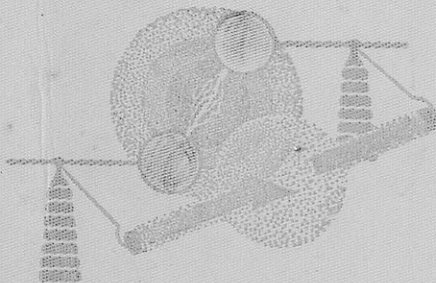


ΑΛΚΙΝΟΥ Ε. ΜΑΖΗ

# Φ Υ Σ Ι Κ Η

ΔΙΑ ΤΗΝ ΣΤ' ΤΑΞΗΝ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΞΙΩΝ ΓΥΜΝΑΣΙΩΝ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ  
ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ 1961









Φ Υ Σ Ι Κ Η

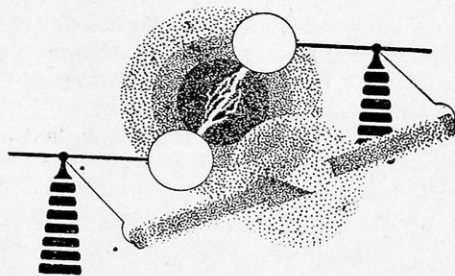


ΑΛΚΙΝΟΟΥ Ε. ΜΑΖΗ

*Μαθηματικά.*

# Φ Υ Σ Ι Κ Η

ΔΙΑ ΤΗΝ ΣΤ' ΤΑΞΙΝ ΤΩΝ ΕΞΑΤΑΞΙΩΝ ΓΥΜΝΑΣΙΩΝ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ  
ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ 1961

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- |                  |   |
|------------------|---|
| ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ Γ.   | Ἐπίτομος Φυσική                               |
| ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ Κ.   | Φυσική ( τόμος II )                           |
| ΜΑΖΗ Α.          | Φυσική ( τόμος II καὶ III )                   |
| ΜΑΖΗ Α.          | Ἡ διάσπασις τοῦ ἀτόμου                        |
| ΠΑΛΛΙΟΛΟΓΟΥ Κ.   | Φυσική ( τόμος II )                           |
| ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Χ. | Ἡ γένεσις τῆς ἐπιστήμης                       |
| ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Χ. | Ὁ Γαλιλαῖος                                   |
| ΧΟΝΔΡΟΥ Δ.       | Φυσική ( τόμος II )                           |
| BOUTARIC A.      | Précis de Physique                            |
| TILLIEUX J.      | Leçons élémentaires de Physique expérimentale |
| FREEMAN I.       | Modern Introductory Physics                   |
| WHITE H.         | Modern Physics                                |
| WESTPHAL W.      | Physik  |
| NOSTRAND VAN     | Scientific Encyclopedia                       |
| ROUSSEAU P.      | La conquête de la science                     |
| ROUSSEAU P.      | La Science du XXe siècle                      |
| ROUSSEAU P.      | Histoire de la science                        |
| SIMONET R.       | Les derniers progrès de la Physique           |

# ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

### Ο Π Τ Ι Κ Η

#### ΔΙΑΔΟΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Σελίς

1. 'Ορισμοί.— 2. Εὐθύγραμμος διάδοσις τοῦ φωτός.— 3. Φωτεινὴ ἀκτίς. Φωτεινὰ δέσμαι.— 4. Ἀποτελέσματα τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός .....	11 — 15
--	---------

#### ΤΑΧΥΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΕΩΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

5. Ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός.— 6. Μέτρησις τῆς ταχύτητος διαδόσεως τοῦ φωτός .....	15 — 18
--	---------

#### ΑΝΑΚΛΑΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

7. Διάχυσις καὶ ἀνάκλασις.— 8. 'Ορισμοί.— 9. Νόμοι τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός .....	19 — 21
---	---------

##### Α'. ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

10. Ἐπίπεδον κάτοπτρον.— 11. Περιστροφή ἐπίπεδου κατόπτρου.— 12. Ἐπίπεδα κάτοπτρα σχηματίζοντα γωνίαν.— 13. Ἀρχὴ τῆς ἀντιστροφῆς πορείας τοῦ φωτός.....	21 — 25
---	---------

##### Β'. ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

14. 'Ορισμοί .....	25
--------------------	----

##### α) Κοίλα σφαιρικὰ κάτοπτρα

15. Εἶδωλον φωτεινοῦ σημείου.— 16. Κυρία ἐστία.— 17. Ἐστιακὸν ἐπίπεδον.— 18. Πορεία μερικῶν ἀκτίνων καὶ θέσις τοῦ εἰδώλου.— 19. Εἶδωλον ἀντικειμένου.— 20. Πραγματικὸν ἢ φανταστικὸν εἶδωλον ἀντικειμένου.— 21. Ἀνακεφαλαίωσις διὰ τὰ κοίλα κάτοπτρα ..	26 — 32
---	---------

##### β) Κυρτὰ σφαιρικὰ κάτοπτρα

22. Κυρία ἐστία καὶ ἐστιακὸν ἐπίπεδον.— 23. Εἶδωλον ἀντικειμένου.— 24. Γενικοὶ τύποι τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων.— 25. Σφάλματα τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων .....	32 — 38
---	---------

#### ΔΙΑΘΛΑΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

26. 'Ορισμός.— 27. Νόμοι τῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός.— 28. Ὀρική γωνία.— 29. Ἀπόλυτος καὶ σχετικὸς δείκτης διαθλάσεως.— 30. Ὀλικὴ ἀνάκλασις.— 31. Ἀποτελέσματα τῆς διαθλάσεως .....	38 — 45
--	---------

#### ΠΛΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΙΣΜΑΤΑ

32. Διάθλασις διὰ πλακὸς μετὰ παραλλήλους ἕδρας.— 33. Διάθλασις διὰ πρίσματος.— 34. Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς.— 35. Πρίσμα ὀλικῆς ἀνακλάσεως.....	45 — 52
--	---------

#### ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

36. 'Ορισμοί.— 37. Συγκλίνοντες καὶ ἀποκλίνοντες φακοί.— 38. Ὀπτικὸν κέντρον .....	52 — 54
--	---------

