτων που παίρνουν σε εκτεταμένες πηγές.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι οι φοιτητές δυσκολεύονται να προβλέψουν τη θέση της φωτεινής κηλίδας. Πολλοί φοιτητές προτείνουν ότι η φωτεινή πηγή θα σχηματιστεί κατά την κάθετο που φέρουμε από την πηγή προς την οθόνη.

Ιδιαίτερες δυσκολίες παρουσιάζονται σε ασκήσεις με εκτεταμένες πηγές. Πριν τη διδασκαλία κανένας δε μπόρεσε να προβλέψει ότι μια λάμπα με μακρύ νήμα μπροστά από ένα διάφραγμα με οπή θα δώσει φωτεινό σημείο στο σχήμα της λάμπας και μάλιστα ανάποδα. Κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου όμως και έχοντας δει τι συμβαίνει εάν τοποθετήσουμε πολλές



σημειακές πηγές τη μια πάνω από την άλλη μερικοί προβλέπουν ότι θα δουν πολλές φορές το σχήμα της οπής και μάλιστα το ένα σχήμα μέσα στο άλλο χωρίς να καταλαβαίνουν ότι βλέπουν το σχήμα που δίνουν οι λάμπες ανάποδα ή έστω ότι το πάνω φωτεινό σημείο προκύπτει από την κάτω λάμπα κ.ο.κ. Βρίσκονται δηλαδή σε ένα ενδιάμεσο στάδιο. Αυτό που βοηθάει αρκετούς σε αυτό το σημείο για να εμπεδώσουν πλήρως την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός είναι η χρήση έγχρωμων λαμπών. Μια άλλη δυσκολία παρουσιάζεται όταν έχουμε μία ή περισσότερες σημειακές



Εικόνα 5: τα σφάλματα του Αλ Κίντι για τις σκιές

πηγές με μη κυκλική οπή στο διάφραγμα. Τότε προσπαθούν να πάρουν την κάθε λάμπα χωριστά αλλά αποτυγχάνουν στη σύνθεση για το τελικό σχήμα.

Για παράδειγμα, στο πρόβλημα τι θα παρατηρηθεί με τη χρήση μιας σχισμής σχήματος V (εικόνα 2) ορισμένοι απαντούσαν ότι θα εμφανιστεί το V ως ένα Δ στην οθόνη μπερδεύοντας το πρόβλημα με την περίπτωση χρήσης εκτεταμένης πηγής με σχήμα V.

Ως εκτεταμένες πηγές χρησιμοποιήθηκαν ευθύγραμμες λάμπες. Οι πηγές αυτές χωρίζονται σε πέντε



Εικόνα 6

Πολλοί δυσκολεύονται να θεωρήσουν ότι από κάθε σημείο μιας εκτεταμένης πηγής υπάρχει μια αποκλίνουσα δέσμη φωτός. Θεωρούν ορισμένες ακτίνες μόνο, στις οποίες δίνουν προτεραιότητα και αγνοούν τις άλλες κατευθύνσεις.

Σε ερώτημα που ετέθη σε εξετάσεις με πηγή ευθύγραμμη και οπή σχήματος V, επί 19 ερωτηθέντων οι 13 είχαν συμμετάσχει στο

εργαστηριακό μάθημα και από αυτούς 6 απάντησαν λανθασμένα ενώ αντίθετα από τους υπόλοιπους 6 που δε συμμετείχαν στα εργαστήρια απάντησαν λανθασμένα οι πέντε (εικόνα 3).

Επίσης πολλοί παίρνουν την εκτεταμένη πηγή ως σημειακή και συνεπώς δίνουν το σχήμα της οπής. Στην περίπτωση της εικόνας 4 όπου υπάρχει πηγή σχήματος F, λαμβάνουν κάθε ευθύγραμμη λάμπα ως μία σημειακή πηγή γιατί οι πιο πολλοί δηλώνουν ότι θα δουν 3 V στην οθόνη, αλλά δεν μπορούν να προσ-διορίσουν τη θέση τους. Δεν μπορούν να αναλύσουν τις πηγές σε τμήματα σημειακών πηγών.

B. Σκιές:

Οι φοιτητές κατανοούν ότι το μέγεθος της σκιάς μεγαλώνει καθώς μια σημειακή πηγή πλησιάζει ένα εμπόδιο. Γενικεύουν την έννοια της αναλογίας. Μιλάν για το μέγεθος της σκιάς ως «αντιστρόφως ανάλογο» ως προς την απόσταση της σημειακής φωτεινής πηγής. Το 0 των φοιτητών κατανοούν ότι το μέγεθος της σκιάς δε μπορεί να είναι μικρότερο από το αντικείμενο για σημειακή πηγή. Οι υπόλοιποι δείχνουν αδυναμία να κατασκευάσουν ένα διάγραμμα κάτοψης για τη σκιά που θα τους βοηθούσε να προβλέψουν το σωστό μέγεθος.

Ως προς τα διαγράμματα κάτοψης παρατηρήσαμε παρόμοιες δυσκολίες μεταξύ των μαθητών της πέμπτης και έκτης δημοτικού. Σε ερωτηματολόγιο που δόθηκε παρατηρήθηκε ότι οι μαθήτριες έχουν μεγαλύτερες δυσκολίες στο να κατανοούν και να κατασκευάζουν διαγράμματα κάτοψης από ό,τι οι μαθητές. Αυτό ίσως μπορεί να συνδεθεί με τη γενικότερη δυσκολία που παρουσιάζουν οι φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. καθώς η πλειοψηφία τους είναι θήλεις.

Σχηματισμός σκιάς: πολλοί φοιτητές χρησιμοποιούν την έκφραση «σχηματίζεται σκιά γιατί χάνεται το φως».

Σε ερώτημα που αφορά τη θεωρία του Άραβα Αλ Κίντι για τη σκιά εκτεταμένης πηγής κανείς δε μπόρεσε να εντοπίσει την απουσία της παρασκιάς (εικ. 5).

Με συστηματικά πειράματα μπόρεσαν πολλοί να κατανοήσουν το θέμα των σκιών πολλών σημειακών πηγών.

Σε ερώτημα που ετέθη στις εξετάσεις ζητήθηκε να σχεδιάσουν το σχήμα της σκιάς και το χρώμα που αναμένεται να υπάρξει στην οθόνη αν έχουμε μία κόκκινη και μία πράσινη σημειακή πηγή.

Στην περίπτωση αυτή οι φοιτητές που συμμετείχαν σε μία συστηματική εργαστηριακή διδασκαλία απάντησαν αρκετά ικανοποιητικά σχεδιάζοντας με ακρίβεια τις περιοχές που θα παρατηρείται σκιά, και το χρώμα που θα εμφανίζεται σ' αυτήν.

Γ. Διαφράγματα με σχισμές -Σκοτεινός θάλαμος

Εκτός από τις παραπάνω δραστηριότητες με τη διέλευση φωτός από στενές σχισμές, οι φοιτητές είχαν την ευκαιρία να ασχοληθούν με διάφορες περιπτώσεις όπως: τριγωνικών, σχήματος μισοφέγγαρου και με διάφορα σχήματα πηγών. Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση αφορά την περίπτωση πηγής σε σχήμα ημισελήνου. Αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα που βασίζεται στις ιδέες που παρουσίασε ο Αλ Χαϊθάμ τον 10ο αιώνα για τον σκοτεινό θάλαμο. Αρκετοί φοιτητές είχαν την ευκαιρία να ασχοληθούν με το πρόγραμμα και να συζητήσουν προβλέψεις που αφορούσαν την εμφάνιση στην οθόνη (Mihes 2001a). Η δραστηριότητα αυτή μπορούσε να δώσει το σχήμα στην οθόνη και να προβληματίσει τον φοιτητή όσον αφορά τις προβλέψεις του (εικόνα 6).

Η Mc Dermott προτείνει για τη διδασκαλία του Σκοτεινού θαλάμου μία τεχνική που μπορεί να αναχθεί στον Κέπλερ. Ο Κέπλερ (Ronchi 1953) χρησιμοποίησε ένα μοντέλο της φωτεινής ακτίνας ένα νήμα ή μία κλωστή. Περιέφερε το άκρο του νήματος στην περιφέρεια ενός βιβλίου. Το νήμα



Εικόνα 7

καταλάβουμε τώρα τα είδωλα που σχηματίζονται στους καθρέφτες.... Επειδή υπάρχει επικοινωνία ανάμεσα στην εσωτερική και την εξωτερική φωτιά, κάθε φορά που συναντιούνται πάνω σε λεία επιφάνεια αντανακλώνται μαζί και παρουσιάζουν αναγκαστικά αυτά τα είδωλα, επειδή η φωτιά του προσώπου



Εικόνα 8

Αν απομακρύνουμε το χαρτί με τη λέξη "διαφάνεια" τότε το είδωλο εμφανίζεται σαν να είναι ορθό γιατί σχηματίζεται πραγματικό είδωλο μπροστά από την επιφάνεια του κατόπτρου

μέρους των ματιών και το πάνω στο κάτω.»

περνούσε μέσα από μία οπή και κατέληγε στο έδαφος. Η προέκταση του τεντωμένου νήματος διέγραφε το παρατηρούμενο σχήμα στο έδαφος.

Ανάκλαση

Ανάκλαση και αντιστροφή της εικόνας

Ως προς το θέμα της ανάκλασης υπάρχουν πολλές ιστορικές αναφορές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διδασκαλία.

Στο Π.Τ.Δ.Ε. χρησιμοποιήθηκε η εξής παραπομπή από τον Τίμαιο για τα κάτοπτρα (Μίχας 1995):

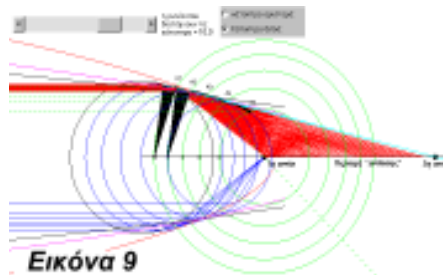
«δεν είναι καθόλου δύσκολο να ενώνεται με την εξωτερική φωτιά πάνω στην επιφάνεια αυτή αποτελώντας ένα είδος συμπηγούς ενότητας. Τότε το δεξιά μας φαίνεται αριστερό, γιατί γίνεται επαφή της εσωτερικής φωτιάς με το αντίθετο μέρος της εξωτερικής, κάτι δηλαδή διαφορετικό από το συνηθισμένο τρόπο όρασης. Αντίθετα, το δεξί φαίνεται δεξί και το αριστερό - αριστερό, όταν η εσωτερική φωτιά αλλάξει θέση και ενωθεί κανονικά με το αντικείμενο που θέλει. Αυτό συμβαίνει όταν η λεία επιφάνεια του καθρέφτη ανασηκωθεί από τη μια και από την άλλη μεριά, ώστε να στείλει το δεξί μέρος της εξωτερικής φωτιάς στο αριστερό μάτι και αντιστροφή. Όταν ο ίδιος καθρέφτης περιστραφεί κατά μήκος του προσώπου, τότε τα κάνει όλα να φαίνονται ανάποδα, επειδή στέλνει το κάτω μέρος του στο φως του πάνω

Ζητήθηκε να σχολιαστεί το σχήμα του κατόπτρου και το νόημα του. Οι φοιτητές αναγνώρισαν ότι η θεωρία της όρασης που περιγράφει ο Πλάτων είναι διαφορετική από την παραδεκτή σήμερα θεωρία, όμως ως προς το σχήμα του κατόπτρου δεν μπόρεσαν να ξεκαθαρίσουν το νόημα. Ορισμένοι έδωσαν την ερμηνεία ότι το σχήμα θα είναι ένα «σπασμένο» κάτοπτρο με τις δύο άκρες ανασηκωμένες. Μία φιλόλογος που ρωτήθηκε για την παραπομπή είπε «θα πρέπει να είναι κάτι παρόμοιο με τους

καθρέφτες στα ντουλαπάκια πάνω από τους νιπτήρες που ανοίγουν προς τα έξω». Άλλοι είπαν ότι ίσως θα είναι καμπύλα κυλινδρικά κάτοπτρα. Αυτό έγινε αφορμή για μια παρουσίαση του προβλήματος και με παράλληλη αναφορά προς τον Ήρωνα ώστε να δουν ποιος είναι ο προβληματισμός.

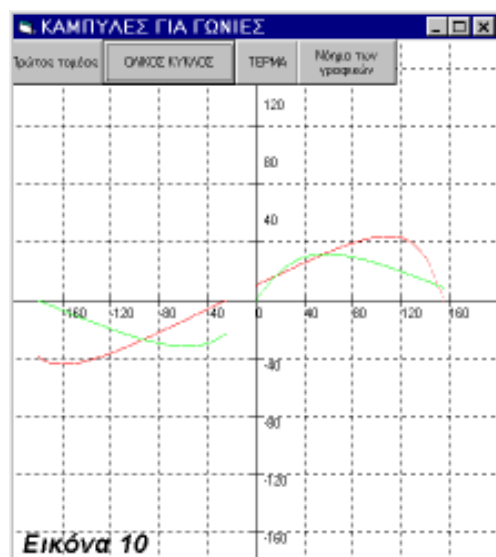
Το θέμα του ειδώλου στα επίπεδα κάτοπτρα αντιμετωπίζεται από τους Galili, Goldberg και Bendall στο άρθρο τους «Some Reflections on Plane Mirrors and Images (Physics Teacher, Οκτώβριος 1991). Οι συγγραφείς αναλύουν τη συμμετρία της εικόνας από ανάκλαση και παρατηρούν ότι υπάρχει μια πολύ εξαπλωμένη πεποίθηση ότι το κάτοπτρο κάνει μία αντιστροφή του δεξιά με το αριστερό. Για την αντιμετώπιση αυτού του θέματος προτείνουν την εξής δραστηριότητα:

Πάνω σε μια διαφάνεια γράφεται μια λέξη π.χ. ΚΑΤΟΠΤΡΟ (εικόνα 7). Η διαφάνεια καρφισώνεται πάνω σε ένα χαρτί και τοποθετείται μπροστά σε ένα επίπεδο κάτοπτρο. Στην αρχή της επίδειξης δείχνεται η διαφάνεια με το χαρτί από πίσω της, οπότε οι μαθητές μπορούν να διαβάσουν τη λέξη. Μετά ρωτούνται οι μαθητές: «Αν κοιτάξετε την ανάκλαση αυτών των γραμμάτων στο κάτοπτρο τι θα δείτε;» Η διαφάνεια με το χαρτί από πίσω της περιστρέφεται και τα γράμματα στο κάτοπτρο φαίνονται σαν να έχουν αντιστραφεί. Αυτό βέβαια θα περιμένουν να δουν οι μαθητές. Μετά ο διδάσκων λέγει στους μαθητές ότι θα επαναλάβει την επίδειξη αλλά με μια μικρή διαφορά. Περιστρέφεται το χαρτί με τη διαφάνεια και αφαιρείται το χαρτί. Παρατηρείται στο κάτοπτρο ότι τα γράμματα δεν έχουν αντιστραφεί. Ο διδάσκων λέγει στους μαθητές ότι η ανάκλαση δεν έχει περιστρέψει την επιγραφή αλλά είναι ακριβώς όπως τα γράμματα που είναι μπροστά στο κάτοπτρο. Περιστρέφεται η διαφάνεια γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα. Τώρα η επιγραφή φαίνεται ανεστραμμένη. Οι μαθητές θα έχουν καταλάβει ότι το κάτοπτρο δε δημιουργεί την αντιστροφή αλλά αυτός που κρατά την επιγραφή και τη φέρει μπροστά στο κάτοπτρο. Σαν ένα συμπέρασμα αυτού του τμήματος μπορεί να αναφερθεί ότι η πεποίθηση ότι το κάτοπτρο αντιστρέφει το κάθε τι από δεξιά στα αριστερά είναι μια συνέπεια ότι όταν στεκόμαστε μπροστά στο κάτοπτρο στρέφουμε τα αντικείμενα έτσι που να μπορούμε να δούμε τα είδωλα τους. Μια δραστηριότητα που μπορούν να κάνουν οι φοιτητές είναι να χρησιμοποιήσουν την ανεστραμμένη επιγραφή και να δουν το είδωλο του ειδώλου σε ένα καθρέφτη κάθετα προς αυτόν που είναι απέναντι από το χαρτί. Σ' αυτή την περίπτωση απλά δείχνουν ότι η ερμηνεία που έδωσε η φιλόλογος στο κείμενο του Πλάτωνα είναι ορθή.