##### Α'. Συγκλίνοντες φακοί

39. Κυρία ἐστία. Ἐστιακὴ ἀπόστασις.— 40. Ἐστιακὸν ἐπίπε-	
--	--

δον.— 41. Πορεία μερικῶν ἀκτίνων διερχομένων διὰ συγκλίνοντος φακοῦ.— 42. Εἶδωλον ἀντικειμένου.— 43. Εἶδωλον σχηματιζόμενον ὑπὸ συγκλίνοντος φακοῦ.— 44. Ἀνακεφαλαίωσις διὰ τοὺς συγκλίνοντας φακοὺς .....	Σελίς 55 — 59
<i>Β'. Ἀποκλίνοντες φακοί</i>	
45. Κυρία ἔστις.— 46. Εἶδωλον ἀντικειμένου.— 47. Γενικοὶ τύποι τῶν φακῶν .....	59 — 62
<b>Γ'. ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ</b>	
48. Ἴσχύς φακοῦ.— 49. Ὅμοαξονικὸν σύστημα φακῶν.— 50. Σφάλματα τῶν φακῶν .....	63 — 66
<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ</b>	
51. Κατασκευὴ τοῦ ὀφθαλμοῦ.— 52. Κανονικὸς ὀφθαλμός. Προσαρμογὴ.— 53. Πρεσβυωπία.— 54. Μύωψ καὶ ὑπερμέτρωψ ὀφθαλμός. 55. Φαινομένη διάμετρος τοῦ ἀντικειμένου.— 56. Διόφθαλμος ὄρασις. Στερεοσκοπία.— 57. Διάρκεια τῆς ἐντυπώσεως .....	66 — 71
<b>ΟΠΤΙΚΑ ὈΡΓΑΝΑ</b>	
58. Ὀπτικά ὄργανα.....	72
<b>Α'. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ</b>	
59. Ἄπλοῦν μικροσκόπιον.— 60. Μεγέθυνσις τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου.— 61. Σύνθετον μικροσκόπιον.— 62. Διαχωριστικὴ ἰκανότης τοῦ μικροσκοπίου.— 63. Μικροφωτογραφία.— 64. Κατασκευὴ τοῦ ἀντικειμενικοῦ καὶ τοῦ προσοφθαλμίου φακοῦ .....	72 — 78
<b>Β'. ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ</b>	
65. Διοπτρικά καὶ κατοπτρικά τηλεσκόπια.— 66. Ἀστρονομικὴ διόπτρα.— 67. Διόπτρα τοῦ Γαλιλαίου.— 68. Διόπτρα τῶν ἐπιγειῶν.— 69. Πρισματικὴ διόπτρα.— 70. Κατοπτρικὸν τηλεσκόπιον .....	78 — 83
<b>Γ'. ΣΥΝΗΘΗ ΟΠΤΙΚΑ ὈΡΓΑΝΑ</b>	
71. Περισκόπιον.— 72. Φωτογραφικὴ μηχανή.— 73. Προβολεὺς ..	84 — 87
<b>ΑΝΑΛΥΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ</b>	
74. Ἀνάλυσις τοῦ φωτὸς διὰ πρίσματος.— 75. Ἰδιότητες τῶν ἀκτινοβολιῶν τοῦ φάσματος.— 76. Συμπληρωματικὰ χρώματα.— 77. Φάσμα τοῦ ἡλιακοῦ φωτός.— 78. Φασματοσκόπιον.— 79. Οὐράνιον τόξον .....	87 — 92
<b>ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ</b>	
80. Φωτεινὴ ἐνέργεια.— 81. Μονὰς τῶν στερεῶν γωνιῶν.— 82. Φωτομετρικὰ μεγέθη.— 83. Φωτομετρικαὶ μονάδες.— 84. Νόμος τῆς φωτομετρίας.— 85. Μέτρησις τῆς ἐντάσεως φωτεινῶν πηγῶν.— 86. Φωτόμετρον.— 87. Ἀπόδοσις φωτεινῆς πηγῆς .....	92 — 100
<b>ΤΟ ΦΩΣ ὩΣ ΚΥΜΑΝΣΕΙΣ</b>	
88. Θεωρία περὶ τῆς φύσεως τοῦ φωτός.— 89. Θεωρία τῆς ἐκπομπῆς.— 90. Θεωρία τῶν κυμάνσεων.— 91. Συμβολὴ τοῦ φωτός.— 92. Παράθλασις τοῦ φωτός.— 93. Μέτρησις τοῦ μήκους κύματος	



τοῦ φωτός.— 94. Πόλωσις τοῦ φωτός.— 95. Ἑρμηνεία τῆς πολώσεως τοῦ φωτός.— 96. Διπλῆ διάθλασις τοῦ φωτός.— 97. Ἑρμηνεία τῆς διπλῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός.— 98. Πολωτικαὶ συσκευαὶ .....	Σελίς 100 — 113
---	--------------------

## ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΥΣ

## Α'. ΕΙΔΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ

99. Φάσματα ἐκπομπῆς.— 100. Φάσματα ἀπορροφήσεως.— 101. Φάσματα ἀπορροφήσεως τῶν διαπύρων ἀτμῶν.— 102. Τὸ ἡλιακὸν φῶς.— 103. Φασματοσκοπικὴ ἀνάλυσις.— 104. Φασματοσκοπικὴ ἔρευνα τῶν οὐρανίων σωμάτων .....	113 — 118
--	-----------

## Β'. ΑΟΡΑΤΟΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΙ

105. Ὑπέρυθροι ἀκτινοβολίαι.— 106. Ἀπορρόφησις τῶν υπέρυθρων ἀκτινοβολιῶν.— 107. Ὑπεριώδεις ἀκτινοβολίαι.— 108. Ἀπορρόφησις τῶν υπεριωδῶν ἀκτινοβολιῶν.— 109. Φθορισμός.— 110. Φωσφορισμός.— 111. Φωταύγεια.— 112. Ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας τοῦ σώματος.— 113. Θεωρία τῶν κβάντα.— 114. Φύσις τοῦ φωτός..	118 — 124
---	-----------

## Γ'. ΧΡΩΜΑ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ—ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

115. Τὸ χρῶμα τῶν σωμάτων.— 116. Τὸ κυανοῦν χρῶμα τοῦ οὐρανοῦ.— 117. Φωτογραφία.....	124 — 128
--	-----------

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΝ

## ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΩΝ

118. Θεμελιώδεις ἔννοιαι.— 119. Πόλοι τοῦ μαγνήτου.— 120. Ἀμοιβαία ἐπίδρασις τῶν πόλων.— 121. Μαγνήτισις ἐξ ἐπαγωγῆς.— 122. Στοιχειώδεις μαγνήται.— 123. Νόμος τοῦ Coulomb.— 124. Μονὰς ποσότητος μαγνητισμοῦ .....	129 — 134
---	-----------

## ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΝ ΠΕΔΙΟΝ

125. Μαγνητικὸν φάσμα.— 126. Μαγνητικὸν πεδίου.— 127. Διεύθυνσις καὶ ἔντασις τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.— 128. Μαγνητικὴ ροή ...	134 — 138
---	-----------

## ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΝ ΠΕΔΙΟΝ ΤΗΣ ΓΗΣ

129. Μαγνητικὴ ἀπόκλισις.— 130. Μαγνητικὴ ἔγκλισις.— 131. Γήινον μαγνητικὸν πεδίου.— 132. Ἐντασις τοῦ γήινου μαγνητικοῦ πεδίου.— 133. Ναυτικὴ πυξίς .....	138 — 144
---	-----------

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟΝ

## ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

## ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΝ ΦΟΡΤΙΟΝ

134. Θεμελιώδη φαινόμενα.— 135. Καλοὶ καὶ κακοὶ ἀγωγοί.— 136. Ἠλεκτροσκόπιον.— 137. Νόμος τοῦ Coulomb.— 138. Μονάδες ἠλεκτρικοῦ φορτίου.— 139. Διανομὴ τοῦ ἠλεκτρικοῦ φορτίου .....	145 — 149
---	-----------



### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΝ ΠΕΔΙΟΝ

140. Σπουδή τοῦ ἠλεκτρικοῦ πεδίου.— 141. Ἀγωγὸς ἐντὸς ἠλεκτρικοῦ πεδίου.— 142. Δυναμικόν.— 143. Διαφορὰ δυναμικοῦ.— 144. Μονάδες δυναμικοῦ.— 145. Σχέσεις μεταξύ τοῦ φορτίου καὶ τοῦ δυναμικοῦ τοῦ ἀγωγοῦ.— 146. Δυναμικὸν καὶ χωρητικότης σφαιρικοῦ ἀγωγοῦ.— 147. Ἐνέργεια φορτισμένου ἀγωγοῦ . . . . . 149 — 158

Σελίς

### ΦΥΣΙΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

148. Στοιχειῶδες ἠλεκτρικὸν φορτίον.— 149. Ἐμφάνις ἠλεκτρικῶν φορτίων.— 150. Ἐξήγησις τῆς ἠλεκτρίσεως τῶν σωμάτων. . . . . 158 — 161

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΝ ΡΕΥΜΑ

151. Παραγωγή ροῆς ἠλεκτρονίων.— 152. Εἶδη γεννητριῶν.— 153. Δράσις τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος.— 154. Ἐντάσις τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος.— 155. Κύκλωμα . . . . . 161 — 167

### ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ OHM

156. Μέτρησις τῆς διαφορᾶς δυναμικοῦ.— 157. Νόμος τοῦ Ohm διὰ τμήμα ἀγωγοῦ.— 158. Μονὰς ἀντιστάσεως.— 159. Ἀντίστασις ἀγωγοῦ.— 160. Μεταβολὴ τῆς ἀντιστάσεως μετὰ τῆς θερμοκρασίας.— 161. Ἀγωγοὶ σταθερᾶς ἀντιστάσεως.— 162. Κύτταρον σελήνιου.— 163. Συνδεσμολογία ἀντιστάσεων.— 164. Ροοστάται.— 165. Μέτρησις ἀντιστάσεως . . . . . 167 — 174

### ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

166. Ἐνέργεια καὶ ἰσχὺς τοῦ ρεύματος.— 167. Νόμος τοῦ Joule.— 168. Ἐφαρμογαὶ τῶν θερμικῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ρεύματος. . . . . 175 — 179

### ΤΟ ΚΛΕΙΣΤΟΝ ΚΥΚΛΩΜΑ

169. Ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμις.— 170. Νόμος τοῦ Ohm διὰ κλειστὸν κύκλωμα.— 171. Διαφορὰ δυναμικοῦ μεταξύ τῶν πόλων τῆς γεννητρίας.— 172. Ἀντληκτρεγερτικὴ δύναμις.— 173. Κύκλωμα μὲ γεννήτριαν καὶ ἀποδέκτην.— 173α. Ἀποδέκτης εἰς τμήμα κυκλώματος.— 174. Κύκλωμα μὲ συστοιχίαν γεννητριῶν . . . . . 179 — 186

### ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΙΣ

175. Ἡλεκτρολύται.— 176. Παραδείγματα ἠλεκτρολύσεων.— 177. Νόμοι τῆς ἠλεκτρολύσεως.— 178. Ἐφαρμογαὶ τῆς ἠλεκτρολύσεως.— 179. Πόλωσις τῶν ἠλεκτροδίων τοῦ βολταμέτρου.— 180. Συσσωρευταί.— 181. Ἡλεκτρικὰ στοιχεῖα.— 182. Θερμομηλεκτρικὸν στοιχεῖον . . . . . 186 — 196

### ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

183. Μαγνητικὸν πεδίου ρεύματος.— 184. Μαγνητικὸν πεδίου εὐθυγράμμου ρεύματος.— 185. Μαγνητικὸν πεδίου σωληνοειδοῦς.— 186. Προέλευσις τῶν μαγνητικῶν πεδίων.— 187. Ἡλεκτρομαγνητῆς.— 188. Ἐφαρμογαὶ τῶν ἠλεκτρομαγνητῶν.— 189. Ἐπίδρασις μαγνητικοῦ πεδίου ἐπὶ τοῦ ρεύματος.— 190. Ἡλεκτρικὸς κινητήρ.—

	Σελίς
191. Όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων .....	196 - 209
<b>ΕΠΑΓΩΓΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ</b>	
192. Παραγωγή των επαγωγικών ρευμάτων.— 193. Τρόποι παραγωγής επαγωγικών ρευμάτων.— 194. Φορά του επαγωγικού ρεύματος.— 195. Έπαγωγική ηλεκτρεγερτική δύναμις.— 196. Ρεύματα Foucault.— 197. Αύτεπαγωγή .....	209 - 216
<b>ΓΕΝΗΤΡΙΑΙ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ</b>	
198. Έλεκτρικα μηχαναί.— 199. Γενήτριαι συνεχούς ρεύματος.— 200. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.— 201. Μειονέτημα του συνεχούς ρεύματος .....	216 - 220
<b>ΓΕΝΗΤΡΙΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ</b>	
202. Έναλλακτῆρες.— 203. Κινητήρες έναλλασσομένου ρεύματος.— 204. Έναλλασσόμενον ρεύμα.— 205. Ένεργός έντασις και ένεργός τάσις.— 206. Τριφασικά ρεύματα .....	220 - 228
<b>ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΑΙ</b>	
207. Μετασχηματισταί.— 208. Έφαρμογαί των μετασχηματιστών.— 209. Έπαγωγικόν πηνίον .....	228 - 232
<b>ΠΥΚΝΩΤΑΙ</b>	
210. Πυκνωταί.— 211. Χωρητικότης πυκνωτού.— 212. Ένέργεια πυκνωτού.— 213. Σύνδεσις πυκνωτών.— 214. Μορφαί πυκνωτών.— 215. Όμογενές ηλεκτρικόν πεδίον .....	232 - 238
<b>ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ</b>	
216. Έλεκτρικαί έκκνώσεις έντός άραιών αέριων.— 217. Λαμπτήρες με άραιον άέριον.— 218. Καθοδικαί άκτίνες.— 219. Φύσις των καθοδικών άκτίων.— 220. Παραγωγή των καθοδικών άκτίων. .	238 - 244
<b>ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΣ ΕΙΣ ΤΟ ΚΕΝΟΝ</b>	
221. Θερμική έκπομπή ηλεκτρονίων.— 222. Άκτίνες Röntgen.— 223. Φύσις των άκτίων Röntgen.— 224. Σωλήν Braun.— 225. Τρόδος λυχνία.— 226. Φωτοηλεκτρικόν φαινόμενον.— 227. Έφαρμογή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Φωτοκύτταρον.— 228. Έλεκτρονικόν μικροσκόπιον .....	244 - 252
<b>ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣ</b>	
229. Ίονισμός του άέρος.— 230. Διαρκής ίονισμός του άέρος.— 231. Τò γήινον ηλεκτρικόν πεδίον.— 232. Πολικόν σέλας .....	252 - 256
<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΑΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ</b>	
233. Έλεκτρικαί ταλαντώσεις.— 234. Άποσβεννυμέναί ηλεκτρικαί ταλαντώσεις.— 235. Άμείωτοι ηλεκτρικαί ταλαντώσεις.— 236. Πειραματική άπόδειξις των ηλεκτρικών ταλαντώσεων.— 237. Διέγερσις ηλεκτρικών ταλαντώσεων διά συντονισμού .....	256 - 261

### ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

238. Διεγέρτης τοῦ Hertz.— 239. Ἡλεκτρομαγνητικὰ κύματα.—	Σελίς
240. Μῆκος κύματος τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων.— 241. Ἡλε-	
κτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία.— 242. Φάσμα τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς	
ἀκτινοβολίας .....	261 — 265

### ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

243. Γενικὰ ἀρχαί.— 244. Πομπὸς ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμά-	
των.— 245. Δέκται ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων.— 246. Ραδιόφω-	
νον.— 247. Διάδοσις τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων.— 248. Εἶδη	
κυμάτων.— 249. Ραντάρ.— 250. Τηλεόρασις καὶ τηλεφωνογραφία...	266 — 274

### ΑΠΟΤΥΠΩΣΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΗΧΩΝ

251. Ὅμιλῶν κινηματογράφος.— 252. Μαγνητόφωνον.— 253. Ἄ-	
ναπαραγωγὸς ἤχου .....	274 — 276