Οι Αρχαίοι είχαν παρατηρήσει ότι όταν έχουμε κοίλα κυλινδρικά κάτοπτρα τότε βλέπουμε τα πράγματα ορθά. Αυτό στην πραγματικότητα συμβαίνει γιατί το κάτοπτρο αντιστρέφει το είδωλο οπότε καθώς κρατάμε ανεστραμμένο το αντικείμενο το είδωλο του εμφανίζεται ορθό. Αυτή η δραστηριότητα προκαλεί το ενδιαφέρον αν γίνει ως εξής:

Μπροστά σε ένα κοίλο κυλινδρικό κάτοπτρο κρατάμε μια επιγραφή σε κοντινή απόσταση. Τότε το είδωλο είναι φανταστικό και σχηματίζεται «αντε-στραμμένο». Αν το απομακρύνουμε από το κάτοπτρο θολώνει



καθώς πλησιάζει την εστία του κατόπτρου και μετά το βλέπουμε «ορθό» (εικόνα 8).

Ανάκλαση και αρχή του ελάχιστου δρόμου

Το άλλο θέμα που παρουσιάστηκε από ιστορικής πλευράς ήταν η αναφορά του Δαμιανού για τον Ήρωνα όπως παρατίθεται στο έργο HERON ALEXANDRINVS OPERA II (εκδόσεις TEUBNER):

ἀπέδειξε γάρ ὁ μηχανικός Ἡρων ἐν τοῖς Κατοπτρικοῖς, ὅτι αἱ πρὸς ἴσας γωνίας κλῶμεναι εὐθεῖαι ἐλάχισται εἰσὶ πασῶν τῶν τῆς αὐτῆς καὶ ὁμοιομεροῦς γραμμῆς πρὸς τὰ αὐτὰ κλωμένων πρὸς ἀνίσους γωνίας. Τοῦτο δε ἀποδείξας φησὶν ὅτι μέλλοι ἡ φύσις μάτην περιάγειν τὴν ἡμετέραν ὄψιν, πρὸς ἴσας αὐτὴν ἀνακλάσει γωνίας ἥ

(κλῶμενες=ανακλῶμενες. φησὶν = λέει ἢ ισχυρίζεται, ὁμοιομερῆς γραμμὴ=συνεχῆς γραμμὴ, εἰ μὴ =εκτὸς εἰάν, μέλλοι= σκοπεύω). Ἡ παράγραφος δόθηκε ὡς πρόβλημα μετάφρασης. Χρειάστηκαν αρκετές ἐπεξηγήσεις γιὰ νὰ μπορέσουν οἱ φιλολογικὰ προσανατολισμένοι φοιτητὲς τοῦ Π.Τ.Δ.Ε. (πὺν σύμφωνα με ἐρεῦνα τῶν Σακονίδη Παπαγεωργίου καὶ Φαχιδῆ (2001) φθάνουν τὰ 85%), νὰ δώσουν τὴν μετάφραση καὶ νὰ καταλάβουν ὅτι μιλά γιὰ τὴν ἀρχὴ τοῦ ἐλάχιστου δρόμου.

Καμπύλα κάτοπτρα

Γιὰ τὰ καμπύλα κάτοπτρα ὑπάρχουν ἀρκετὰ ἱστορικὰ δεδομένα πὺν μποροῦν νὰ χρησιμοποιηθοῦν κατὰ τὴν διδασκαλία.

α) Εστία τοῦ κατόπτρου

Στὴν ἐκπαίδευση τονίζεται κατὰ ἰδιαίτερο τρόπο τὸ θέμα ὅτι τὰ κοῖλα σφαιρικὰ κάτοπτρα ἔχουν μία ἐστία ἀπὸ τὴν ὁποία διέρχονται ὅλες οἱ ἀνακλῶμενες ἀκτίνες ἀν οἱ προσπίπτουσες εἶναι παράλληλες μετὰξὺ τῶν. Ὑπάρχουν καὶ ἀπλὰ πειράματα με ἐλάσματα πὺν ἐπιτρέπουν στὸ διδάσκοντα νὰ τὸ ἐπαληθεύσει αὐτό. Ὅμως αὐτό σύμφωνα με τὸν Αλ Χαϊθὰμ δὲν εἶναι ἀπόλυτα σωστό. Ὅπως ἀναφέρθηκε (κεφάλαιο 6) ὁ Αλ Χαϊθὰμ πίστευε στὴν ἐστία πὺν ἀπέχει κατὰ τὸ μισό τῆς ἀκτίνης καμπυλότητας ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου μόνο ὡς μία προσέγγιση. Στὴν πραγματικότητα ἀν δὲν ἔχουμε παραξονικὲς ἀκτίνες τότε οἱ ἀνακλῶμενες δὲν περνοῦν ἀπὸ τὴν ἐστία τοῦ κατόπτρου. Αὐτό ἦταν ἓνα πρόβλημα γιὰ τὸν Αλ Χαϊθὰμ πὺν προσπαθοῦσε νὰ ἐξηγήσει γιὰτὶ παρατηροῦνται τὰ εἰδῶλα. Στὸ ἕκτο κεφάλαιο ἀναφέρθηκαν τὰ ἐξῆς θέματα: Ἐστία τοῦ κατόπτρου, κατασκευὴ τοῦ σύνθετου σφαιρικοῦ κατόπτρου, ἀριθμὸς τῶν σημείων τῆς σφαιρικῆς ἐπιφάνειας ἀπὸ τὰ ὁποῖα μποροῦν νὰ συνδέονται με ἀνάκλαση δύο σημεία.

β) Σύνθετο σφαιρικό κάτοπτρο

Για το θέμα του σύνθετου σφαιρικού κατόπτρου έχει δημιουργηθεί ένα λογισμικό που επιτρέπει στο μαθητή να εξερευνήσει τις δυνατότητες μεταβολής του αριθμού των κατόπτρων καθώς και του γωνιακού ανοίγματος κάθε κατόπτρου. Στην εικόνα 9 παρατίθεται μια περίπτωση. Οι κύκλοι είναι κύκλοι που χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση σύμφωνα με τον αλγόριθμο του Αλ Χαϊθάμ.

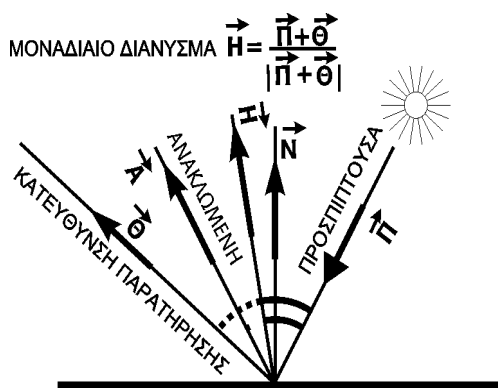
γ) Αριθμός σημείων που μπορούν να συνδέουν δύο δεδομένα σημεία με ανάκλαση

Το πρόβλημα αυτό ονομάζεται «ανακλαστικό πρόβλημα του Αλ Χαϊθάμ». Σε λογισμικό που δημιουργήθηκε για τη μελέτη αυτού του προβλήματος παρουσιάζονται δύο τρόποι λύσεις του. Ο πρώτος είναι μία γραφική παράσταση όπου παρουσιάζονται οι γωνίες που σχηματίζει ένα σημείο του κύκλου με το κάθε σημείο και το κέντρο του κύκλου. Όταν οι δύο γωνίες γίνονται ίσες τότε έχουμε μία λύση. Ο μαθητής μπορεί από την τομή των καμπυλών να δει άμεσα πόσα σημεία λύσης υπάρχουν (εικ. 10). Ο δεύτερος τρόπος λύσης δείχνει ένα κύκλο και τα δύο σημεία. Από το ένα σημείο ξεκινά μία ακτίνα η οποία ανακλάται στην περιφέρεια. Δείχνονται η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη. Σ' αυτό το σημείο μπορεί να γίνει μία σύνδεση με τη θεωρία που διδάσκεται. Συνήθως δίνονται ή παράγονται οι κανόνες των κατόπτρων. Η έμφαση που δίνεται είναι ότι αν βρούμε δύο ανακλώμενες που τέμνονται σε ένα σημείο τότε και όλες οι άλλες ανακλώμενες θα διέρχονται από το ίδιο σημείο οπότε καί' ουσία διδάσκεται ότι άπειρες ακτίνες που ξεκινούν από το πρώτο σημείο μετά την ανάκλασή τους διέρχονται από το δεύτερο σημείο. Βέβαια τονίζεται ότι θα πρέπει να ισχύουν οι περιορισμοί των μικρών γωνιών ως προς τον άξονα. Αυτός ο περιορισμός όμως δεν γίνεται αντιληπτός. Εδώ μπορεί να φανεί η σημασία της προσεγγιστικής λύσης στα θέματα της Οπτικής. Πράγματι η απαίτηση του Αλ Χαϊθάμ για ακριβή μαθηματική λύση οδηγεί στην αντίληψη ότι δε θα δούμε κανένα είδωλο. Όπως γράφει ο Vasco Ronchi, μόνο με τον Κέπλερ έχουμε το ξεπέρασμα της δυσκολίας αυτής καθώς ο Κέπλερ σκέφτηκε ότι με τον περιορισμό των ακτινών σε ένα πολύ μικρό άνοιγμα έχουμε τότε εστίαση των ακτινών σε ένα σημείο. Στο λογισμικό αυτό δίνεται η ευκαιρία να μελετηθεί η συμπεριφορά των ακτινών που εκπέμπονται από το πρώτο σημείο μέσα σε ορισμένα όρια που μπορεί να μεταβάλλει ο χρήστης. Ο χρήστης μπορεί να δει τη συμπεριφορά των ανακλώμενων και μπορεί να δει ότι στην περίπτωση που περιορίζει τα όρια, η εστίαση γίνεται καλύτερη και μάλιστα φαίνεται σαν να περνούν όλες οι ανακλώμενες από ένα σημείο. Επίσης δίνεται η ευκαιρία στον χρήστη να δει τα όρια της θεωρίας που διδάσκεται στα σχολεία για την εύρεση του ειδώλου με τις λεγόμενες «κύριες ακτίνες».

Ο Αλ Χαϊθάμ, επειδή πίστευε ότι το μάτι αντιλαμβάνεται τα είδωλα από μία και μόνο ακτίνα, δεν είχε πρόβλημα με το ότι δεν τέμνονται οι ακτίνες παρά μόνο σε πεπερασμένο αριθμό σημείων. Οι Galili και Hazan (2000) αναφέρουν ότι είναι αξιοσημείωτο ότι η θεωρία του Αλ Χαϊθάμ συμπίπτει με το σχήμα της προβολής της εικόνας (Galili 1995). Στο σχήμα αυτό ο μαθητής έχει χωρήσει πιο πέρα από αρχικές αφελείς απόψεις και πιστεύει στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, πιστεύει ότι από κάθε σημείο του φωτιζόμενου αντικείμενου ξεκινούν αποκλίνουσες δέσμες φωτός, όμως πιστεύει ότι το φως απο=τελείται από φωτεινές ακτίνες και ότι μία ακτίνα συνεισφέρει στην παρατήρηση του ειδώλου του σημείου.

Διάχυτη ανάκλαση

Η διάχυτη ανάκλαση έχει μεγάλη σημασία για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο βλέπουμε τα αντικείμενα. Συνήθως παρέχονται παραδείγματα και δραστηριότητες από την καθημερινή ζωή. Ένα πολύ σημαντικό παράδειγμα είναι αυτό που αφορά τη μελέτη του Αλ Χαϊθάμ για το φως της Σελήνης. Έχει δημιουργηθεί ένα λογισμικό στο οποίο παρουσιάζεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο της «Σελήνης». Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει:



Εικόνα 11

- α) την ένταση της πηγής
- β) την στυλινότητα της επιφάνειας
- γ) τη θέση της πηγής.

Η στυλινότητα (glossiness) κατά τον Harrington (1987) δίνει τον τρόπο που ανακλάται το φως. Η στυλινότητα προσδιορίζεται από τον «συντελεστή στυλ-πνότητας». Αν ο συντελεστής στυλινότητας είναι μηδέν τότε η επιφάνεια είναι πολύ λεία και το φως δε σκεδάζεται καθόλου μετά την ανάκλαση, αν αντίθετα ο συντελεστής είναι μεγάλος τότε η επιφάνεια

σκεδάζει το φως προς διάφορες κατευθύνσεις. Ο Harrington για την περιγραφή του φαινομένου με τη βοήθεια του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή δίνει το ακόλουθο μοντέλο για την έκφραση της ικανότητας για διά-χυση. Θεωρείται ότι η επιφάνεια αποτελείται από πολλές μι-κρές επιφάνειες που ονομάζει facets. Οι πιο πολλές από αυτές τις μικρές επιφάνειες έχουν περίπου τη γενική κατεύθυνση της επιφάνειας, όμως μερικές έχουν μια κατεύθυνση λίγο δια-φορετική και αντανακλούν το φως σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Κατά πόσο στυλινή είναι μία επιφάνεια εξαρτάται από το πόση ποικιλία υπάρχει σ' αυτές τις μικρές επιφάνειες. Αν έχουμε μια πολύ στυλινή επιφάνεια όλες σχεδόν οι μικρές επιφάνειες είναι ευθυγραμμισμένες, έτσι το προσπίπτον φως ανακλάται σε μια ξεκάθαρη ακτίνα. Αν το φως έχει μια ευρύτερη κατανομή των κατευθύνσεων των μικρών επιφανειών θα εξαπλώσει περισσότερο το φως. Η επιφάνεια θα εμφανί-ζεται περισσότερο «ΜΑΤ». Μια συνάρτηση που περιγράφει αυτή την κατανομή των μικρών επιφανειών δίνεται από τη σχέση:

$$D = \left(\frac{k}{k + 1 - (\vec{N} \cdot \vec{H})} \right)$$

όπου ο συντελεστής k φανερώνει τη στυλινότητα των επιφανειών. Αν $k=0$ τότε όλες οι μικρές επιφάνειες είναι ευθυγραμμισμένες. Αν k μεγάλος τότε έχουμε μέγιστο για $\vec{N} \cdot \vec{H} = 1$ όπου:

$\vec{N} \cdot \vec{H}$ το εσωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων:

$\vec{N}$ μοναδιαίο διάνυσμα κατά την κάθετο προς την επιφάνεια

$\vec{H} = \frac{\vec{P} + \vec{\Theta}}{|\vec{P} + \vec{\Theta}|}$ μονοδιαίο διάνυσμα κατά την διχοτόμο μεταξύ προσπίπτουσας $\vec{P}$ και παρατήρησης $\vec{\Theta}$

Στο σχήμα (εικ. 11) παρουσιάζονται οι ορισμοί των μεγεθών που εμπλέκονται σ' αυτόν τον τύπο.

Στο προαναφερθέν λογισμικό ο χρήστης καθώς μεταβάλλει το συντελεστή k έχει την ευκαιρία να δει τη μεταβολή στη λαμπρότητα του ορατού μέρους της Σελήνης. Αν $k=0$ δηλαδή έχουμε τελείως στιλπνή επιφάνεια, τότε η Σελήνη σύμφωνα με τον Αλ Χαϊθάμ γίνεται σχεδόν τελείως αόρατη. Αντίθετα αν k είναι $\neq 0$ τότε η Σελήνη καθίσταται ορατή. Αν μάλιστα k αρκετά μεγάλο τότε παρατηρούμε τις γνωστές φάσεις της Σελήνης για τις διάφορες θέσεις του Ήλιου.

Μπορούμε να δούμε δύο περιπτώσεις: α) $k=0,1$ β) $k=0,4$.

α) $k=0,1$: Παρατηρούμε ότι μόνο ένα μέρος της Σελήνης είναι ορατό (εικ. 12). Η περίπτωση $k=0,1$ δεν είναι κατάλληλη για την επίδειξη των φάσεων της Σελήνης. Στην εικόνα 13 εμφανίζεται η κατανομή του διάχυτου φωτός. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, το φως ανα-κλάται κυρίως προς μία κατεύθυνση. Αν ελαττωθεί περισσότερο ο k , η κατανομή του φωτός περιορίζεται ακόμη περισ-σότερο. Στην περίπτωση $k=0$ το φως περιορίζεται στην κατεύθυνση της «κατο-πτρικής» ανάκλασης.