## Μ Ε Ρ Ο Σ Τ Ε Τ Α Ρ Τ Ο Ν

### ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

#### ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

254. Ραδιενεργὰ στοιχεῖα.— 255. Φύσις τῆς ἀκτινοβολίας τῶν	
ραδιενεργῶν στοιχείων.— 256. Φυσικὴ μεταστοιχείωσις.— 257. Χρό-	
νος ὑποδιπλασιασμοῦ.— 258. Αἱ τρεῖς σειραὶ τῶν ραδιενεργῶν στοι-	
χείων .....	277 — 280

#### ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

259. Ἀτομικὸς ἀριθμὸς στοιχείου.— 260. Ἡλεκτρικὸν φορτίον	
τοῦ ἀτομικοῦ πυρήνος.— 261. Μονὰς ἀτομικῆς μάζης.— 262. Ἀτο-	
μικὴ μᾶζα καὶ μαζικὸς ἀριθμὸς.— 263. Συμβολικὴ γραφὴ τῶν ἀτο-	
μικῶν πυρήνων.— 264. Συστατικὰ τοῦ ἀτομικοῦ πυρήνος.— 265.	
Ἀριθμὸς τῶν πρωτονίων καὶ τῶν νετρονίων τοῦ πυρήνος.— 266. Ἰ-	
σότοπα στοιχεῖα.— 267. Ποζιτρόνιον .....	280 — 287

#### ΠΥΡΗΝΙΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

268. Τεχνητὴ μεταστοιχείωσις.— 269. Διάσπασις τοῦ πυρήνος τοῦ	
οὐρανίου.— 270. Προέλευσις τῆς πυρηνικῆς ἐνεργείας.— 271. Προέ-	
λευσις τῆς ἠλιακῆς ἐνεργείας.— 272. Ἀτομικὸς ἀντιδραστήρ.— 273.	
Ἵπερουράνια στοιχεῖα.— 274. Τὰ ὑποατομικὰ σωματίδια.— 275.	
Κοσμικαὶ ἀκτίνες.— 276. Ἐξαγόμενα τῶν μετρήσεων ἐπὶ τῶν κο-	
σμικῶν ἀκτίνων.— 277. Ἡ ἀντιύλη .....	287 — 300

#### Η ΕΞΕΛΙΞΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Ἡ ἐξέλιξις τῆς ὀπτικῆς. Ἡ ἐξέλιξις τοῦ ἠλεκτρισμοῦ .....	301 — 314
--	-----------

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

# Ο Π Τ Ι Κ Η

## ΔΙΑΔΟΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

1. Ὅρισμοί.— Καλοῦμεν **φῶς** τὸ αἴτιον, τὸ ὁποῖον διεγείρει τὸ αἰσθητήριον τῆς ὀράσεως. Ἐν σῶμα εἶναι ὀρατόν, ἔαν στέλλῃ φῶς εἰς τὸν ὀφθαλμόν μας. Μερικὰ σώματα ἐκπέμπουν ἀφ' ἑαυτῶν φῶς καὶ διὰ τοῦτο ὀνομάζονται **αὐτόφωτα** σώματα ἢ **φωτεινὰ πηγὰ** (ὁ Ἥλιος, οἱ ἀπλανεῖς ἀστέρες, αἱ φλόγες κ.ἄ. ).

Ἐν μὴ αὐτόφωτον σῶμα γίνεται ὀρατόν, ὅταν προσπέσῃ ἐπ' αὐτοῦ τὸ φῶς μιᾶς φωτεινῆς πηγῆς καὶ μέρος τοῦ φωτὸς τούτου ἐκπεμφθῆ ὑπὸ τοῦ σώματος πρὸς ἕλας τὰς κατευθύνσεις· τὰ σώματα αὐτὰ ὀνομάζονται **ἑτερόφωτα** σώματα ( ἡ Σελήνη, οἱ πλανῆται, τὰ περισσότερα ἀπὸ τὰ πέριξ ἡμῶν σώματα ). Τὸ φῶς, τὸ ὁποῖον ἐκπέμπουν αἱ διαφοροὶ φωτεινὰ πηγὰ ( φυσικαὶ καὶ τεχνηταὶ ), εἶναι πάντοτε τῆς αὐτῆς φύσεως καὶ ἀκολουθεῖ τοὺς ἰδίους νόμους.

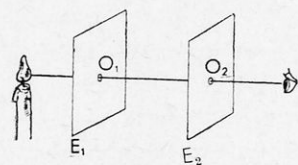
Μερικὰ σώματα ἀφ ἡ νο υ ν τὸ φῶς νὰ διέλθῃ διὰ μέσου αὐτῶν καὶ καλοῦνται **διαφανῆ** σώματα ( ὕαλος, ἀήρ, ὕδωρ εἰς μικρὸν πάχος ). Ἀντιθέτως πολλὰ σώματα δὲν ἀφ ἡ νο υ ν τὸ φῶς νὰ διέλθῃ διὰ μέσου αὐτῶν καὶ καλοῦνται **ἀδιαφανῆ** σώματα ( ξύλον, πλάξ μετάλλου κ.ἄ. ). Τέλος μερικὰ σώματα ἀφ ἡ νο υ ν τὸ φῶς νὰ διέρχεται, χωρὶς ὅμως νὰ εἶναι δυνατὸν νὰ διακρίνωμεν διὰ μέσου αὐτῶν τὸ σχῆμα τῶν φωτεινῶν ἀντικειμένων· τὰ σώματα αὐτὰ καλοῦνται **ἡμιδιαφανῆ** ( γαλακτόχρους ὕαλος ). Ἡ ἀνωτέρω διάκρισις τῶν σωμάτων εἰς διαφανῆ, ἀδιαφανῆ καὶ ἡμιδιαφανῆ δὲν εἶναι ἀπόλυτος. Διότι τὸ ὕδωρ, ὅταν σχηματίξῃ στρῶμα μεγάλου πάχους, εἶναι ἀδιαφανές· ἀντιθέτως, πολὺ λεπτὸν φύλλον χρυσοῦ εἶναι ἡμιδιαφανές.

Ὅλαι αἱ συνήθεις φωτεινὰ πηγὰ ἔχουν αἰσθητὰς διαστάσεις. Κατὰ τὴν σπουδῆν τῶν ὀπτικῶν φαινομένων ἀναγκαζόμεθα εἰς πολλὰς περιπτώσεις νὰ ὑποθέσωμεν, χάριν ἀπλότητος, ὅτι ἡ φωτεινὴ πηγὴ δὲν ἔχει διαστάσεις· τότε λέγομεν ὅτι ἡ φωτεινὴ πηγὴ εἶναι **φωτεινὸν σημεῖον**. Ἐν φωτεινὸν σημεῖον ἐκπέμπει φωτεινὰς ἀκτῖνας πρὸς ἕλας τὰς διευθύνσεις.

2. Εὐθύγραμμος διάδοσις τοῦ φωτός.— Διάφορα φαινόμενα τῆς καθημερινῆς ζωῆς ( π.χ. ὁ σχηματισμὸς τῆς σκιάς ἐνὸς σώματος ) μᾶς δίδουν τὴν ἐντύπωσιν ὅτι τὸ φῶς, τὸ ὁποῖον ἐκπέμπεται ἀπὸ μίαν φωτεινὴν πηγὴν διαδίδεται κατ' εὐθεΐαν γραμμὴν. Ἡ συστηματικὴ ἔρευνα πολλῶν ὀπτικῶν φαινομένων ἀπέδειξε τὸν ἀκόλουθον νόμον τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός:

Ἐντὸς ὁμογενοῦς καὶ ἰσοτρόπου μέσου τὸ φῶς διαδίδεται εὐθυγράμμως.