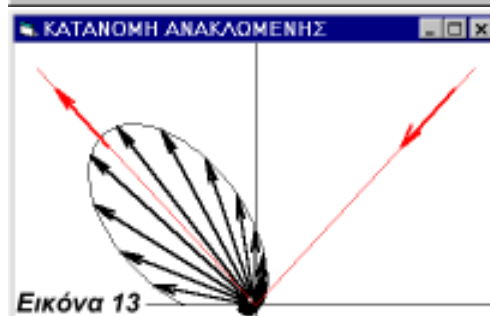
β) Στην περίπτωση $k=0,4$ έχουμε περισ-σότερο «ματ» εμφάνιση. Μπορούμε να το δούμε στην εικόνα 14 με την αντίστοιχη κατανομή στην εικόνα 15. Στην περίπτωση αυτή καθώς και για μεγαλύτερους συντελεστές k , το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επίδειξη των φάσεων της Σελήνης.

Η κατανομή της ανακλώμενης ακτινο-βολίας είναι πολύ περισσότερο ομογενής στην εικόνα 15 από ότι στην εικόνα 13.

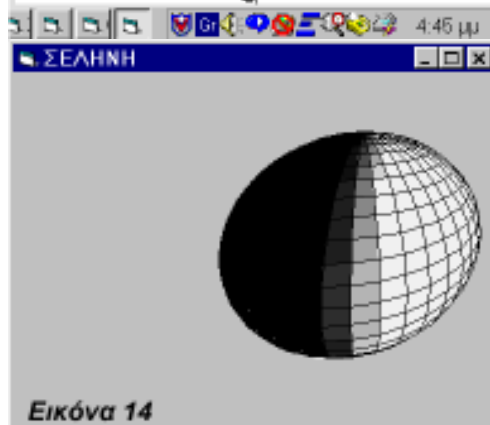
Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να δώσει μια συνεχή μεταβολή της στιλπνό-τητας της επιφάνειας. Τα θέματα της διάχυτης ανάκλασης μπορούν όμως να εξεταστούν και με απλά πειράματα όπως αυτά που προτείνονται από τη McDermott (1998) όπου παρουσιάζονται απλά πειράματα με χρήση κουτιών μέσα στα οποία τοποθετούνται διάφοροι τύποι χαρτονιών. Καθώς φωτίζεται το εσωτερικό του κουτιού ο διδάσκων μπορεί να ρωτήσει τους μαθητές να παρατη-ρήσουν τις μεταβολές στην «λαμπρότητα» της επιφάνειας. Ο



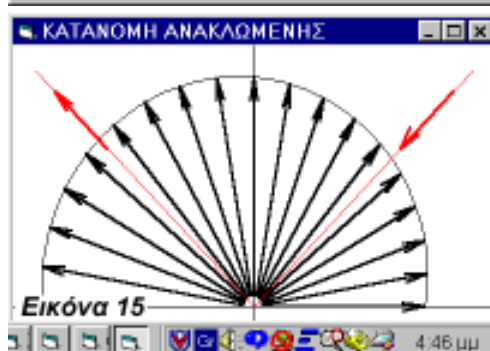
Εικόνα 12



Εικόνα 13



Εικόνα 14



Εικόνα 15

Goldberg (1995) προτείνει παρόμοιες δραστηριότητες στις οποίες παρατηρείται από το πλάι πως μεταβάλλεται η εμφάνιση μιας φωτεινής κηλίδας στην επιφάνεια ενός κατόπτρου που προ-έρχεται από μία φωτεινή δέσμη, καθώς προστίθεται ένα χαρτί. Η αξία της ιδέας του Αλ Χαϊθάμ βρίσκεται στο ότι ήταν ένα «κρίσιμο» πείραμα που διέψευδε τη θεωρία της κατοπτρικής ανάκλασης στο Φεγγάρι.

Ένα λογισμικό για τη μελέτη του νόμου της διάθλασης σε συνδυασμό με Ιστορικά δεδομένα

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ένα λογισμικό με την ονομασία *diathlasi* που αναπτύχθηκε για την αντιμετώπιση ορισμένων ερωτημάτων που πιθανόν να ανακύψουν κατά την εκτέλεση εργαστηριακών ασκήσεων. Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε σε γλώσσα Visual Basic 5 (Mihás 2001b).

Μερικά ερωτήματα που πιθανόν να έλθουν στο νου του μαθητή καθώς ενημερώνεται για μια νέα γνώση είναι: «μα πως έφθασαν σ' αυτά τα συμπεράσματα;» «πως φθάσαμε στο να πιστεύουμε αυτή τη θεωρία;» «γιατί πιστεύουμε σ' αυτόν τον νόμο;». Με τη σημερινή εκπαίδευση αυτά τα ερωτήματα αγνοούνται, ο μαθητής δεν ενθαρρύνεται να κάνει τέτοιου είδους ερωτήσεις.

Οι εκπαιδευτικοί συνήθως δεν ασχολούνται με τέτοιου είδους ερωτήματα. Όμως με την επίδραση της έρευνας της διδακτικής της Φυσικής, η ιστορία των Φυσικών Επιστημών έχει γίνει γίνει ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία. Μερικές σκέψεις γύρω από αυτό το θέμα παρουσιάστηκαν στο 10ο κεφάλαιο.

Νόμοι της Διάθλασης

Αρχαίοι Έλληνες και Μεσαίωνας

Στο 8ο κεφάλαιο δόθηκε περιγραφή των σχέσεων της διάθλασης που ανακάλυψε ο Πτολεμαίος. Αυτός βρήκε ένα νόμο για τη σχέση μεταξύ της γωνίας διάθλασης και γωνίας πρόσπτωσης. Βρήκε ότι η γωνία διάθλασης είναι ανάλογη με τη γωνία πρόσπτωσης. Ο νόμος αυτός ήταν γνωστό ότι ήταν προσεγγιστικός. Όπως παρατηρήθηκε στο όγδοο κεφάλαιο, από τις μετρήσεις του Πτολεμαίου φαίνεται ότι είναι πολύ πιθανόν ο Πτολεμαίος να είχε βρει ένα διαφορετικό νόμο κατά τον οποίο οι δεύτερες διαφορές των γωνιών διάθλασης είναι σταθερές. Πολύ αργότερα ο Αλ Χαϊθάμ

διατύπωσε κι αυτός μια σειρά από κανόνες για τις γωνίες διάθλασης και απόκλισης. Είναι ενδιαφέρον ότι ο Αλ Χαϊθάμ πίστευε ότι η ταχύτητα του φωτός αυξάνει καθώς περνούμε από το οπτικά πυκνό στο οπτικά αραιό.

Νόμος του Κέπλερ.

Ο Κέπλερ στον 17^ο αιώνα έφθασε και αυτός στον ίδιο νόμο με το νόμο αναλογίας μεταξύ γωνίας πρόσπτωσης και διάθλασης του Πτολεμαίου. Ο Κέπλερ γνώριζε ότι ο νόμος του είναι προσεγγιστικός και ότι ισχύει μόνο για μικρές γωνίες. Μιλώντας λοιπόν για «νόμο του Κέπλερ» θα μιλάμε για ένα νόμο που ισχύει για γωνίες μικρότερες από 45 μοίρες. Ο Κέπλερ έδωσε ως συντελεστή αναλογίας μεταξύ γωνίας πρόσπτωσης και γωνίας διάθλασης το 2/3 για τη διάθλαση σε γυαλί και 3/4 για διάθλαση σε νερό. Είναι ενδιαφέρον ότι πρόσφατα οι Galili και Goldberg (1996) πρότειναν για διδακτικούς λόγους να δίνεται μια εμπειρική αναλογία για διάθλαση από αραιό σε πυκνό μέσο όπου ο νόμος θα είναι:

$$\text{γωνία διάθλασης} = 2/3 * \text{γωνία πρόσπτωσης}.$$

Αντίστροφα από πυκνά σε αραιά μέσα θα ισχύει:

$$\text{γωνία διάθλασης} = 3/2 \text{ γωνία πρόσπτωσης}.$$

Οι σχέσεις αυτές δίνουν καλά ποιοτικά αποτελέσματα και θεωρούνται ότι βοηθούν το μαθητή να κάνει προβλέψεις και εξηγήσεις για τα οπτικά φαινόμενα, όπως π.χ. τη λειτουργία των φακών.

Νόμος του Snell

Λίγο μετά τον Κέπλερ ο Snell, άγνωστο πως, κατέληξε στον ομώνυμό του νόμο που δίνει τη σωστή σχέση ανάμεσα στις δύο γωνίες.

$$\frac{\sin(\theta_{\pi})}{\sin(\theta_{\delta})} = n$$

όπου: θ_{π} η γωνία πρόσπτωσης, θ_{δ} η γωνία διάθλασης και n μία σταθερά που ονομάζεται δείκτης διάθλασης.

Το νόμο του Snell είχε ανακαλύψει (Roshdi), 1992) ο Ιμπν Σαχλ τον 9ο αιώνα.

Ερμηνείες του νόμου του Snell

Ο Καρτέσιος έφθασε στον ίδιο νόμο χρησιμοποιώντας ένα είδος μοντέλου κατά το οποίο παρομοίασε την κίνηση του φωτός με μια μπάλα που προσπίπτει σε ένα μέσο πυκνότερο και δέχεται μια ώθηση κατά το πέρασμα από το ένα μέσο στο άλλο.

Η σχέση στην οποία κατέληξε ο Καρτέσιος ήταν:

$$\frac{\sin(\theta_{\pi})}{\sin(\theta_{\delta})} = \frac{c_2}{c_1}$$

όπου c_2 η ταχύτητα του φωτός στο πυκνό μέσο και c_1 η ταχύτητα του φωτός στο αραιό μέσο. Η σχέση αυτή δίνει μία ερμηνεία στο δείκτη διάθλασης η οποία είναι λανθασμένη γιατί ο Καρτέσιος πίστευε ότι το φως κινείται ταχύτερα σε οπτικά πυκνότερο μέσο. Ο Fermat σύγχρονος του Καρτεσίου έκανε κριτική στη θεωρία του Καρτεσίου και μπόρεσε να

διατυπώσει μια σχέση *όμοιας μορφής* αλλά διαφορετικού περιεχομένου. Σ' αυτήν τη διατύπωση ο νόμος του Snell γράφεται:

$$\frac{\sin(\theta_{\pi})}{\sin(\theta_{\delta})} = \frac{c_1}{c_2}$$

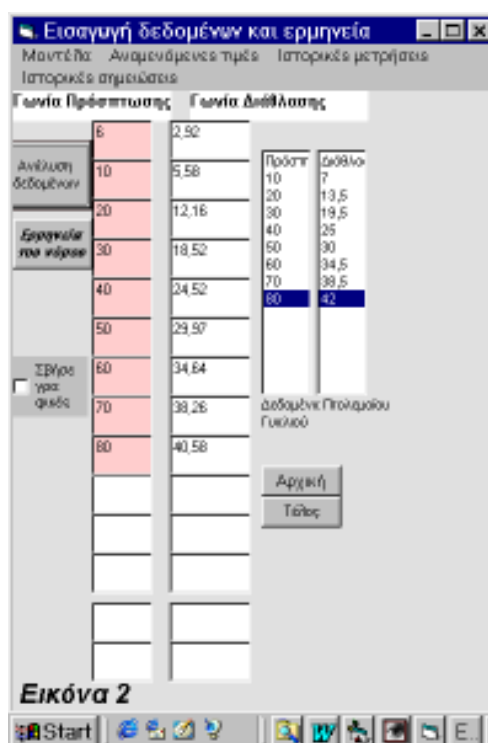
Ο Fermat (Sabra 1967) απέδειξε τη σχέση αυτή δίνοντας ταυτόχρονα και την αρχή του ελάχιστου χρόνου η οποία χρησιμοποιείται διδακτικά για την εξήγηση του φαινομένου της διάθλασης.

Στην ιστορία της οπτικής εξέχουσα θέση έχει και ο Νεύτωνας που πίστευε στην σωματιδιακή φύση του φωτός. Ο Νεύτωνας δεχόταν και αυτός το νόμο του Snell και για να τον εξηγήσει δεχόταν και αυτός, όπως ο Καρτέσιος, ότι η ταχύτητα του φωτός είναι μεγαλύτερη μέσα στο οπτικά πυκνότερο μέσο. Για την εξήγηση της διάθλασης χρησιμοποίησε ένα μοντέλο βαρύτητας. Πίστευε δηλαδή ότι τα σωματίδια του φωτός κάτω από την επίδραση ενός πεδίου δυνάμεων μεταβάλλουν την πορεία τους καθώς εισέρχονται σε ένα νέο μέσο.

Στο λογισμικό μας χρησιμοποιούμε μετρήσεις του Νεύτωνα που δείχνουν ότι αυτός πίστευε στην αξία του νόμου του Snell. Αυτό φαίνεται από το ότι δίνει περισσότερες μετρήσεις στις μεγαλύτερες γωνίες πρόσπτωσης όπου γίνεται εμφανής η διαφορά μεταξύ των προσεγγιστικών νόμων και του σωστού νόμου του Snell. Αντίθετα οι Πτολεμαίος και Αλ Χαϊθάμ καθώς δε γνώριζαν το νόμο του Snell έδιναν την ίδια βαρύτητα σε όλη την περιοχή των δεδομένων.



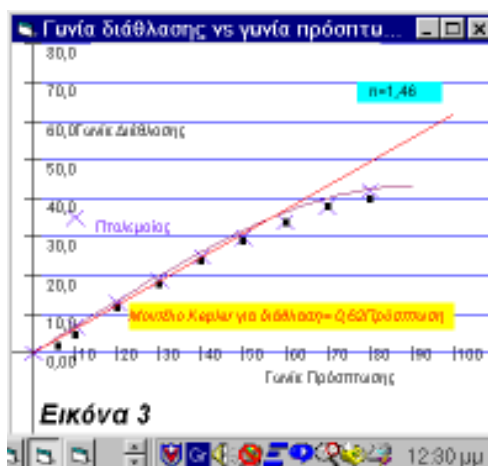
Εικόνα 1



Εικόνα 2

Χρήση του Λογισμικού για τη μελέτη των δεδομένων του μαθητή και των ιστορικών αναφορών

Η πρώτη οθόνη (εικ. 1) παρουσιάζει ένα κείμενο που δίνει σε συντομία την ιστορία του νόμου της διάθλασης και τρία κουμπιά με τις επιλογές: «Ημικύκλιο» που αφορά μια εξομοίωση του πειράματος του ημικυκλίου, «Μελέτη των δεδομένων-ιστορικά αποτελέσματα» που αφορά την ανάλυση των δεδομένων του μαθητή τη μελέτη ιστορικών



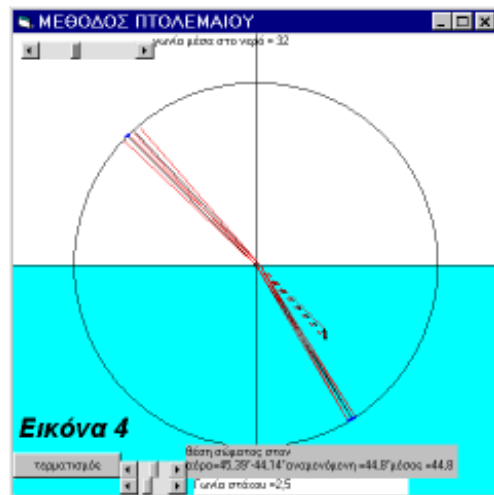
Εικόνα 3

αποτελεσμάτων και την ερμηνεία του φαινομένου και «τέλος» για τερματισμό του προγράμματος.

Αν γίνει η επιλογή «Μελέτη των δεδομένων-ιστορικά αποτελέσματα» (εικ. 2) τότε ο μαθητής μπορεί να εισάγει τα δεδομένα του στον παρουσιαζόμενο πίνακα. Πατώντας το κουμπί «ανάλυση δεδομένων» μπορεί να δει δύο γραφικές παραστάσεις: Α) το ημίτονο γωνίας διάθλασης ως συνάρτηση του ημίτονου γωνίας πρόσπτωσης. Στην γραφική αυτή παράσταση δίνεται ο δείκτης διάθλασης σύμφωνα με τα δεδομένα. Β) Τη γωνία διάθλασης ως συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης (εικ 3).

Πατώντας το κουμπί «μοντέλα» έχει 3 επιλογές.