Ἡ εὐθύγραμμος διάδοσις τοῦ φωτός ἐπαληθεύεται κατὰ προσέγγισιν μὲ τὸ ἐξῆς ἀπλούστατον πείραμα ( σχ. 1 ).

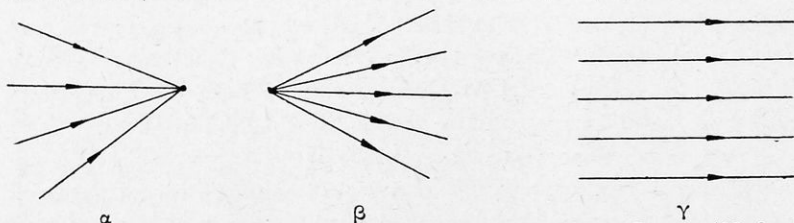


Σχ. 1. Ἀποδείξεις τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός.

Λαμβάνομεν δύο ἀδιαφανῆ διαφράγματα  $E_1$  καὶ  $E_2$ , ἕκαστον τῶν ὁποίων φέρει μικρὰν κυκλικὴν ὄπην. Ἐν λευκὸν νῆμα διέρχεται διὰ τῶν δύο ὀπῶν  $O_1$  καὶ  $O_2$ . Ὅπισθεν τοῦ διαφράγματος  $E_1$  τοποθετοῦμεν φωτεινὴν πηγὴν, ὀπισθεν δὲ τοῦ διαφράγματος  $E_2$  φέρομεν τὸν ὀφθαλμὸν μας. Ὅταν ἐπιτύχωμεν νὰ βλέπωμεν τὴν πηγὴν διὰ μέσου τῶν ὀπῶν  $O_1$  καὶ  $O_2$ , τότε τείνομεν τὸ νῆμα.

Παρατηροῦμεν ὅτι αἱ δύο ὀπαὶ  $O_1$ ,  $O_2$  καὶ ὁ ὀφθαλμὸς μας εὐρίσκονται ἐπὶ τῆς αὐτῆς εὐθείας γραμμῆς, ἐπὶ πλέον δὲ παρατηροῦμεν ὅτι τὸ νῆμα φωτίζεται καθ' ὅλον τὸ μῆκος του.

3. Φωτεινὴ ἀκτίς. Φωτειναὶ δέσμαι.— Ἡ εὐθεῖα γραμμὴ, κατὰ τὴν ὁποίαν διαδίδεται τὸ φῶς, καλεῖται **φωτεινὴ ἀκτίς**. Αἱ φωτειναὶ ἀκτῖνες ἐκπορεύονται ἀπὸ τὴν φωτεινὴν πηγὴν ὁμοιομόρφως πρὸς ὅλας



Σχ. 2. Εἶδη φωτεινῶν δεσμῶν. ( α συγκλίνουσα, β ἀποκλίνουσα, γ παράλληλος )

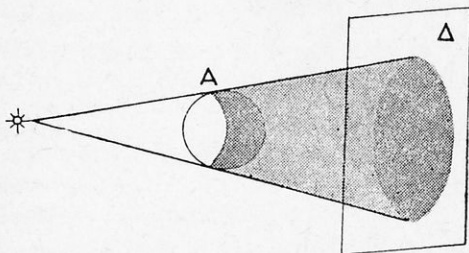
τάς κατευθύνσεις. Πολλαὶ ἀκτῖνες ἀποτελοῦν μίαν **φωτεινὴν δέσμη**. Ἐὰν ὅλαι αἱ ἀκτῖνες μᾶς φωτεινῆς δέσμης διέρχωνται δι' ἑνὸς σημείου,



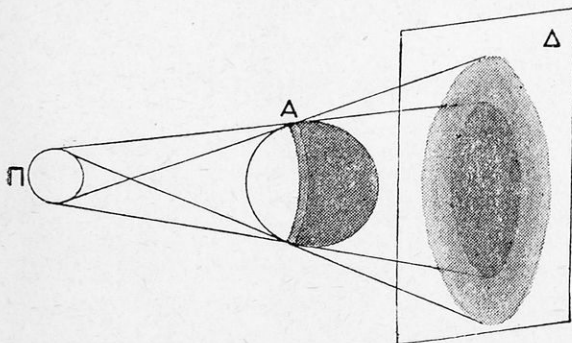
τότε ή μὲν δέσμη καλεῖται *στιγματική*, τὸ δὲ σημεῖον τοῦτο καλεῖται *ἐστία* τῆς δέσμης. Μία φωτεινὴ δέσμη δύναται νὰ εἶναι *συγκλίνουσα*, *ἀποκλίνουσα* ἢ *παράλληλος* (σχ. 2). Πολλὰ ὀπτικά φαινόμενα εἶναι δυνατόν νὰ ἐξετασθοῦν χωρὶς νὰ εἶναι ἀνάγκη νὰ γνωρίζωμεν τὴν φύσιν τοῦ φωτός. Εἰς τὰ φαινόμενα αὐτὰ αἱ φωτεινὰ ἀκτῖνες θεωροῦνται ὡς γεωμετρικαὶ ἀκτῖνες, ἤτοι φαίνεται ἰσχύων ὁ νόμος τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός. Ἡ τοιαύτη ἔρευνα τῶν ὀπτικῶν φαινομένων ἀποτελεῖ τὴν **Γεωμετρικὴν Ὀπτικὴν**. Ὑπάρχουν ὅμως καὶ ὀπτικά φαινόμενα, εἰς τὰ ὁποῖα ὁ νόμος τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός δὲν ἰσχύει. Ἡ ἔρευνα τῶν φαινομένων τούτων ἀποτελεῖ τὴν **Φυσικὴν Ὀπτικὴν**.

4. Ἀποτελέσματα τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός. —

α) Σκιά. Ἐὰν εἰς τὴν πορείαν τῶν φωτεινῶν ἀκτῖνων παρεμβληθῇ ἓν ἀδιαφανὲς σῶμα, τότε ὀπισθεν τοῦ σώματος ὑπάρχει χῶρος, ἐντὸς τοῦ ὁποίου δὲν εἰσέρχεται φῶς· ὁ χῶρος οὗτος καλεῖται **σκιά**. Ἐὰν ἡ φωτεινὴ πηγὴ εἶναι *σημεῖον* (σχ. 3), τότε ἡ μετάβασις ἀπὸ τὴν σκιερὰν εἰς τὴν φωτεινὴν



Σχ. 3. Σχηματισμὸς σκιάς.

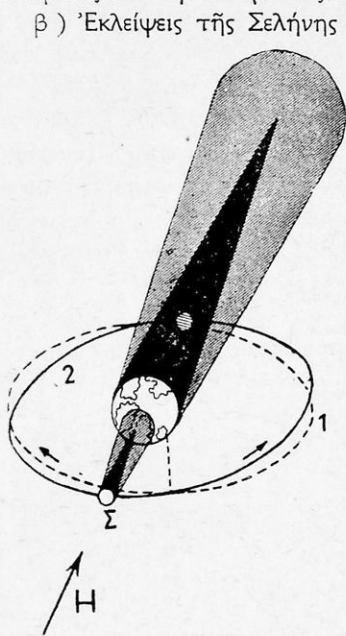


Σχ. 4. Σχηματισμὸς σκιάς καὶ παρασκιάς.

περιοχὴν γίνεται ἀποτόμως. Ἐὰν ὅμως ἡ φωτεινὴ πηγὴ ἔχη *διαστάσεις* (σχ. 4), τότε ὀπισθεν τοῦ σώματος σχηματίζεται ἀφ' ἑνὸς μὲν ἡ **σκιά**, εἰς τὴν ὁποίαν δὲν εἰσέρχεται καμμία φωτεινὴ ἀκτίς, καὶ ἀφ' ἑτέρου ἡ **παρασκιά**, ἤτοι μία περι-

οχή, ἐντὸς τῆς ὁποίας εἰσέρχονται φωτεινὰ ἀκτῖνες προερχόμεναι ἀπὸ

ὠρισμένα μόνον σημεῖα τῆς φωτεινῆς πηγῆς. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ μετάβασις ἀπὸ τὴν σκιερὰν εἰς τὴν φωτεινὴν περιοχὴν γίνεται βαθμιαίως.

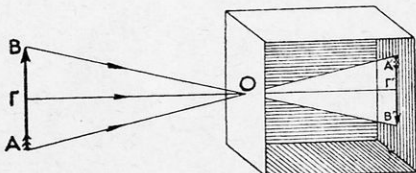


Σχ. 5. Ἐξήγησις τῶν ἐκλείψεων τοῦ Ἡλίου καὶ τῆς Σελήνης.

(1 ἐκλειπτική, 2 τροχιά Σελήνης).

παρεμβληθῆ μεταξύ τοῦ Ἡλίου καὶ τῆς Γῆς, ὁπότε ἡ σκιά τῆς Σελήνης πίπτει ἐπὶ ἐνὸς τμήματος τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς. Οἱ τόποι τῆς Γῆς οἱ εὐρισκόμενοι ἐντὸς τῆς σκιάς τῆς Σελήνης θὰ ἔχουν ὀλιγὴν ἢ ἐκλείψιν τοῦ Ἡλίου, οἱ δὲ τόποι, οἱ ὁποῖοι θὰ εὐρεθοῦν ἐντὸς τῆς παρασκιάς τῆς Σελήνης, θὰ ἔχουν μερικὴν ἢ ἐκλείψιν τοῦ Ἡλίου.

γ) Σκοτεινὸς θάλαμος. Ὁ σκοτεινὸς θάλαμος εἶναι κλειστὸν κιβώτιον, φέρον μικρὰν ὀπὴν  $O$  (σχ. 6). Ἐὰν ἔμπροσθεν τῆς ὀπῆς τοποθετηθῆ φωτεινὸν ἀντικείμενον  $AB$ , τότε ἐπὶ τῆς ἀπέναντι τῆς ὀπῆς ἐπιφανείας σχηματίζεται ἀνεστραμ-



Σχ. 6. Σκοτεινὸς θάλαμος.



μένον τὸ εἶδωλον Α'Β' τοῦ ἀντικειμένου. Ὁ σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου τούτου εἶναι συνέπεια τῆς εὐθυγράμμου διαδόσεως τοῦ φωτός. Τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου Α'Β' προσδιορίζεται ἀπὸ τὴν σχέσιν :

$$\frac{Α'Β'}{ΑΒ} = \frac{ΟΓ'}{ΟΓ}$$

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Φωτεινὴ πηγὴ, ἡ ὁποία θεωρεῖται ὡς σημεῖον, εὐρίσκεται 5 m ἄνωθεν τοῦ ἐδάφους. Πόσον εἶναι τὸ μῆκος τῆς σκιάς, τὴν ὁποίαν ρίπτει ἐπὶ τοῦ ἐδάφους κατακόρυφος ράβδος ὕψους 2 m, ἐὰν ἡ ἀπόστασις τῆς ράβδου ἀπὸ τὴν κατακόρυφον τὴν διερχομένην διὰ τῆς φωτεινῆς πηγῆς εἶναι 3 m;

2. Δύο σφαῖραι Α καὶ Α' ἔχουν ἀντιστοίχως ἀκτῖνας Ρ καὶ ρ, ἡ δὲ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν κέντρων των Ο καὶ Ο' εἶναι δ. Ἡ μεγαλύτερα σφαῖρα Α εἶναι φωτεινὴ πηγὴ, ἡ δὲ μικρότερα σφαῖρα Α' εἶναι ἀδιαφανής. Νὰ εὑρεθῇ τὸ μῆκος τοῦ σκιεροῦ κώνου, ὁ ὁποῖος σχηματίζεται ὀπισθεν τῆς σφαίρας Α'.

Ἐφαρμογὴ : Ρ = 108 ρ καὶ δ = 23 240 ρ

3. Δύο ἴσαι σφαῖραι Α καὶ Α' ἔχουν ἀκτῖνα ρ, ἡ δὲ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν δύο κέντρων των Ο καὶ Ο' εἶναι δ. Ἡ σφαῖρα Α εἶναι φωτεινὴ πηγὴ, ἡ δὲ σφαῖρα Α' εἶναι ἀδιαφανής. Ὅπισθεν τῆς σφαίρας Α' τοποθετεῖται διάφραγμα καθέτως πρὸς τὴν εὐθείαν ΟΟ', καὶ εἰς ἀπόστασιν ε ἀπὸ τὸ κέντρον Ο' τῆς ἀδιαφανοῦς σφαίρας. Νὰ εὑρεθοῦν αἱ ἀκτῖνες τῶν κύκλων τῆς σκιάς καὶ τῆς παρασκιάς, οἱ ὁποῖοι σχηματίζονται ἐπὶ τοῦ διαφράγματος.

Ἐφαρμογὴ : ρ = 10 cm, δ = 40 cm καὶ ε = 20 cm

4. Σκοτεινὸς θάλαμος ἔχει σχῆμα κύβου ἀκμῆς 50 cm. Εἰς τὸ κέντρον τῆς μιᾶς κατακόρυφου ἕδρας του ὑπάρχει μικρὰ ὀπή. Ἐπὶ τῆς ἕδρας, τῆς εὑρισκομένης ἀπέναντι τῆς ὀπῆς, λαμβάνομεν τὸ εἶδωλον ἑνὸς ἀντικειμένου ἔχοντος ὕψος 300 m. Ἐὰν τὸ μῆκος τοῦ εἰδώλου εἶναι 3 cm, πόση εἶναι ἡ ἀπόστασις τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸν τόπον τῆς παρατηρήσεως ;

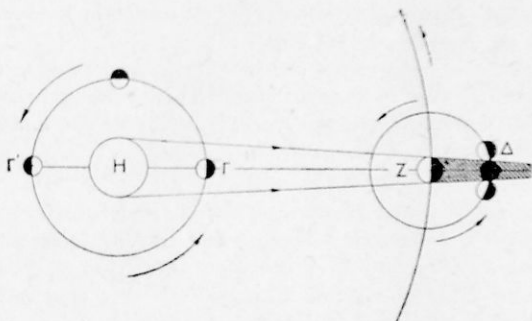
### ΤΑΧΥΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΕΩΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

5. Ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός.—Ὅταν τὸ φῶς μεταδίδεται ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς ἀπὸ ἕνα τόπον εἰς ἄλλον, φαίνεται ὅτι μεταδίδεται ἀκαριαίως, διότι δὲν μεσολαβεῖ αἰσθητὸς χρόνος μεταξὺ τῆς στιγμῆς τῆς ἀναχωρήσεως τοῦ φωτός ἐκ τοῦ ἑνὸς τόπου καὶ τῆς στιγμῆς τῆς ἀφίξεώς του εἰς τὸν ἄλλον. Πρῶτος ὁ Δανὸς ἀστρονόμος Rømer εὑρεν ὅτι τὸ φῶς ἐντὸς 1000 δευτερολέπτων διατρέχει τὴν διάμετρον τῆς τροχιάς τῆς Γῆς, ἥτοι διατρέχει διάστημα 300 000 000 km. Ἐπομένως ἡ ταχύτης τοῦ φωτός εἰς τὸ κενὸν εἶναι :

$$c = 300\,000 \text{ km/sec}$$

Διά διαφόρων μεθόδων κατώρθωσαν ( Fizeau, Foucault, Michelson ) να μετρήσουν την ταχύτητα διαδόσεως του φωτός και επί της επιφανείας της Γῆς.