Μοντέλο Κέπλερ. Αυτό δίνει μια ανάλυση των δεδομένων με βάση την γραμμική αναλογία των γωνιών μέχρι 45° .

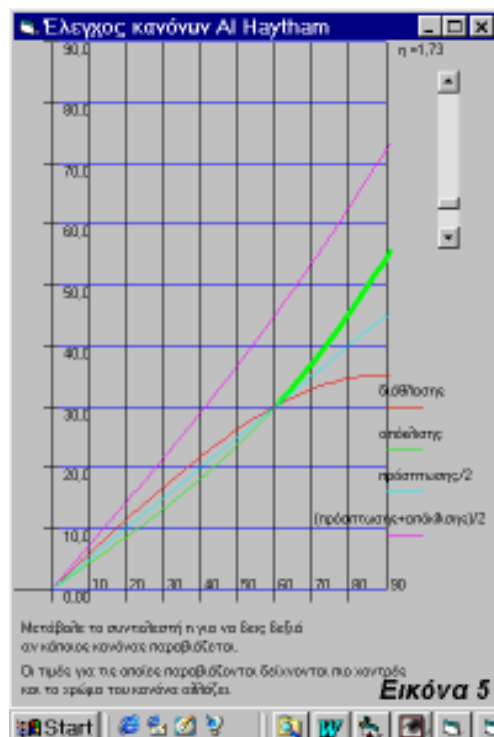


Νόμος του Snell. Σ' αυτήν την περίπτωση έχει 2 επιλογές: είτε να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης διάθλασης όπως εξάγεται από τις μετρήσεις είτε να δώσει ένα δικό του δείκτη διάθλασης.

Εμπειρικός νόμος: Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ο εμπειρικός αυτός νόμος δίνει μια προσέγγιση του νόμου του Κέπλερ για το γυαλί και το νερό με συντελεστή αναλογίας $2/3$ για μετάβαση από αραιό σε πυκνό και $3/2$

για την αντίστροφη περίπτωση.

Πατώντας το κουμπί «αναμενόμενα αποτελέσματα» ο χρήστης καλείται να δώσει την τιμή του δείκτη διάθλασης που επιθυμεί και μετά ακολουθεί την ίδια διαδικασία όπως και προηγουμένως μόνο που τα δεδομένα οφείλονται στον υπολογιστή.



Πατώντας το κουμπί «ιστορικές μετρήσεις» μπορεί να δει διάφορες επιλογές που αφορούν τους Πτολεμαίο, Αλ Χαϊθάμ, Witello και Νεύτωνα. Οι τιμές αφορούν διάθλαση από αέρα σε γυαλί ή σε νερό και ο χρήστης μπορεί να δει κατά πόσο ο τρόπος λήψης δεδομένων μπορεί να επιβεβαιώσει ή όχι το νόμο του Snell ή να δώσει πιο πολύ μια σχέση αναλογίας.

Ιστορικές σημειώσεις - Ιστορικές μετρήσεις

Οι ιστορικές σημειώσεις δίνουν στο μαθητή την ευκαιρία να μελετήσει τη συμβολή διαφόρων μελετητών αναφορικά με τη μελέτη της

διάθλασης. Ιδιαίτερα εξετά-ζονται η συμβολή του Πτολεμαίου και του Αλ Χαϊθάμ. Για τη συμβολή του Πτο-λεμαίου εκτός από τις μετρήσεις του Πτολεμαίου, παρουσιάζεται μια εξομοί-ωση του πειράματος του Πτολεμαίου με τη διάθλαση από νερό στον αέρα και τέλος η μελέτη της σχέσης μεταξύ γωνίας πρόσπτωσης και γωνίας διάθλασης. Παρουσιάζεται μία οθόνη (εικόνα 4) όπου ο μαθητής μπορεί να δει τη χρήση της συσκευής αλλά και να δει ορισμένες δυσκολίες στη μέτρηση που οφείλονται στη μεγέθυνση του παρατηρούμενου ειδώλου.

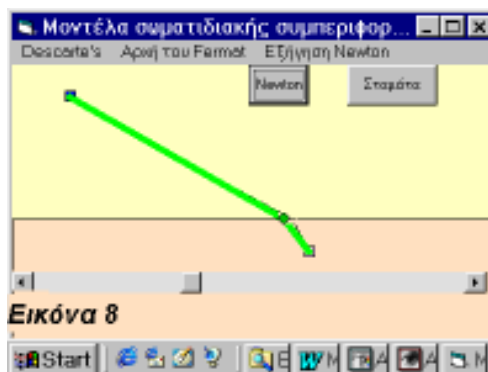
Ο Αλ Χαϊθάμ χρησιμοποίησε μια διαφορετική διάταξη και έδωσε τους κανόνες του. Αυτοί έχουν μελετηθεί στο κεφάλαιο για τη μελέτη της διάθλασης (κεφ. 8). Εδώ αναφέρεται η δυνατότητα που δίνει το λογισμικό να μελετηθεί η ισχύς αυτών των κανόνων (εικόνα 5). Σε εφαρμογή του λογισμικού σε φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. παρατηρήθηκε ότι βοηθήθηκαν να κατανοήσουν τη μη τελική μορφή της Φυσικής.

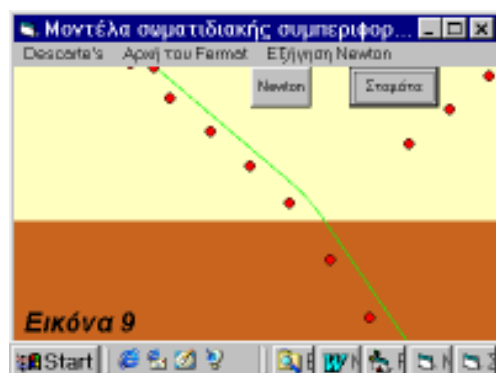
Επίδραση της γνώσης του νόμου:

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η γνώση του νόμου ή η γνώση της θεωρίας επηρεάζει τις παρατηρήσεις. Αυτό φαίνεται αν συγκριθούν τα αποτελέσματα του Νεύτωνα, του Πτολεμαίου και του Αλ Χαϊθάμ για το γυαλί. Ο Νεύτωνας που γνωρίζει το νόμο του Snell δίνει έμφαση στις μετρήσεις στις μεγάλες γωνίες, όπου παίζει ιδιαίτερο ρόλο η εξάρτηση από τα ημίτονα των γωνιών. Οι Πτολεμαίος και Αλ Χαϊθάμ δίνουν ίση βαρύτητα σε όλες τις γωνίες οπότε παρατηρείται ότι τα δεδομένα τους μπορούν να προσεγγιστούν και με μία σχέση αναλογίας όπως το νόμο του Κέπλερ ενώ για τα δεδομένα του Νεύτωνα αυτό είναι αδύνατο. Αυτό μάλιστα είναι και το σκεπτικό πίσω από την εμπειρική σχέση των Galili και Goldberg που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Ερμηνεία του νόμου

Πατώντας την επιλογή «Ερμηνεία του Νόμου» εμφανίζεται μια οθόνη με διαδιδόμενα κύματα, μια οθόνη για τη σωματιδιακή φύση του φωτός και μία οθόνη με διάφορους επιλογείς που επιτρέπουν στο χρήστη να μεταβάλει το λόγο των δεικτών διάθλασης, τη γωνία πρόσπτωσης και την δύναμη που επιδρά στα σωματίδια σύμφωνα με το σωματιδιακό μοντέλο του Νεύτωνα.

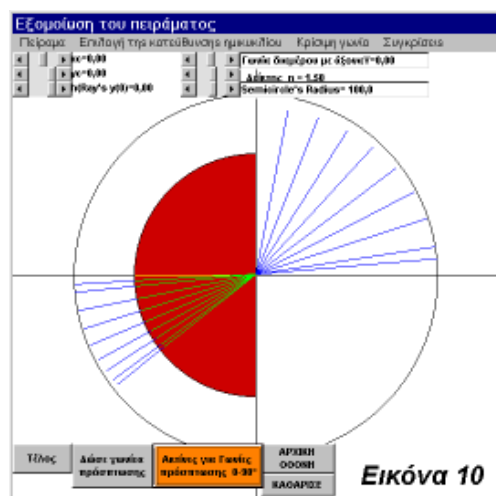




αντιστοιχεί στα μέτωπα κύματος. Μπορεί να πατήσει την επιλογή επανάληψη οπότε εμφανίζονται οι εξής επιλογές: α) να δώσει το δείκτη διάθλασης, β) να δώσει την ταχύτητα στο δεύτερο μέσο σε σχέση με την ταχύτητα στο πρώτο μέσο, γ) να μείνουν αναλλοίωτα τα μεγέθη του. Κάνοντας την επιλογή του και πατώντας την επιλογή ΑΚΤΙΝΑ μπορεί να δει τη γωνία πρόσπτωσης, γωνία διάθλασης, λόγους ταχυτήτων και δείκτη διάθλασης. Μπορεί τότε να διαπιστώσει ότι η ερμηνεία του Fermat για το νόμο του Snell είναι η ορθή καθώς συγκρίνει τις τιμές του δείκτη διάθλασης με τους λόγους των ταχυτήτων c_1/c_2 και c_2/c_1 (εικόνα 8). Ένα άλλο θέμα που μπορεί να μελετήσει είναι η σωματιδιακή θεωρία του Νεύτωνα (εικόνα 9). Ο Νεύτωνας για να εξηγήσει τη διάθλαση έδωσε ένα μοντέλο βαρυτικής δύναμης που επιδρά μέσα σε μια πεπερασμένη περιοχή με σταθερή «βαρυτική» δύναμη. Τότε η τροχιά ενός σωματιδίου – που έξω από αυτή την περιοχή είναι ευθύγραμμη – κάμπτεται προς την κάθετο αν η δύναμη είναι ελκτική, ή μακριά από την κάθετο αν η δύναμη είναι απωστική. Ο Νεύτωνας για να εξηγήσει το φαινόμενο της μερικής ανάκλασης υπέθεσε ότι τα σωματίδια καθώς διέρχονται από την επιφάνεια δημιουργούν διαταραχές στην πυκνότητα που έχουν ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται αραιώματα που δίνουν απωστική δύναμη.

Μερική ανάκλαση

Η μερική ανάκλαση του φωτός σε μια διαφανή επιφάνεια, που δεν ήταν δυνατό να εξηγηθεί με τις διάφορες σωματιδιακές θεωρίες, εξηγήθηκε από τον



Fresnel με βάση την κυματική θεωρία του φωτός, στο πρώτο τέταρτο του δέκατου ένατου αιώνα. Ο μαθητής μπορεί να μελετήσει το ποσοστό της μερικής ανάκλασης ως συνάρτηση του δείκτη διάθλασης και της γωνίας παρατηρώντας τον αριθμό των ανακλωμένων και διαθλωμένων ακτινών (εικόνα 7). Μπορεί να δει ότι για διάθλαση από πυκνό σε αραιό υπάρχει η κρίσιμη γωνία πάνω από την οποία το ποσοστό της διαθλώμενης είναι μηδέν. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τον τύπο του Fresnel.

Μελέτη των πειραματικών σφαλμάτων

Η ανάλυση των πειραματικών σφαλμάτων μπορεί να θεωρηθεί ως μια από τις επιστημονικές δεξιότητες στην οποία μπορεί να μνηθεί ο μαθητής.

Κάνοντας ανάλυση των σφαλμάτων του, μπορεί να κατανοήσει γιατί πολλές φορές τα αποτελέσματα του δε συμφωνούν με τα αναμενόμενα. Αν ένας στόχος της διδασκαλίας μέσα στα εργαστήρια είναι και ο σχεδιασμός των πειραμάτων και η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, ο μαθητής θα πρέπει να μάθει να λαμβάνει υπόψη του τη δυνατότητα για πειραματικά σφάλματα και να σχεδιάζει το πείραμα του έτσι που να ελαχιστοποιεί τα σφάλματα αυτά. Η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων μπορεί να συνδυαστεί με μια διεύρυνση στην κατανόηση των εννοιών (εικόνα 10).

Συστηματικά σφάλματα

Στο λογισμικό αυτό δίνεται η ευκαιρία στο μαθητή να μελετήσει μερικά συστηματικά πειραματικά σφάλματα που αφορούν την τοποθέτηση του ημικυκλίου. Ταυτόχρονα μπορεί να παρατηρήσει και τα τυχαία σφάλματα.

Η τοποθέτηση του ημικυκλίου καθορίζεται από τις συντεταγμένες του κέντρου του κύκλου σε ένα σύστημα συντεταγμένων του γωνιομετρικού κύκλου. Το κέντρο του γωνιομετρικού κύκλου ορίζεται ως η αρχή των συντεταγμένων. Η ιδεώδης τοποθέτηση του ημικυκλίου θα ήταν αυτή κατά την οποία το κέντρο του κύκλου του ημικυκλίου θα ήταν το (0, 0) ενώ ο άξονας ψ θα συνέπιπτε με την επίπεδη πλευρά. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται στο ότι οι συντεταγμένες του κέντρου είναι (x_c , y_c) ενώ η γωνία που κάνει η διάμετρος του ημικυκλίου με τον άξονα ψ είναι διάφορη του μηδενός. Ο μαθητής μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους της θέσης του ημικυκλίου με τη βοήθεια διαφόρων επιλογέων (scroll bars). Ένα άλλο συστηματικό σφάλμα είναι η μη ορθή κατεύθυνση της δέσμης. Αυτή μπορεί να περνά κατά h πάνω ή κάτω από το κέντρο του κύκλου. Την τιμή του h μπορεί να την επιλέξει μέσα σε ορισμένα πλαίσια. Ο μαθητής μπορεί να διαλέξει όλοι οι παράγοντες να έχουν τιμές μέσα σε λογικά πλαίσια, ή μόνο μερικοί από τους παράγοντες να μεταβάλλονται. Καθώς μεταβάλλει τους παράγοντες και κάνει την επιλογή «μη τυχαία» παίρνει κατάλογο των τιμών καθώς και τα σφάλματα που έχει σε κάθε γωνία πρόσπτωσης. Με τη βοήθεια διαγράμματος μπορεί να δει το μέσο όρο του σφάλματος καθώς και την εξάρτησή του

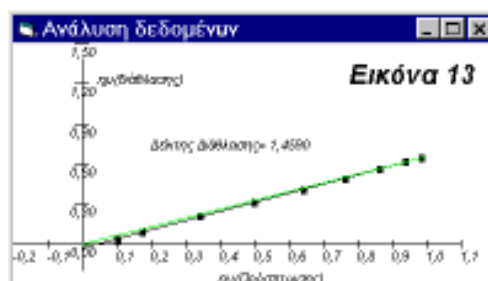
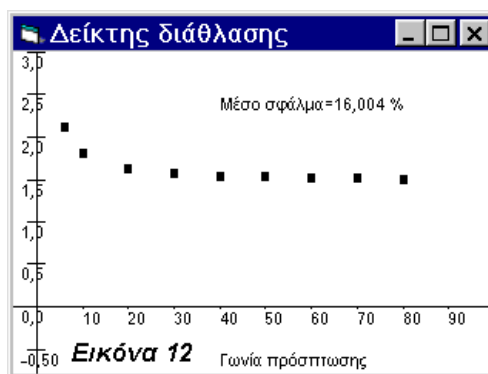
Αναμενόμενες τιμές

Γωνία Πρόσπτωσης	Γωνία Διάθλασης	Δείκτης Διάθλασης
6	2,82	2,1224
10	5,48	1,8168
20	12,06	1,6364
30	18,43	1,5814
40	24,43	1,5539
50	29,89	1,5374
60	34,56	1,5267
70	38,19	1,5198
80	40,51	1,5160

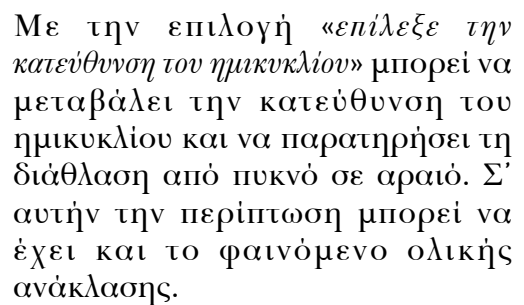
$h = 2,00$ Γωνία = 0,00
 $x_c = 0,00$ $y_c = 1,00$

Μεταφορά Δεδομένων

Εικόνα 11



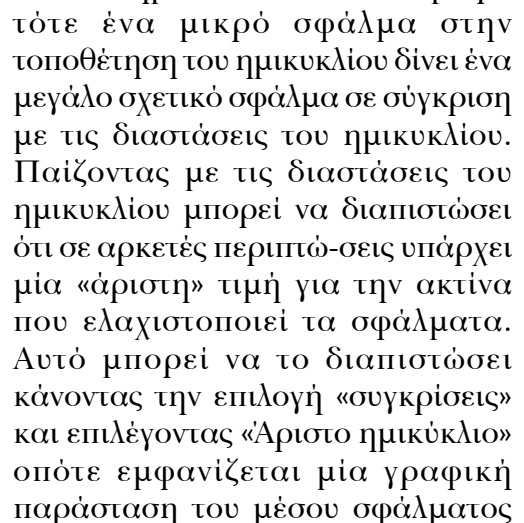
Με την επιλογή «*αυχαία*» ο μαθητής παρατηρεί μια τυχαία τοποθέτηση του ημικυκλίου καθώς και τυχαία σφάλματα στις γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης.