6. Μέτρησις τῆς ταχύτητος διαδόσεως τοῦ φωτός.—α ) Μέθοδος τοῦ Römer. Ὁ Römer ( 1675 ) κατώρθωσε να μετρήσῃ τὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ φωτός στηριζόμενος εἰς τὰς παρατηρήσεις του ἐπὶ τῆς κινήσεως τοῦ πρώτου δορυφόρου τοῦ Διός. Ὁ χρόνος μιᾶς περιφορᾶς τοῦ δορυφόρου τούτου περὶ τὸν Δία εἶναι 42,5 ὥραι ( περίπου ). Καθ' ἑκάστην περιφορὰν τοῦ ὀ δορυφόρος βυθίζεται ἐντὸς τῆς σκιάς τοῦ Διός ( σχ. 7 ).



Σχ. 7. Μέτρησις τῆς ταχύτητος τοῦ φωτός κατὰ τὴν μέθοδον τοῦ Römer.

Ὅταν ἡ Γῆ εὑρίσκειται εἰς τὴν θέσιν Γ τῆς τροχιάς της, τότε μεταξύ δύο διαδοχικῶν ἐκλείψεων τοῦ

δορυφόρου Δ μεσολαβεῖ χρόνος ἴσος μετὰ 42,5 ὥρας. Ἐφ' ὅσον ὁμως ἡ Γῆ κινεῖται ἐκ τῆς θέσεως Γ πρὸς τὴν ἐκ διαμέτρου ἀντίθετον θέσιν Γ', παρατηρεῖται μία διαρκῶς ἀύξανομένη καθυστέρησις εἰς τὴν ἔναρξιν τῆς ἐκλείψεως. Ἡ καθυστέρησις αὕτη λαμβάνει τὴν μεγίστην τιμὴν τῆς 1000 δευτερόλεπτα ( περίπου ), ὅταν ἡ Γῆ εὑρεθῇ εἰς τὴν θέσιν Γ'. Ἐφ' ὅσον ἡ Γῆ κινεῖται τώρα ἐκ τῆς θέσεως Γ' πρὸς τὴν θέσιν Γ, ἡ καθυστέρησις αὕτη βαίνει συνεχῶς ἐλαττωμένη, καὶ ὅταν ἡ Γῆ εὑρεθῇ πάλιν εἰς τὴν θέσιν Γ, τότε μεταξύ δύο διαδοχικῶν ἐκλείψεων τοῦ δορυφόρου μεσολαβεῖ χρόνος ἴσος μετὰ 42,5 ὥρας. Ἡ μεγίστη καθυστέρησις τῶν 1000 δευτερολέπτων ὀφείλεται εἰς τὴν ἐξῆς αἰτίαν: Ὅταν ἡ Γῆ εὑρίσκειται εἰς τὴν θέσιν Γ', τὸ φῶς, τὸ ἐκπεμπόμενον ἀπὸ τὸν δορυφόρον Δ, διατρέχει δρόμον κατὰ μίαν διάμετρον ( ΓΓ' ) τῆς τροχιάς τῆς Γῆς μεγαλύτερον ἀπὸ τὸν δρόμον, τὸν ὅποιον διατρέχει, ὅταν ἡ Γῆ εὑρίσκειται εἰς τὴν θέσιν Γ. Ἐπειδὴ ἡ διάμετρος τῆς τροχιάς τῆς Γῆς εἶναι 300 000 000 km,

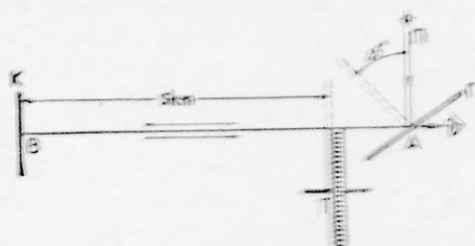
έπεται ότι η ταχύτης διαδόσεως του φωτός εις τὸ κενὸν εἶναι :

$$c = \frac{s}{t} = \frac{300\,000\,000}{1\,000} = 300\,000\,000 \text{ km/sec}$$

Α/β) Μέθοδος τοῦ Fizeau. Ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἶναι τόσο μεγάλη, ὥστε ἐντὸς ἐλαχίστου χρόνου τὸ φῶς διατρέχει πολλὰ μεγάλας ἀποστάσεις. Ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς εἶναι δυνατόν νὰ μετρηθῇ ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός, ἐν καταστάσει δυνατόν νὰ μετρηθῇ ὁ πολὺ μικρὸς χρόνος, ἐντὸς τοῦ ὁποίου τὸ φῶς διατρέχει μίαν γωνιστὴν μικρὰν ἀπόστασιν. Ἐπὶ τῆς ἀρχῆς αὐτῆς ἐστηρίχθη ὁ Fizeau (1849), διὰ νὰ μετρήσῃ τὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ φωτός μετὰ γήινων παύραμα.

Ἡ ἐκ τῆς φασματοῦς πηγῆς Π (σχ. 8) προσηχρημένη φασματοὴ ἀκτίς ΠΑ προσπίπτει ἐπὶ μιᾶς διαλλόμενης πλαικῆς Γ, ἀνακλάσκει ἐν μέρει ἐπ' αὐτῆς καὶ κατακλύβεται πρὸς τὸ κατώτερον ἐπίπεδον κάτοπτρου Κ, ἐπὶ τοῦ ὁποίου προσπίπτει καθέτως. Ἐκεῖ ἡ ἀκτίς ἀνέλασκει ἀνέκλασται, ἐπιστρέφει ἐκ τοῦ Β πρὸς τὸ Α καὶ διαρχομένη διὰ τῆς πλαικῆς Γ φθάνει εἰς τὸν ἀφθελιδιὸν τοῦ παρατηρητοῦ. Ἡ ἀπόστασις τῆς πλαικῆς Γ ἐπὶ τὸ κατώτερον Κ εἶναι διόγα μόνον χιλιομέτρα. Ἐμπροσθεν τῆς πλαικῆς ὑπάρχει ὀδοντωδὸς τροχὸς Τ, ὁ ὁποῖος φέρει ἕσσαν καθέτων ὀδοντων καὶ διακέων τοῦ αἵθου πλάτους καὶ δύναται νὰ πέθῃ εἰς ἡμετέραν περιστροφικὴν κίνησιν. Ἔστω ὅτι ὁ τροχὸς φέρει  $\mu$  ὀδοντας ἕκαστος καὶ  $\mu$  διακέων. Ἐὰν ἡ συχνότης περιστροφῆς τοῦ τροχοῦ βῶναι συγκεκριμένη, ἔρχεται συγχρῆ, κατὰ τὴν ὅποιαν ὁ παρατηρητὴς δὲν βλεῖται τὸ ἐκ τοῦ κατώτερου Κ ἐπιστρέφον φῶς. Τοῦτο συμβαίνει, διότι, κατ' ἐν χρόνον τὸ φῶς διέτρεξε τὸ διάστημα  $AB + BA = 2 \cdot AB$ , εἰς ἑδὸς τοῦ τροχοῦ μετεκινήθη καὶ κατέλαβε τὴν θέσιν τοῦ προηγουμένου διακέων (διὰ τοῦ ὁποίου διήλθε τὸ φῶς βῶναι πρὸς τὸ κατώτερον Κ). Ἐὰν κατὰ τὴν συγκεκριμένην ἢ συχνότης τοῦ τροχοῦ εἶναι  $\nu$ , τότε τὸ φῶς, διὰ νὰ διατρέξῃ τὸ διάστημα  $2s$ , χρειάζεται χρόνον :

$$t = \frac{1}{2\nu\mu}$$



Σχ. 8. Μέτρησης τῆς ταχύτητος τοῦ φωτός κατὰ τὴν μέθοδον τοῦ Fizeau.