Η επιλογή «*κρίσιμη γωνία*» δίνει στο μαθητή την κρίσιμη γωνία για ολική

ανάκλαση. Ο μαθητής μπορεί να δει ότι η τιμή της κρίσιμης γωνίας εξαρτάται και αυτή από την τοποθέτηση του ημικυκλίου. Στο σημείο αυτό ο διδάσκων μπορεί να ζητήσει από τους μαθητές να συγκρίνουν πότε παρουσιάζονται μεγαλύτερα σφάλματα: στη μέτρηση του δείκτη διάθλασης ή στη μέτρηση της κρίσιμης γωνίας (που μετρά έμμεσα το δείκτη διάθλασης).

Αν θέλει μπορεί να μελετήσει το μέγεθος του ημικυκλίου ως παράγοντα που καθορίζει το μέγεθος του σφάλματος. Αυτό μπορεί να τον βοηθήσει να κατανοήσει νοηματικά την επίδραση της διάθλασης στα σφάλματα: Αν το ημικύκλιο είναι μεγάλο τότε ένα μικρό αρχικό σφάλμα θα δώσει μεγάλο σφάλμα στη γωνία διάθλασης, αντίθετα αν το ημικύκλιο είναι πολύ μικρό



ως συνάρτηση της ακτίνας του ημικυκλίου (εικόνα 14). Από τις παρατηρήσεις αυτές μπορεί να δει ότι όταν υπάρχει σφάλμα μόνο στη γωνία του ημικυκλίου τότε το σφάλμα στις γωνίες είναι σταθερό για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης. Το ότι υπάρχει μία άριστη επιλογή ημικυκλίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ερέθισμα για μια συζήτηση που αφορά το σχεδιασμό των πειραμάτων.

Άλλες επιλογές

Μέσα στο λογισμικό έχουν ενσωματωθεί και άλλες επιλογές που επιτρέπουν τη σύνδεση με άλλα φαινόμενα που έχουν σχέση με το δείκτη διάθλασης: Μέσα από την επιλογή *πειράματα* ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρατηρήσει την πορεία παράλληλης δέσμης μέσα από το ημικύκλιο. Η επιλογή αυτή δίνει ενδιαφέροντα αποτελέσματα αν μεταβάλλει το δείκτη διάθλασης. Αν ο δείκτης διάθλασης γίνει μικρότερος από 1 τότε το ημικύκλιο δρα ως αποκεντρωτικός φακός και όχι ως συγκεντρωτικός οπότε έχει την προσομοίωση για ένα πείραμα που δύσκολα πραγματοποιείται για σχολικά δεδομένα.

Πατώντας το κουμπί CTRL και το αριστερό πλήκτρο του ποντικού παράγεται μια *δέσμη ακτίνων* (εικόνα 15). Εδώ έχει την δυνατότητα να τοποθετήσει τον δείκτη του ποντικιού οπουδήποτε μέσα στην οθόνη. Αυτό δίνει δυνατότητες που δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν σε ένα πραγματικό πείραμα: φωτεινή πηγή μέσα στο ημικύκλιο. Η δυνατότητα λοιπόν να μεταβάλλεται ο δείκτης διάθλασης μπορεί να δώσει προσομοίωση πειραμάτων που παλαιότερα ονομάζονταν «πειράματα έκπληξης» (Knoll 1970) κατά τα οποία χρησιμοποιούμε ένα φακό αέρα μέσα σε νερό. Τότε ένας αμφίκυρτος φακός δρα ως αποκεντρωτικός, πράγμα που προκαλεί έκπληξη στους μαθητές γιατί συνδυάζουν το συγκεντρωτικό φακό με το σχήμα χωρίς να λαμβάνουν υπόψη το νόμο της διάθλασης (Amarjit Singh & Philip Butler 1990).

Συμπεράσματα

Η χρήση του Η/Υ μας επιτρέπει να εισάγουμε ένα επιστημολογικού τύπου προβλη-ματισμό στο μαθητή. Καθώς ο μαθητής παρατηρεί μέσα από τα ιστορικά παραδείγματα ότι μεγάλοι ερευνητές είχαν και αυτοί τα δικά τους προβλήματα στις μετρήσεις και στην εξαγωγή συμπερασμάτων, μπορεί να ενθαρρυνθεί και να κατανοήσει περισσότερο τη φύση της φυσικής ως μιας επιστήμης που βρίσκεται σε εξέλιξη. Καθώς συνδυάζεται η πειραματική μελέτη με τη σύγκριση ιστορικών στοιχείων ενισχύεται η αυτοπεποίθηση του μαθητή. Η εύρεση της κατάλληλης σχέσης με βάση τα δεδομένα θεωρείται από τον Duschl (1990) ως ένα βήμα προς την κατανόηση των φαινομένων. Αυτή η κατανόηση μπορεί να βοηθηθεί από το λογισμικό αυτό καθώς και από άλλα που όπως αναφέρθηκε στον πρόλογο βοηθούν το μαθητή να κατανοήσει περισσότερο την έννοια του σφάλματος (Μίχας και Αγγελίδης 1997, Μίχας 1998). Το θέμα της κατανόησης των γραφικών παραστάσεων και των σφαλμάτων έχει απασχολήσει πολλούς (Jackson, Edwards, Carl 1992). Η ενασχόληση με ποσοτικά πειράματα δίνει την ευκαιρία για μια καλύτερη κατανόηση της φύσης της φυσικής.

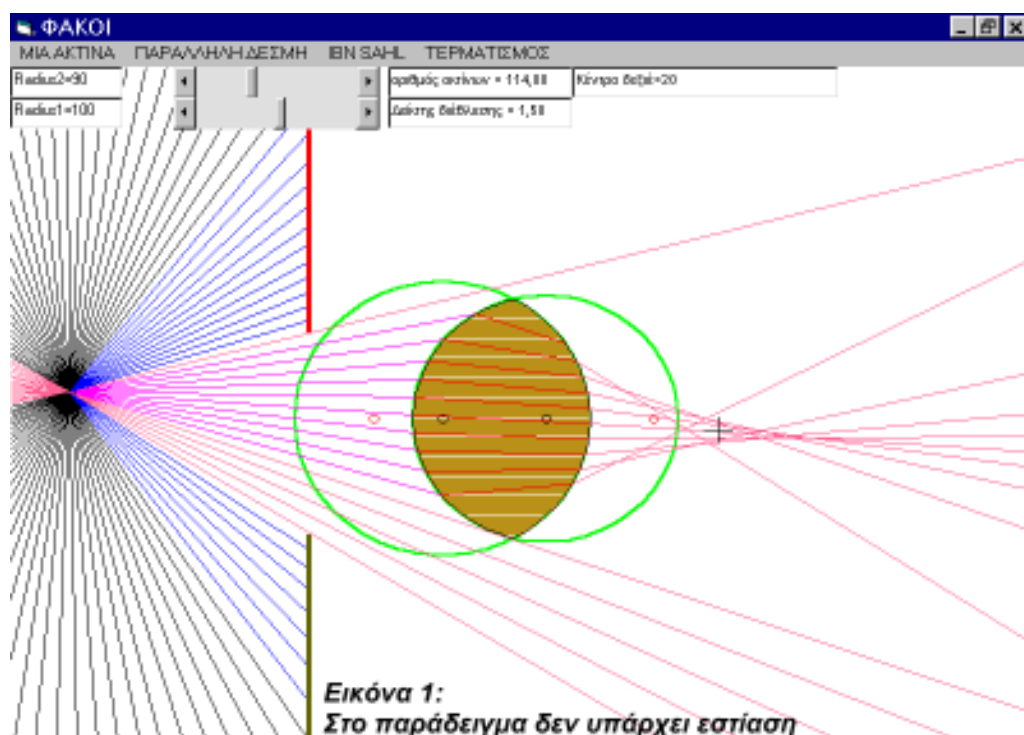
Η δυνατότητα για μεταβολές του δείκτη διάθλασης επιτρέπουν τη μελέτη φαινομένων που είναι συνήθως δύσκολο να μελετηθούν στην πράξη. Η δυνατότητα που δίνει το λογισμικό να εξεταστεί το σφάλμα που δίνουν διάφορα ημικύκλια και να παρατηρηθεί ότι το σφάλμα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί είναι κάτι που δίνει μια καινοτόμα εφαρμογή. Η εφαρμογή αυτής της έννοιας της διάθλασης δεν έχει μελετηθεί μέχρι σήμερα μέσα στα διδακτικά πλαίσια.

Φακοί, Όραση και Διδακτική της διόφθαλμης όρασης

Φακοί

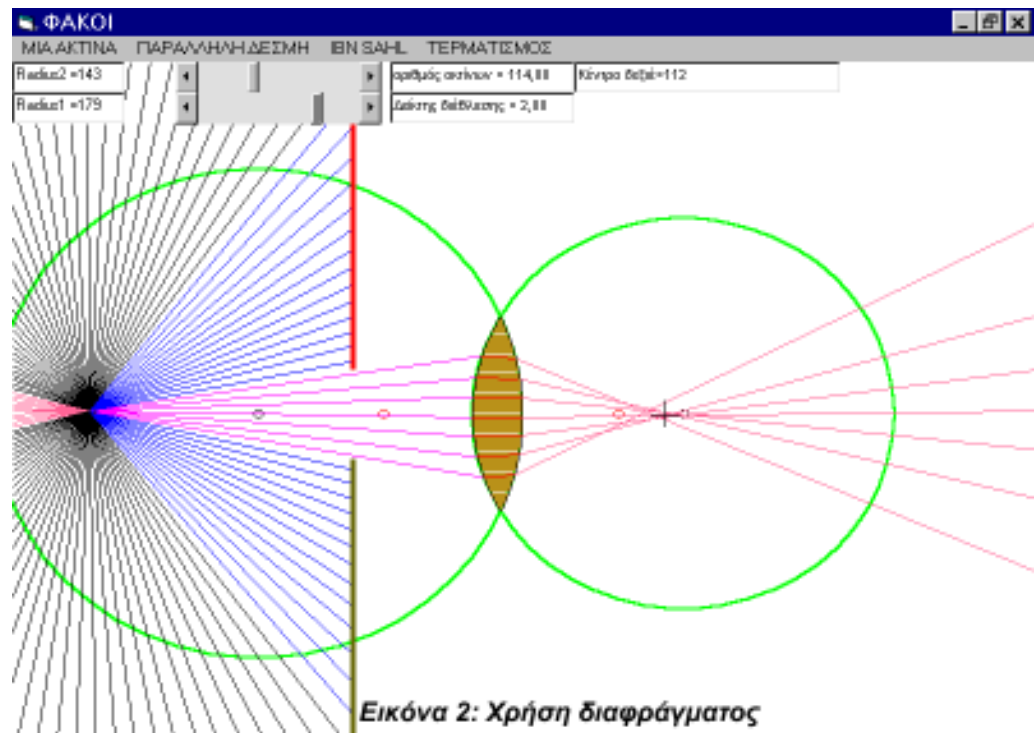
Η διδασκαλία των φακών μπορεί να βοηθηθεί από μερικά ιστορικά θέματα.

Μια δυσκολία που αντιμετώπισε ο Αλ Χαϊθάμ αναφορικά με το σχηματισμό των ειδώλων ήταν ότι οι ακτίνες από ένα σημείο που προσπίπτουν σε μία οπτική συσκευή δε συγκλίνουν σε ένα σημείο. Όπως είδαμε στα κάτοπτρα (κεφ. 7 και 12) οι ακτίνες μόνο κατά προσέγγιση περνάν από το σημείο του ειδώλου. Το ίδιο μπορούμε να δούμε ότι συμβαίνει και με τους φακούς. Σε εικόνες που οφείλονται στον Dela Porta (Ronchi 1956) με σχήματα ακτίνων αυτή η δυσκολία είναι εμφανής καθώς δείχνει τις ακτίνες να μη συγκεντρώνονται σε ένα σημείο. Η δυσκολία αυτή ξεπεράστηκε από τον Κέπλερ που σκέφτηκε να περιορίσει τις ακτίνες με ένα διάφραγμα. Αργότερα εμφανίστηκε η προσεγγιστική θεωρία που ανέπτυξε ο Gauss και αφορά λεπτούς φακούς. Όπως παρατηρήθηκε στο 10ο κεφάλαιο υπάρχει μία δυσκολία για την

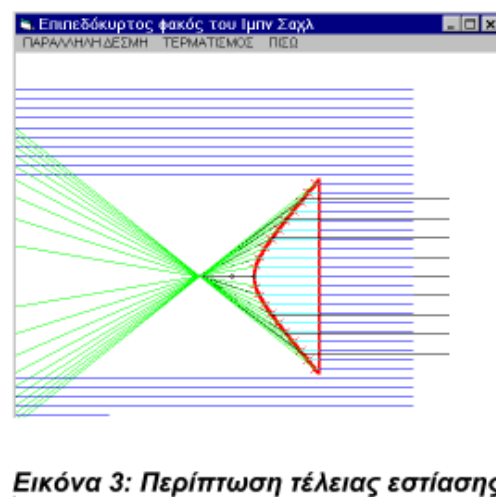


κατανόηση της χρήσης των διαφραγμάτων μπροστά σε φακούς, δηλαδή οι μαθητές περιμένουν ότι αν καλυφθεί ένα μέρος του φακού θα εξαφανιστεί ένα μέρος του ειδώλου.

Για την αντιμετώπιση των δυσκολιών έχει αναπτυχθεί από το συγγραφέα ένα λογισμικό σε Visual Basic 5. Το λογισμικό επιτρέπει με τη βοήθεια διαφραγμάτων να καλύπτεται ένα τμήμα του φακού οπότε μπορεί να ιδωθεί ότι ένα μέρος των ακτίνων εστιάζεται σε ένα σημείο (εικ. 1 και εικ. 2). Τα διαφράγματα μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση της εστίασης των δεσμών που έχουν ένα περιορισμένο γωνιακό άνοιγμα.



Στο λογισμικό έχουν ενσωματωθεί δυνατότητες που επιτρέπουν στο μαθητή να παρατηρήσει το φαινόμενο της μη πλήρους εστίασης καθώς και το σημείο που εστιάζεται μία δέσμη σύμφωνα με τη προσεγγιστική θεωρία του Gauss. Το σημείο αυτό εμφανίζεται με ένα σταυρό. Με τη χρήση του ποντικιού του υπολογιστή ο μαθητής μπορεί να παρατηρήσει ότι η θέση του ειδώλου συμπίπτει με την τομή των ακτίνων μόνο όταν έχουμε λεπτό φακό.



Το πρόγραμμα επιτρέπει και τη μελέτη της πορείας παράλληλων δεσμών. Μπορεί να ιδωθεί ότι μόνο κατά προσέγγιση περνούν όλες οι ακτίνες από την εστία. Το πρόγραμμα επιτρέπει και μεταβολές του δείκτη διάθλασης που δεν είναι εύκολο να μελετηθούν στην πράξη.

Μια άλλη προτεινόμενη δραστηριότητα είναι το “πείραμα έκπληξης” (Knoll 1970) στο οποίο αναφερθήκαμε στο προηγούμενο

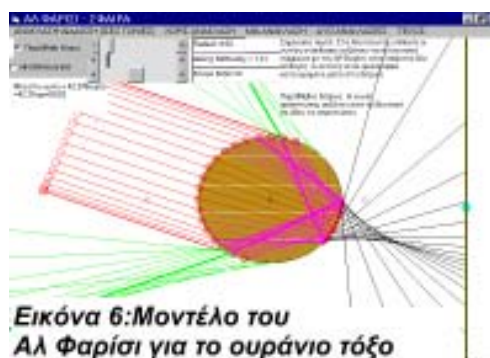
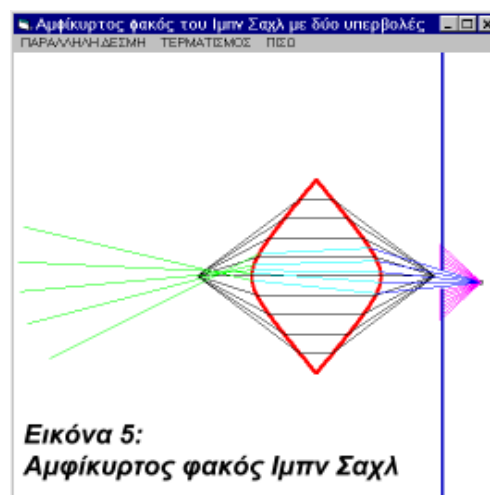
κεφάλαιο, κατά το οποίο χρησι-μοποιούμε έναν αμφίκυρτο φακό κατασκευασμένο από διαφανή πιάτα που έχουμε κολλήσει τα χείλη τους. Αν αυτός ο “φακός” τοποθετηθεί μέσα στο νερό και προσπέσει πάνω του μία παράλληλη δέσμη, τότε η δέσμη αποκλίνει αντί να συγκλίνει. Αυτό το πείραμα είναι “πείραμα έκπληξης” γιατί συνήθως το σχήμα του φακού (αμφίκυρτος φακός) συνδέεται με την ιδιότητα να συγκλίνει. Εδώ θα πρέπει οι μαθητές να εφαρμό-σουν τους νόμους της διάθλασης αντί να εξετάζουν τα φαινόμενα της διάθλασης σαν χωριστές περιπτώσεις για τις οποίες σχηματίζουν ορισμένους πρακτικούς κανόνες.

Από τον Ιμπν Σαχλ είχε αποδειχτεί ότι ένας φακός που παράγεται από υπερβολή με περιστροφή δίνει μια πλήρη εστίαση. Η εστίαση αυτή όμως γίνεται μόνο σε ορισμένα σημεία. Για τα άλλα σημεία η εστίαση δεν είναι πλήρης. Ο μαθητής μπορεί και εδώ να παρεμβάλει διαφράγματα και να παρατηρήσει μία σχετική βελτίωση της εστίασης για στενές δέσμες. Επίσης μπορεί να παρατηρήσει την τέλεια εστίαση που προέβλεψε ο Ιμπν Σαχλ για τις περιπτώσεις των ακτινών που ξεκινούν από ορισμένα σημεία στον αμφίκυρτο και την τέλεια εστίαση της παράλληλης δέσμης με μηδέν γωνία κλίσης στον επιπεδόκυρτο φακό (εικ. 3).

Αν η δέσμη σχηματίζει μια γωνία με τον άξονα του φακού τότε παρατηρούμε ότι η εστίαση δεν είναι τέλεια (εικ. 4).

Το ίδιο παρατηρούμε και για την περίπτωση του αμφίκυρτου φακού (εικ. 5). Έχουμε τέλεια εστίαση στην ειδική περίπτωση που η πηγή του φωτός βρίσκεται στην εστία της μίας υπερβολής ενώ η εστίαση είναι προσεγγιστική σε κάθε άλλη περίπτωση. Μπορούμε να δούμε και εδώ την επίδραση των διαφραγμάτων. Η αξία των φακών του Ιμπν Σαχλ έγκειται στο ότι στηρίχτηκαν στη σωστή σχέση του νόμου του Snell. Όπως αναφέρθηκε στο 8ο κεφάλαιο, ο Ιμπν Σαχλ είχε βρει το σωστό νόμο της διάθλασης περίπου τετράκοσια χρόνια πριν από το Snell.

Μια άλλη περίπτωση “φακού” είναι ο σφαιρικός φακός που πραγματώνεται με τη σφαιρική

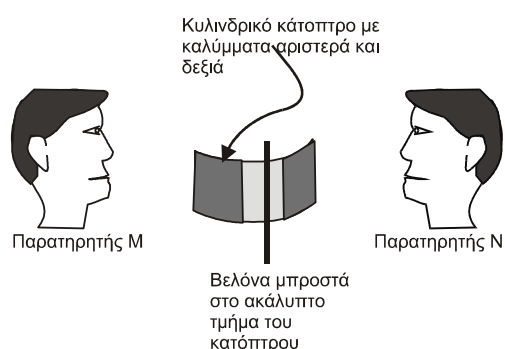




μοντελο-ποιήσει τη δράση της σταγόνας με μια φιάλη. Ο Αλ Φαρίσι χρησιμοποίησε την ιδιότητα των ακτίνων, το ότι δηλαδή για μια ορισμένη γωνία οι εξερχόμενες ακτίνες παρουσιάζουν ένα ακρότατο στην εκτροπή τους, για να χωρίσει τις ακτίνες σε δύο κατηγορίες. Υπάρχει μία “κρίσιμη” γωνία πρόσπτωσης (50° για πρόσπτωση από αέρα σε γυαλί) που τη διαθλώμενη της την τέμνουν στο εσωτε-ρικό της σφαίρας οι διαθλώμενες των ακτίνων που προσπίπτουν με μεγαλύτερη γωνία πρόσπτωσης. Σε πρόγραμμα που δημιουργήθηκε δείχνεται αυτή η γωνία και η σχέση της με τις παρατηρούμενες γωνίες παρατήρησης του ουράνιου τόξου. Ο μαθητής μπορεί να χρησιμοποιήσει το σχήμα που εμφανίζεται στον Η/Υ για να παρατηρήσει τον κανόνα των 42° που αναφέρεται σε διδακτικά βιβλία. Αν ζητήσει γωνία πρόσπτωσης π.χ. -21° τότε μπορεί να δει με μέτρηση της γωνίας που κάνει η προσπίπτουσα δέσμη με την παχειά γραμμή ότι είναι περίπου 42° . Ο μαθητής μπορεί να παρατηρήσει και την περίπτωση δύο ανακλάσεων, τότε μπορεί να μετρήσει τη γωνία και να βρει ότι είναι μεγαλύτερη από 42° (εικ. 7).

Παρατήρηση ειδώλων

Η διδασκαλία της λειτουργίας του ματιού θεωρείται πρωταρχικής σημασίας στη διδακτική της Οπτικής. Ο ρόλος του ματιού πολλές φορές παραβλέπεται και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε παρανοήσεις. Οι Galili κ.ά (1992) καθώς και οι Ronen και Eylon (1993) έχουν επισημάνει τον κρίσιμο ρόλο της κατανόησης της λειτουργίας του ματιού. Όπως γράφουν (Ronen & Eylon 1993) «πολλές από τις δυσκολίες που έχουν οι μαθητές στην κατανόηση της γεωμετρικής οπτικής σχετίζονται με τις δικές τους προσωπικές εμπειρίες της όρασης σε συνδυασμό με την ατελή κατανόηση των αναπαραστάσεων που χρησιμοποιούνται σ’ αυτόν τον τομέα». «Αν και γνωρίζουν τη θέση ενός φανταστικού ειδώλου δεν μπορούν να εξηγήσουν την ύπαρξη του με βάση τη συμπεριφορά του οπτικού οργάνου (κατόπτρου ή πρίσματος) και του ματιού. Ειδικά οι μαθη-



Εικόνα 8: Παρατήρηση ειδώλων σε κυλινδρικό κάτοπτρο

τες δεν αναγνωρίζουν τον κρίσιμο ρόλο του ματιού του παρατηρητή στο σχηματισμό και στην παρατήρηση του ειδώλου» (Galili κ.ά 1992).

Οι φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. καθώς και οι δάσκαλοι που παρακολούθησαν μαθήματα «εξομοίωσης» παρουσίασαν μεγάλες δυσκολίες για την κατανόηση του φανταστικού ειδώλου.

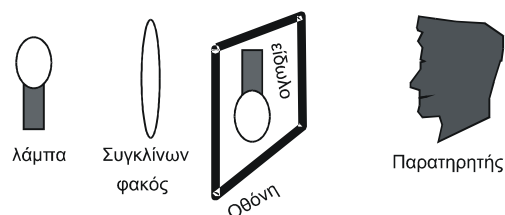
Για την υπερνίκηση αυτών των δυσκολιών χρησιμοποιήθηκαν δραστηριότητες που προτείνουν οι McDermott (2001) καθώς και ο Goldberg κ.ά. (1995). Οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνουν αναγκαστικά μια θεώρηση του ρόλου του παρατηρητή και κατ' επέκταση του ματιού για την παρατήρηση ειδώλων, πραγματικών και φανταστικών.

Η McDermott (2001) προτείνει για τα κάτοπτρα διάφορες δραστηριότητες που δημιουργούν ερωτήματα στο μαθητή όσον αφορά τη θέση του ειδώλου:

Υπόθεσε ότι όλο το κάτοπτρο καλύπτεται εκτός από μια μικρή περιοχή κοντά στο κέντρο του όπως δείχνεται (εικόνα 8).

Να προσδιορίσεις την περιοχή στην οποία θα πρέπει να βρίσκεται ένας παρατηρητής για να μπορέσει να δει το είδωλο της βελόνας.

Μπορούν δύο παρατηρητές που βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις σ' αυτήν την περιοχή να συμφωνήσουν ως προς την κατά προσέγγιση θέση του ειδώλου; Αν ναι, να βρεις προσεγγιστικά τη θέση του ειδώλου. Αν όχι, να εξηγήσεις γιατί το λες αυτό.



Εικόνα 9: Δραστηριότητα για παρατήρηση “αέρινου” ειδώλου

Να ελέγξεις τις απαντήσεις σου πειραματικά.

Ενώ για ορισμένες περιπτώσεις η θέση του ειδώλου είναι ανεξάρτητη από τη θέση του παρατηρητή (π.χ. το επίπεδο κάτοπτρο), γενικά δεν είναι.

Για τη θέση του πραγματικού ειδώλου που παράγεται από φακούς ή κοίλα κάτοπτρα προτείνονται δραστηριότητες όπως (Goldberg κ.ά 1995):

ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΙΔΕΑ ΣΟΥ; Βάλε τον φακό στην ίδια θέση όπως ήταν στο αρχικό πείραμα (όπου παρατηρήθηκε ένα πραγματικό είδωλο μιας λάμπας σε οθόνη). Τώρα κάνε μία άλλη πρόβλεψη. Αν βρίσκεσαι περίπου μισό μέτρο από την οθόνη και κοιτάς στο πίσω μέρος της οθόνης, τι θα συμβεί ΑΝ βγάλεις την οθόνη; Θα συνεχίσεις να βλέπεις μια αναπαραγωγή (είδωλο) της λάμπας ανάποδα; (εικ. 9).

Τι προβλέπουν τα άλλα μέλη της ομάδας;

Παρατήρηση: Προσπάθησε να κάνεις το πείραμα. Ήταν όπως το περίμενες;

Όπως παρατηρεί ο Goldberg :

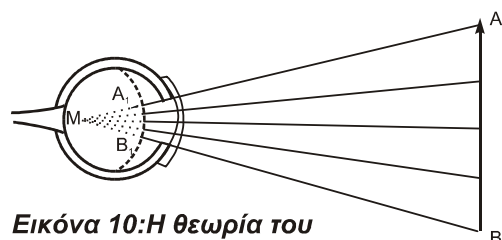
«Εδώ έχουμε συνήθως έκπληξη γιατί οι περισσότεροι περιμένουν την παρατήρηση του ειδώλου μόνο με οθόνη: δηλ. πιστεύουν ότι η οθόνη είναι απαραίτητη για το σχηματισμό του ειδώλου. Εδώ υπάρχει νοητική δυσκολία αλλά ταυτόχρονα υπάρχει και δυσκολία στην παρατήρηση.»

Οι δυσκολίες στην παρατήρηση στην οποία αναφέρεται ο Goldberg σημειώνονται στο άρθρο των Goldberg, Bendall, Galili (1991) στο οποίο

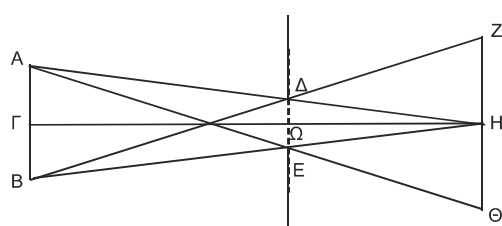
εξηγείται ότι υπάρχει μία δυσκολία στην εστίαση πάνω στο “αέρινο” είδωλο, γιατί οι πιο πολλοί εστιάζουν στο φακό (ή στο κάτωπυρρο) επειδή είναι το πιο κοντινό αντικείμενο, όμως για πολλούς υπάρχει η ιδέα ότι το είδωλο σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια του κατόπτρου ή του φακού.

Η παρατήρηση του «αέρινου ειδώλου» (Arons 1992) μετά το ξεπέρασμα των δυσκολιών, προκαλούσε συνήθως τον ενθουσιασμό, τόσο των φοιτητών του Π.Τ.Δ.Ε. όσον και των δασκάλων της «εξομοίωσης».

Η δυσκολία που αναφέρθηκε πιο πάνω μπορεί να βοηθήσει στο να ξεκαθαριστεί ο τρόπος λειτουργίας του ματιού πράγμα που κάνει σχεδόν αναγκαία τη χρήση ιστορικών αναφορών.



Εικόνα 10: Η θεωρία του Αλ Χαϊθάμ για την όραση



Εικόνα 11: Αρχή του σκοτεινού θαλάμου κατά τον Αλ Χαϊθάμ

Λειτουργία του ματιού

Η λειτουργία του ματιού ως οπτικού οργάνου μπορεί να θεωρηθεί ως μια εφαρμογή της θεωρίας των φακών.

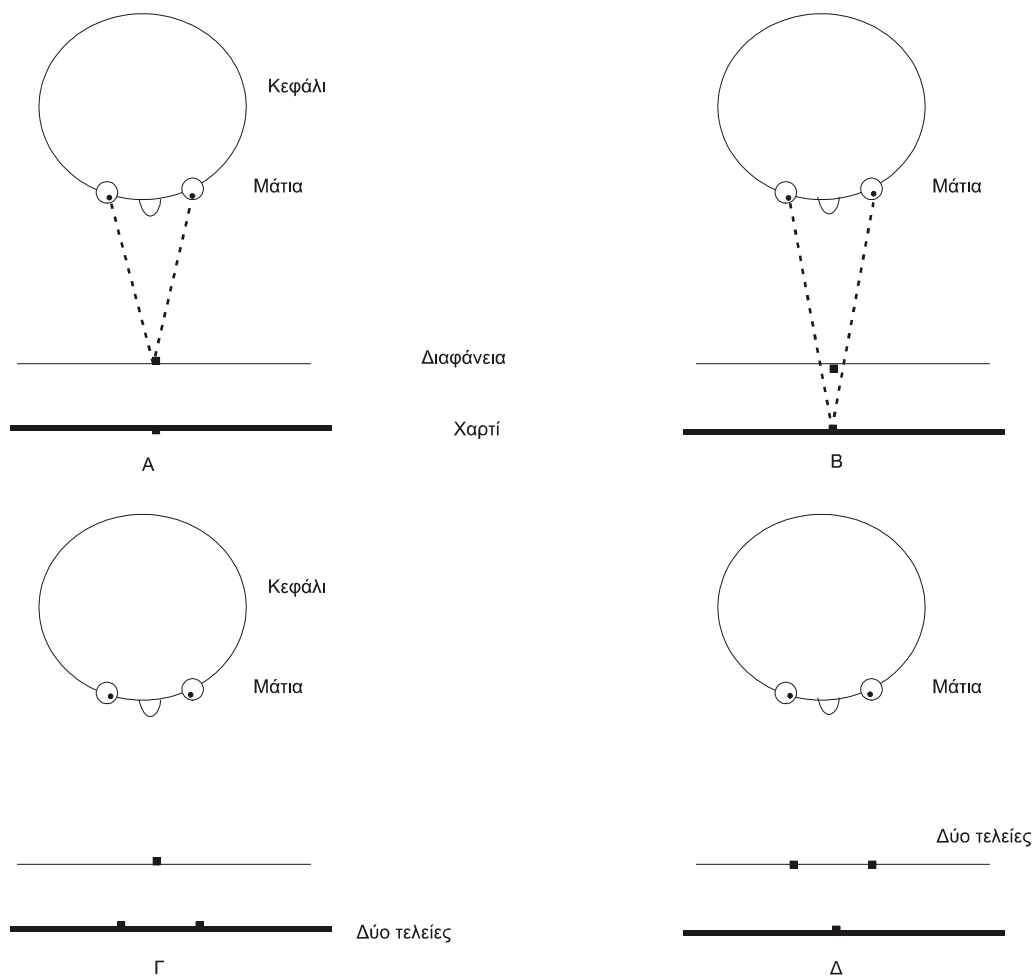
Όμως για να μπορέσουν οι μαθητές να έρθουν σε γνωστική σύγκρουση και αναθεώρηση των απόψεων τους οι Galili και Hazan (2000) προτείνουν τη χρήση ιστορικών στοιχείων. Μπορούμε να αντιπαραθέσουμε τις απόψεις των αρχαίων Ελλήνων για τη λειτουργία του ματιού (αναφορές στον Πλάτωνα, Ευκλείδη, Ήρωνα, Πτολεμαίο), τις απόψεις του Αλ Χαϊθάμ για το μάτι και τελικά την άποψη του Κέπλερ που συνιστά και τη σύγχρονη άποψη.

Όλοι οι φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. έχουν στην αρχή δυσκολία να δεχτούν την άποψη ότι το είδωλο δημιουργείται ανεστραμμένο στον αμφιβληστροειδή. Σ' αυτό το σημείο είναι χρήσιμη μια αντιπαραθέση με τις απόψεις του Αλ Χαϊθάμ για την όραση. Παραθέτουμε το σχήμα που δίνει τη βασική άποψη του Αλ Χαϊθάμ (εικόνα 10). Ο Αλ Χαϊθάμ θεώρησε ότι το μάτι δέχεται μόνο τις ακτίνες που είναι κάθετες στην επιφάνεια του «κρυσταλλοειδούς», όπως στο σχήμα, αν και δέχτηκε ότι είναι δυνατό να παίζουν κάποιο ρόλο οι ακτίνες που έρχονται από άλλες διευθύνσεις. Ο Αλ Χαϊθάμ θα μπορούσε να είχε φανταστεί το μάτι σαν ένα σκοτεινό θάλαμο όμως δεν το έκανε (εικόνα 11). Πιθανόν να αντιμετώπιζε μια νοητική δυσκολία με την αντιστροφή του ειδώλου.

Υποστηρίζεται από τους Ronen και Eylon (1993) ότι το μάτι δε θα πρέπει να αντιμετωπίζεται απλώς “συμβολικά” δηλαδή με την παράσταση του εξωτερικού του, αλλά θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τη διδασκαλία και της εσωτερικής του δομής. Οι ίδιοι έχουν δώσει ένα σύστημα που θυμίζει φωτογραφική μηχανή.

Διόφθαλμη όραση

Οι ιδέες του Πτολεμαίου για τη διόφθαλμη όραση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει περισσότερο κατανοητή από τους μαθητές



Εικόνα 12: Διατάξεις του Gabrielson

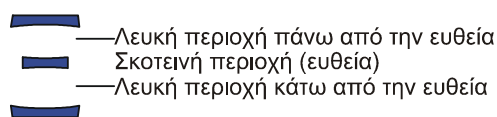
η συνεργασία των δύο ματιών για να δημιουργηθεί μια εικόνα στον εγκέφαλο. Τα θέματα που μελέτησε ο Πτολεμαίος (κεφάλαιο 4) αγγίζουν θέματα αντίληψης που μελετώνται από τη σύγχρονη ψυχολογία.

Μια διδακτική προσέγγιση είναι αυτή που προσφέρει ο Curt Gabrielson (1996). Η προσέγγιση του Gabrielson είναι απλή και δε χρειάζεται πολύ ειδικά όργανα εκτός από μία δραστηριότητα που απαιτεί τη χρήση φωτογραφικής μηχανής. Κατ' αρχή προτείνει στους μαθητές ένα από τα πειράματα του Πτολεμαίου λέγοντας τους: “κρατείστε ένα δάχτυλο ψηλά λίγο μπροστά στο πρόσωπο σας και κοιτάξτε στη σημαία (ή κάποιο αντικείμενο που να φαίνεται καλά από την τάξη). Πόσα δάχτυλα βλέπετε; “ Η απάντηση είναι “δύο!, όχι ένα, όχι δύο”.

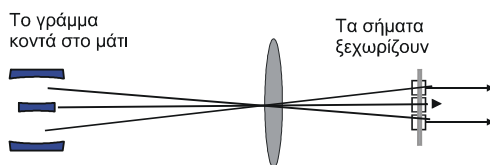
Αν ένας συγκεντρώσει την προσοχή του στο ένα από τα δύο εμφανιζόμενα δάχτυλα τότε βλέπει κανείς δύο θολά αντικείμενα στο βάθος. Το πείραμα αυτό πάντα πετυχαίνει. Ο δάσκαλος τώρα αν ζητήσει από τους μαθητές να του πούνε «γιατί βλέπουμε ένα αντικείμενο αν το παρατηρούμε;» Ο Gabrielson συνιστά να μη δώσει ο δάσκαλος την απάντηση ότι ο εγκέφαλος συνδυάζει τις δύο εικόνες. Αντί γι' αυτό να προχωρήσει με ένα πρόγραμμα εποικοδομητικής διδασκαλίας.

Προτείνει να χρησιμοποιηθεί μια διαφάνεια στην οποία έχει σημειωθεί μία τελεία και μια τελεία σε ένα χαρτί στο θρανίο (εικόνα 12). Ζητά από τους μαθητές να πραγματοποιούν τις διατάξεις Α,Β,Γ,Δ. Οι διατάξεις Α και Β είναι όμοιες με το αρχικό ερώτημα του δάχτυλου και του αντικειμένου. Οι διατάξεις Γ και Δ δεν έχουν προκαθορισμένη θέση για εστίαση της προσοχής και

βοηθούν να δημιουργηθεί μία συζήτηση μεταξύ των μαθητών. Μπορούν οι μαθητές να αρχίσουν να σκέφτονται δικούς τους συνδυασμούς με αριθμούς τελειών που επιλέγουν αυτοί. Μια άλλη δραστηριότητα που προτείνει είναι



Εικόνα 13



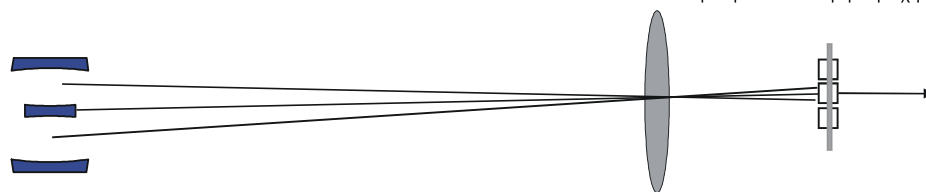
Εικόνα 14

η χρήση 2 όμοιων νομισμάτων που να τοποθετηθούν κατά την ίδια κατεύθυνση. Με μια κατάλληλη παρατήρηση τα δύο νομίσματα μπορούν να φανούν ως τέσσερα αν παρατηρηθεί η τελεία που είναι πιο πάνω τους. Ο Gabrielson προτείνει τέλος τη φωτογράφιση κάποιου αντικειμένου από δύο κοντινές θέσεις. Η παρατήρηση των δύο φωτογραφιών δίνει μια στερεοσκοπική εικόνα.

Όρια της όρασης

Ο Goldberg προτείνει μια σειρά δραστηριοτήτων για να αντιληφθούν οι μαθητές αυτό που ήδη οι Πτολεμαίος και Αλ Χαϊθάμ είχαν διδάξει για την ύπαρξη ορίων στη διάκριση λεπτομερειών. Τα συνήθη διδακτικά

Σήματα από διάφορες περιοχές του γράμματος φθάνουν μόνο σε μία φωτοευαίσθητη περιοχή



Εικόνα 15

βιβλία ασχολούνται μόνο με την εστίαση των ειδώλων στον αμφιβληστροειδή. Όμως οι μαθητές θα πρέπει να αναρωτηθούν για την κοκκώδη φύση του αμφιβληστροειδούς. Ο Goldberg (1995) δίνει την ακόλουθη διδακτική ενέργεια:

Μπορείς να σκεφτείς γιατί δε μπορείς να διαβάσεις γράμματα σε μεγάλη απόσταση;

Η ακόλουθη ιδέα θα μας δώσει την βάση για την απάντηση.

Το κεντρικό τμήμα του αμφιβληστροειδούς περιέχει ένα μεγάλο αριθμό από μικροσκοπικές περιοχές που είναι ευαίσθητες στο φως. Όταν το φως πέφτει σ' αυτήν την περιοχή τότε ένα ηλεκτρικό σήμα μεταβιβάζεται στον εγκέφαλο. Η ένταση του σήματος εξαρτάται από την ένταση του φωτός.

Στο διάγραμμα τα βέλη δείχνουν την ανταπόκριση των διαφόρων περιοχών.

Από αυτό το μοντέλο μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τις αιτίες που δε μπορούμε να διαβάσουμε από μεγάλη απόσταση. Π.χ. (εικόνες 13, 14, 15) για να το διαβάσουμε ένα γράμμα Ξ από μακριά θα πρέπει να έχουμε σαν ξεχωριστούς χώρους τις λευκές περιοχές πάνω και κάτω από την οριζόντιο γραμμή που είναι η σκοτεινή περιοχή. Θα πρέπει να τα δούμε

χωριστά, δηλ. θα πρέπει να σχηματιστεί το είδωλο τους σε διαφορετικές περιοχές του αμφιβληστροειδούς. Οι περιοχές που λαμβάνουν φως από τη λευκή περιοχή πάνω από την οριζόντιο γραμμή και αυτές που λαμβάνουν φως από τη λευκή περιοχή από κάτω θα στείλουν μεγάλα σήματα στον εγκέφαλο. Οι περιοχές που λαμβάνουν φως από τη σκοτεινή περιοχή θα στείλουν πολύ μικρά σήματα (ή και καθόλου) στον εγκέφαλο (εικόνα 13).

Στις εικόνες 14 και 15 έχουμε το αντικείμενο (Ξ), το φακό και τμήμα του αμφιβληστροειδούς. Σε μακρινή απόσταση έχουμε τα σήματα από όλες τις περιοχές του Ξ να συγκλίνουν στην ίδια φωτοευαίσθητη περιοχή.

Κατάλογος όρων και ονομάτων

A

- Αβικέννας 125 137
Aguilinius 66
Αδιαφάνεια 30
Αδλάλ 43
Αίγυπτος 19
Αισθητική 65
Ακτίνα σφαιρικού δακτυλίου για εστίαση 101
Ακτίνες μη κάθετες προς κρυσταλλοειδή 53
Ακτίνες της όρασης και Αριστοτέλης 128
Ακόλουθη γωνία 107
Αλ Άζχαρ 20
Alhazen 27
Al Shahr Stani 1
Αλ Χακίμ 19
Αλ Κίντι 14
 Αλ Χαϊθάμ: διόρθωση λαθών 43
 Μεταβολές στην ευαισθησία 17
 Φύση της ακτινοβολίας όρασης 16
Αλ Μπίγκι 25
Αλ Φαρίσι 25, 37
 Εξήγηση χρωμάτων 138
 Κριτική θεωρίας Αλ Χαϊθάμ 131
 Μοντέλο ουράνιου τόξου 134
 Πειράματα 135
 Δύο ανακλάσεις 136
 Σκοτεινός θάλαμος 137
 Προσέγγιση για ουράνιο τόξο 132
 Σύνθεση δεδομένων ουρ. τόξου 138
 Χρήση αποτελεσμάτων Αλ Χαϊθάμ 133
Αλ Χαϊθάμ
 Αποτελέσματα γυάλινης σφαίρας 133
 Βιογραφία 19
 Διάθλαση 37
 Διδακτική σκοτεινού θαλάμου 150
 Δυτικοί 26
 Θεωρία άλω 139
 Κανόνες διάθλασης 120
 Λάθη 33
 Νόμος Διάθλασης ,Διδακτική 159
 Ουράνιο τόξο 129
 Συσκευή διάθλασης 115
Αλέξανδρος από Αφροδισιάδα 2
Άλως: θεωρία Αλ Χαϊθάμ 139
Άμπου Καλμούν 33
Αμοιβαία ανάκλαση δύο σημείων 104
Ανάκλαση
 Αντιστροφή της εικόνας 151
 Απέναντι τομέας 106
 Ασθενικά φώτα 81
 Ήλιος προς Σελήνη 93
 Θεωρία 34
 Μηχανική 34
 Συμμετρία 87
Ανάκλαση δύο σημείων σε διαφορετικές διαμέτρους 105
Ανάκλαση σε πρώτο τομέα, άνισες αποστάσεις 107
Ανάκλαση σε πρώτο τομέα, διάμετροι διαφορετικές 106
Ανάκλαση φωτός, διδακτική 142
Ανακλαστικός διπλασιασμός 107
Ανακλώμενα φώτα 30, 36
Άναμμα φωτιάς και κοιλά κάτοπτρα 102
Αναπήδηση σφαίρας 34
Αντιλαμβανόμενη απόσταση 79
Αντίληψη
 Απόστασης 60
 Θέση 62
 Θέσης επιφανειών 63
 Ομορφιά 65
 Μέγεθος 64
 Σχήματος 63
 Σκότους 60
 Σύγκριση, διάκριση 58
 Φύσης χρωμάτων 60
 Φως, χρώμα 59
Αντίληψη με θεώρηση 66
Αντίληψη και προσοχή 65
Αντίληψη με συλλογισμό 65
Αντίσταση 35
Αντίστοιχες ακτίνες και ανάκλαση 88
Αντιστροφή της εικόνας με ανάκλαση 151
Αξία που αποδίδεται στην έννοια της ακτίνας όρασης 10
Απαιτήσεις του κανόνα ανάκλασης 83
Απλή αίσθηση και αντίληψη 58
Απόκρυψης αίτια 76
Απολλώνιος 21, 22
Απορρόφηση 33
Απόσταση
 αντίληψη 60
 μέτρια, μη μέτρια 61
 μονάδες 62
Απόσταση Γης - Ηλίου 46
Απέναντι παράγοντες για εκτίμηση 62
Απέναντι τομέας 105
Αριθμός σημείων που συνδέονται με ανάκλαση Διδακτική κοίλων κατόπτρων 153
Αριστοτέλης 2
 ακτίνες όρασης 128
 θεωρία χρωμάτων ουρανίου τόξου 128
 ουράνιο τόξο 127
Αρχή του ελάχιστου δρόμου 7, 152
Αρχιμήδης 66
Αρχύτας 1
Ασώματη φύση ακτίνων όρασης 3
Ατομικοί 1
Αυγή 31
Αυτόφωτα σώματα 30

B

Bacon Roger 26, 39
Βαγδάτη 19
βασικοί κανόνες ανάκλασης για κυρτή επιφάνεια 92
Βασόρα 19
Bendall 143, 151
Brickhouse 141
Butler 143

Γ

Γαληνός 21
Carvalho 144
Castro 144
Chalmers 50
Gabrielson 174
Galili 50, 80, 143, 151, 172
Gauss 169
Γενική άποψη Αλ Χαϊθάμ για αριθμό σημείων 108
Γέροισμο ανάλυση διανυσμάτων 36
Γιάχι ο φιλόλογος 21
Γιούνις Αλ Μίσιρ 20
Glossiness 155
Γνώση και αντίληψη 58
Goldberg 142, 143, 151, 175
Guesne 143
Γυαλί, διάθλαση 120
Γωνία ακόλουθη 107
Γωνία παρατήρησης πλανήτη 79

Δ

Δακτύλιος, συσκευή ανάκλασης 84
Δαμιανός 8
Δεδομένα, προσαρμογή για ταίριαγμα με θεωρία 114
Dela Porta 26, 169
Δέσμη 171
Δεύτερη προσέγγιση, Πτολεμαίος 69
Δευτερογενή 30
Δεύτερος κανόνας 93
Δημόκριτος 1
Διάθλαση
 Άποψη του Αλ Χαϊθάμ 37
 Γυαλί 120
 Διδακτική 142
 Κανόνες Αλ Χαϊθάμ 120
 Μη εκτροπή καθέτης ακτίνας 119
 Νόμος 113
 Όρια εφαρμογής κανόνων Αλ Χαϊθάμ 121
 Περιγραφή της συσκευής Αλ Χαϊθάμ 116
 Πείραμα Ευκλείδη 113
 Πτολεμαίου συσκευή 113
Διάκριση και αντίληψη 58
Διάμετρος Σελήνης 46
Διδακτική της Οπτικής και Ιστορία 144

Διανυσματική 35
Διαστήματα μεταξύ ακτινών όρασης 10
Διαφάνεια 29, 52
Διαφράγματα με σχισμές, Διδακτική 150
Διάχυση 30
Διάχυτη ανάκλαση, διδακτική 154
Διόπτρα 66
Διοπτρική 5
Διόφθαλμη όραση διδακτική 174
Διόφθαλμη όραση προσέγγιση Αλ Χαϊθάμ 72
Διοφθαλμική (διόφθαλμη) 66
Duschl 144
Δύναμη για υποδοχή του φωτός 30
Δύναμη διάκρισης 58
Δύναμη της όρασης 29
Δύναμη του φωτός 33
Δυσκολία Αλ Χαϊθάμ 169
Δυσκολίες των Φοιτητών 146
Δυσκολίες των φοιτητών, διάδοση του φωτός 146

E

Εγκέφαλος 51
Είδος 33
Είδωλα αριθμός 91
Είδωλο 46
Εικόνα
 Μεταφορά 54
 Συναρμολογημένη 54
Εκλείψεις 45
Εκλείψεις Σελήνης 13
Έκλειψη Ηλίου σε σύγκριση με Σελήνης 49
Έκλειψη, καθαρότητα ειδώλου 47
Εκπομπής θεωρία, κριτική του Αλ Χαϊθάμ 31
Ελάχιστα των αισθήσεων 57
Ελληνιστική εποχή 5
Εμπειροκλής 1
Εμπειρικός νόμος της διάθλασης 162
Επίδραση μεγέθους ημικυκλίου 166
Επικούρειοι 30
Επίκουρος 4
Επίπεδο κάτοπτρο 88
Επίπεδου ανάκλασης απόδειξη 86
Επιπεφυκώς 51
Ερμηνείες του νομού του Snell
 Fermat 160
 Καρτέσιος 160
Εστία έννοια 101
Εστία παραβολής και παράλληλη δέσμη 109
Εστίαση μη τέλεια 171
Ευθύγραμμη διάδοση 38
Ευκλείδης 5, 22, 113
Eylon 143
Εύρος του μέτρου 74

Z

Ζήνων ο Κιτιεύς 4

H

Haidar 26

Hamilton 144
Harrington 155
Hazan 50
Hewitt 78
Ημισέληνοι, είδωλο σε σκοτεινό θάλαμο 48
Ήρων 6, 34
 Διανυσματική ανάλυση κίνησης 35
 Διόπτρα 67
 Ταχύτητα του φωτός 147
Hulin 144

Θ

Θέμα (για κοίλα κάτοπτρα)
 Δεύτερο 99
 Πέμπτο 100
 Πρώτο 99
 Τέταρτο 100
 Τρίτο 100
Θεοδώριχος 132
Θέσεις Σελήνης Γης Συνθήκη 95
Θέση
 Αντικείμενα το ένα ως προς το άλλο 62
 Αντίληψη 62
Θέων 6
Θεωρία για όραση 53
Θησαυρός της Οπτικής 26

I

Ιδιότητες των φακών
 διδασκτική 143
Ιμπν Αλ Κίφτι 20, 24
Ιμπν Σαχλ 18, 110
 Ελλειψοειδές κάτοπτρο 110
 Εστίαση υπερβολής 171
 Νόμος διάθλασης Snell 122
 Φακός 123
Ιμπν Σίνα (Αβικέννας) 30
Ινδοί 4
Ιριδισμός 33
Ισλαμιστές 24
Ιστορικές αναφορές, χρήση σε λογισμικό 161

K

καθαρή εικόνα, σκοτεινός θάλαμος 46
Καθορισμός της συμμετρίας σε επίπεδο 89
Καίον κάτοπτρο
 Πρώτη μέθοδος 102
 Δεύτερη μέθοδος 103
Κάτοπτρα: συσκευή ανάκλασης 84
Κάτοπτρο που δείχνει το δεξιό ως δεξιό 8
Καρμπύλα κάτοπτρα
 Διδακτική 153
 Εστία 153
Κανόνας ανάκλασης 82
Κανόνας ανάκλασης και απαιτήσεις 83
Κανόνας Πτολεμαίου 70
Καρτέσιος 31, 160
Κατανόηση του φανταστικού ειδώλου 172
Κατανομή του φωτός στις σκιές 45

Καταστάσεων ανάκλασης, διαπίστωση 87
Κατοπτρική 5
Κβαντομηχανική: παράδειγμα αδυναμίας
 μέτρησης 70
Κέπλερ 26, 39, 150, 169
 Μοντέλο σε H/Y 162
 Νόμος διάθλασης 160
Κερατοειδής 52
Κίνηση
 Διανυσματική θεωρία 35
 Εκτίμηση αποστάσεων 62
 Περιστασιακή 34
 Σχέση με δύναμη 36
Κίρνις 145
Κλεομήδης 13
 Εκλείψεις Σελήνης 13
Κουμαράς 144
Κρίσιμη γωνία 165
Κρυσταλλοειδής
 Όργανο αίσθησης 53
 Τι συμβαίνει μετά 54
Κυκλωπική προβολή 56
Κυλινδρικό κάτοπτρο. 88
Κυρτή επιφάνεια και ανάκλαση, πρώτος κανόνας 92
Κύματα και διάθλαση 163
Κωνικό κάτοπτρο 89
Κώνος εξωτερικός, ουράνιο τόξο 135
Κώνος καύσης, ουράνιο τόξο 134
Κώνος κοίλος, ουράνιο τόξο 134

Λ

Leiden 27
Λειτουργία του ματιού 173
Λειότητα 36
Lejeune 8, 35, 66
Λεύκιππος 1
Lindberg 38, 39, 115
Λουκά Κουνσταντίν Μπιν 14
Λυκόφως 31

M

Μαθηματικοί Οπτικοί 29
Μαναζίρ 22
 Επικεφαλίδες 23
Matthews 144
Μάτι: περιγραφή από Αλ Χαϊθάμ 51
Mc Closkey 50
McComas 144
McDermott 141, 142, 143, 144, 147
Μαυρόλυκος 39
Μεγίστη Σύναξη 21, 46
Μέθοδος διάδοσης 43
Μέθοδος πρόβλεψης ειδώλου για σκοτεινός
 θάλαμος 48
Μελέτη των πειραματικών σφαλμάτων 164
Μερικά νοήματα όρασης 57
Μερική ανάκλαση 164
Μεταβολές στην ευαισθησία 17
Μεταφορά εικόνας 54

Μιθκάλ 34
Μονάδες, απόστασης 62
Μοντέλο βαρυτικής δύναμης για διάθλαση 164
Μοντέλο του Αλ Φαρίσι, ουράνιο τόξο 134
Μορφή 33
Μουκάταμ 20
Μουτάζιλα 21, 26

N

Ναζίφ 114, 121
Nersessian 144
Νεύτων 34, 37
Γνώση νόμου 161
Nix 35
Νόμοι της Διάθλασης 159
Νόμος διάθλασης 113

O

Όμαρ 114, 116, 128
Όρια της όρασης 175
Οπτική της παρατήρησης 5
Οπτικό νεύρο σύνδεση 52
Όραση
Είδωλο 53
Μερικά νοήματα 57
Πείραμα βελόνας 55
Προσαρμογή θεωρίας για διάθλαση 55
Σφάλματα 73
Φυσιολογική 54
Ψυχολογική θεώρηση 56
Όρασης όριο 76
Όριο εστία 101
Ορίζοντας 78
Ορόπιερος 66
Κυκλική 69
Ουράνιο τόξο
Αβικέννας 132
Αριστοτέλης 127
Εξωτερικός κώνος 135
Θεωρία Αλ Χαϊθάμ 129
Κοίλος κώνος 134
Κώνος καύσης 134
Μοντέλο Αλ Φαρίσι 134
Σύνθεση δεδομένων από Αλ Φαρίσι 138
Σφαιρικό νέφος 130

Π

Παπαμιχαήλ 141
Παραβολή και ανάκλαση 109
Παράλληλη δέσμη και κοίλα κάτοπτρα 99
Παρατήρηση ειδώλων 172
Παρομοίωση 37
Pascal 145
Παχύτητα 37
Πείραμα
Διαπίστωση καταστάσεων από ανάκλαση, διάδοση 42
Δίσκος και σωλήνας 39
Ευθύγραμμη διάδοση περιστασιακού φωτός

41
Ευθύγραμμη διάδοση φωτός αυτής 41
Καθρέφτης και δευτερεύοντα φώτα 81
Όρια εφαρμογής κανόνων Αλ Χαϊθάμ 121
Μαύρου σώματος 42
Μη πλήρη ανάκλαση 82
Σκοτεινού θαλάμου 40
Φως φεγγαριού 40
Πείραμα βασικό Πτολεμαίου, διόφθαλμη όραση 67
Πειράματα Αλ Φαρίσι 135
Πειράματα για ευθύγραμμη διάδοση 39
Πειράματα έκπληξης 167, 170
Πειραματική προσέγγιση Αλ Χαϊθάμ
Διοφθαλμική όραση 73
Περιστασιακά 30, 36
Πέρσες 21
Pecham John 39 26
Πηγές εκτεταμένες 149
Πηγές σημειακές 148
Πηγές φωτός, Εργαστήρια 148
Πλανήτης, σφάλμα στο μέγεθος 78
Πλάτων 2
Πλατωνικοί 30
Πνευματικά 7, 12
Πρώτος κανόνας για ανάκλαση, κυρτή επιφάνεια 92
Προσδιορισμός εύρους Σελήνης που ανακλά 96
Μήκους Σελήνης που ανακλά 97
Τμήματος που ανακλά 95
Προσδιορισμός της συμμετρίας ανάκλαση 87
Προσοχή, αντίληψη 65
Πρωτοβουλίας, στάδιο της 22
Πτώση και καθετότητα 54
Πυθαγόρειοι 1
Πτολεμαίος 8, 9, 10
Ανάκλαση και διάθλαση 13
Αντίληψη μεγέθους 64
Αντίληψη σχήματος 63
Ανύψωση λόγω διάθλασης 115
Βασικό πείραμα διόφθαλμης όρασης 67
Δεύτερη προσέγγιση διόφθαλμης όρασης 69
Διάθλαση 113
Διανυσματική ανάλυση κίνησης 35
Ελάχιστα αισθήσεων 57
Κανόνας για διόφθαλμη όραση 70
Νόμος Διάθλασης, Διδακτική 159
Όραση 56
Προσαρμογή δεδομένων 114
Πρώτη προσέγγιση διόφθαλμης όρασης 66
Ροή όρασης 12
Συσκευή διάθλασης 113
Σφάλματα αντίληψης κίνησης 57
Τρισδιάστατο 63
Priestley 26

P

Ραβάνης 141
Ράζι Αμπα Μπακρ Αλ 14
Risner 26
Ρόλος της Φύσης της επιστήμης 144

Ronchi 26, 50, 79, 80, 150
Ronen 143
Roshdi 33, 35, 131

Σ

Sabra 160
Σβούρα 33
Schmidt 35
Sekuler 79
Σελήνη, Γη, Ήλιος: Θέσεις 94
Σελήνη και αντιλαμβανόμενη απόσταση 79
Seroglou 144
Σέρογλου 80
Σημειακές πηγές 148
Σημείο της ανάκλασης και φυσική σημασία 91
Shirazi 25
Singh 143
Σκεδαζόμενο φως 31
Σκιά
 Εξήγηση 43
 Σχηματισμός, ιδέες 141
Σκιά, σχηματισμός, δυσκολίες των φοιτητών 149, 150
Σκιές, κατανομή φωτός 45
Σκόπευση 40
Σκοτεινός θάλαμος 46
 Διδακτική 150
 Διδακτική 142
 Μέθοδος πρόβλεψης ειδώλου 48
Σκότους αντίληψη 60
Snell
 Ερμηνείες του νόμου του 160
 Νόμος 160
Σπαθί παρομοίωση διάθλασης 37
Σταυροφόροι 26
Σταφυλοειδές 52
Στιλπνότητα 155
Στόχος ερευνών 38
Στωικοί 4, 30
Σύγκριση με τη διάκριση
 Αντίληψη 58
Συλλογισμός
 Αντίληψη 65
Συμμετρία
 Κυλινδρικό κάτοπτρο 90
 Κωνικό κάτοπτρο 90
 Σφαιρικό 89
Συμπάγεια -αδιαφάνεια 30
Σύνθετο σφαιρικό κάτοπτρο 103
Σύνθετο σφαιρικό κάτοπτρο, Διδακτική 153
Συνθήκη θέσεων 95
Συνιστώσα 36
Συντελεστής ανάκρουσης 35
Συσκευή ανάκλασης 83
 Απόδειξη επιπέδου ανάκλασης 86
 Έλασμα 84
 Δακτύλιος 84
 Περιγραφή 83
 Σφαιρικά κάτοπτρα 85
 Τοποθέτηση κατόπτρων 85

Τοποθέτηση κωνικών 85
Τρόπος χρήσης 86
Χάλκινος σωλήνας 84
Συσκευή διάθλασης Αλ Χαϊθάμ 115
 Μέθοδος του πειράματος 118
Συστηματικά σφάλματα 164
Σφάλμα
 Αντίληψη απόστασης 75
 Αντίληψη μεγέθους 75
 Λόγω πλησιάζματος 76
Σφάλματα 73
 Αντίληψη μεγέθους ουρανίων σωμάτων 78
 Εικασία 76
Σφάλματα στην αίσθηση 74
Σφάλματα στην γνώση 74
Σφάλματα της μέτρησης 74
Σφαιρικών κατόπτρων τοποθέτηση 85
Σφαιρικός φακός
 Αλ Φαρίσι 171
Σφαιρικότητα αναγκαία για ουράνιο τόξο 130

Τ

Τάταροι 26
Ταχύτητα φωτός στη διάθλαση 37
Τέταρτος κανόνας 93
Τίμαιος 147, 151
Τμήμα που αντικρίζει (απέναντι) 88
 Επίπεδο κάτοπτρο 88
Τομέας απέναντι 105
Τομέας πρώτος 105
 Ανάκλαση 106
Τοποθέτηση κωνικών κατόπτρων 85
 Σφαιρικά κάτοπτρα 88
Τοποθέτηση των κατόπτρων 85, 88
Τούσι 25
Τραχύτητα 36
Τρισδιάστατο σώμα 63
Τρίτος κανόνας 93
Τροχιά 34

W

Wade 56, 66
Wiedemann 25
Wosilat 141

Υ

Υπερβολή και φακός Ιμπν Σαχλ 123
Υπολογισμός τμήματος Σελήνης που κατοπτρικά ανακλά 94

Φ

Φακοί 169
Φακοί: ιδιότητες 143
Φακός: Ιμπν Σαχλ 123
Φανταστικά είδωλα: διδακτική 143
Φατιμίδες 19
Φεγγάρι 31

Πείραμα με το φως του 40
Fermat 160
αρχή 37
Φιλόπονος 2
Φύση της επιστήμης 144
Φύση της ακτινοβολίας όρασης 16
Φυσικοί φιλόσοφοι 29
Φυσιολογική μελέτη όρασης
Φως
 Δευτερεύον και ανάκλαση 81
 Διαδοση του σε πεπερασμένο χρόνο 34
 Ευθύγραμμη διάδοση 38
 Ταχύτητα 37
 Σκεδαζόμενο 31
Φωτεινή δύναμη 29
Φωτεινή θερμότητα 29
Φωτιστική Δύναμη

Φιλόπονος 3
Φωτομετρία 45

X

Χακίμ 19
χάλκινος σωλήνας 84
Χουνάιν Ιμπν Ισχακ 14
Χαρακτηριστικά αντίληψης 58
Χρώμα: θεωρία διάδοσης 81
Χρώματα 32
 Αριστοτέλης 128
 Εξήγηση από Αλ Φαρίσι 138

Ψ

Ψυχολογική θεώρηση όρασης 56
Ψυχοφυσική 57