Ἐπομένως ἡ ταχύτης τοῦ φωτός εἶναι :

$$c = \frac{2 \cdot s}{t} = \frac{2 \cdot s}{\frac{1}{2\nu \cdot \mu}} = 4\nu \cdot \mu \cdot s$$

Με τὴν ἀνωτέρω μέθοδον ὁ Fizeau εὑρεν ὅτι ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἰς τὸν ἀέρα εἶναι : 300 000 km/sec.

γ) Νεώτεροι μετρήσεις τῆς ταχύτητος τῆς διαδόσεως τοῦ φωτός. Ὁ Foucault (1854) τελειοποιήσας τὴν μέθοδον τοῦ Fizeau κατάρθωσε νὰ μετρήσῃ ἐντὸς τοῦ ἐργαστηρίου τὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ φωτός διὰ μέσου διαφόρων διαφανῶν σωμάτων (ἀέρος, ὕδατος, ὕλου κ. ἄ.). Οὕτως εὑρεν ὅτι ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἰς τὸ ὕδωρ εἶναι ἴση μὲ τὰ 3/4 τῆς ταχύτητος διαδόσεως τοῦ φωτός εἰς τὸν ἀέρα. Αἱ νεώτεροι μετρήσεις ἀπέδειξαν ὅτι ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὴν ἔντασιν τῆς φωτεινῆς πηγῆς. Εἰς τὸ κενὸν καὶ κατὰ μεγάλην προσέγγισιν εἰς τὸν ἀέρα ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἶναι ἡ αὐτὴ διὰ τὰ διάφορα χρώματα. Ἀπὸ τὰς διαφόρους λοιπὸν μετρήσεις εὐρέθη ὅτι :

I. Εἰς τὸ κενὸν ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἶναι 300 000 km/sec (ἀκριβέστερον εἶναι :  $c_0 = 299\,790$  km/sec).

II. Εἰς τὸν ἀέρα ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός ἐλάχιστα διαφέρει ἀπὸ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός εἰς τὸ κενόν.

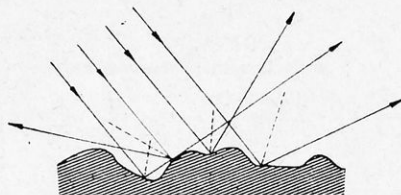
III. Εἰς τὰ διαφανῆ ὑλικά μέσα ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἶναι μικρότερα ἀπὸ τὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ φωτός εἰς τὸ κενόν.

Τὸ φῶς, διὰ νὰ φθάσῃ ἀπὸ τὸν Ἥλιον εἰς τὴν Γῆν, χρειάζεται 8,5 min. Ὁ πλησιέστερος πρὸς τὴν Γῆν ἀπλανῆς εἶναι ὁ α τοῦ Κενταύρου, καὶ ἀπέχει ἀπὸ τὴν Γῆν 4,3 ἔτη φωτός· ὁ Σείριος ἀπέχει 8,6 ἔτη φωτός, οἱ ἀστέρες τοῦ Γαλαξίου ἀπέχουν 3 000 — 10 000 ἔτη φωτός, οἱ δὲ ἔξω τοῦ Γαλαξίου εὐρισκόμενοι νεφελοειδεῖς ἀπέχουν ἀπὸ ἡμᾶς ἑκατομμύρια ἑτῶν φωτός.

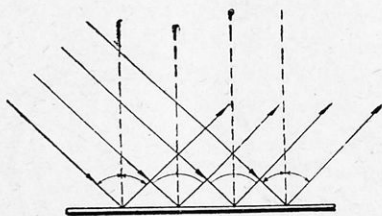
Σημείωσις. Αἱ ἀνωτέρω δοθεῖσαι τιμαὶ 1000 δευτερόλεπτα καὶ 42,5 ὥραι (ἀκριβῆς τιμὴ 42 h 8 min 32 sec) εἶναι τιμαὶ κατὰ προσέγγισιν, χάριν ἀπλότητος κατὰ τὸν ὑπολογισμόν. Οὕτω καὶ ἡ εὐρεθεῖσα τιμὴ τῆς ταχύτητος τοῦ φωτός  $c = 300\,000$  km/sec εἶναι κατὰ προσέγγισιν. Ἡ ἀκριβῆς τιμὴ τῆς ταχύτητος τοῦ φωτός εἰς τὸ κενόν εἶναι : 299 790 km/sec

## ΑΝΑΚΛΑΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

7. Διάχυσις και ανάκλασις. — Διὰ μιᾶς μικρᾶς ὀπῆς ἀφ' ἡμετέρας νὰ εἰσέλθῃ ἐντὸς σκοτεινοῦ δωματίου μία λεπτὴ δέσμη ἡλιακοῦ φωτός. Εἰς τὴν πορείαν τῆς δέσμης παρεμβάλλομεν τεμάχιον λευκοῦ χάρτου. Παρατηροῦμεν ὅτι εἰς οἰονδήποτε σημεῖον τοῦ δωματίου καὶ ἂν σταθῶμεν, διακρίνομεν τὸν λευκὸν χάρτην. Τοῦτο συμβαίνει, διότι ὁ χάρτης διασκορπίζει πρὸς ὅλας τὰς διευθύνσεις τὸ φῶς, τὸ ὁποῖον προσπίπτει ἐπ' αὐτοῦ (σχ. 9). Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλεῖται **διάχυσις** τοῦ φωτός. Ἐνεκα τῆς διαχύσεως γίνονται ὁρατὰ ὅλα τὰ περὶ τῆς ἡμῶν μὴ αὐτόφωτα σώματα. Ἡ διάχυσις τοῦ ἡλιακοῦ φωτός ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς καὶ ἐπὶ τῶν διαφόρων συστατικῶν τῆς ἀτμοσφαιράς προκαλεῖ τὸ διάχυτον φῶς τῆς ἡμέρας. Ἐὰν εἰς τὴν πορείαν τῆς ἀνωτέρω δέσμης τοῦ ἡλιακοῦ φωτός παρεμβάλλομεν μίαν λείαν καὶ στιλπνὴν μεταλλικὴν πλάκα, τότε ἡ προσπίπτουσα φωτεινὴ δέσμη ἀλλάσσει πορείαν καὶ κατευθύνεται πρὸς ὀριζόμενῃν διεύθυνσιν (σχ. 10). Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλεῖται **ἀνάκλασις** τοῦ φωτός. Ὡστε ἡ διάχυσις συμβαίνει, ὅταν τὸ φῶς προσπίπτῃ ἐπὶ τραχείας καὶ ἀνωμάλου ἐπιφανείας, ἐνῶ ἡ ἀνάκλασις συμβαίνει,



Σχ. 9. Διάχυσις τοῦ φωτός ὑπὸ ἀνωμάλου ἐπιφανείας.



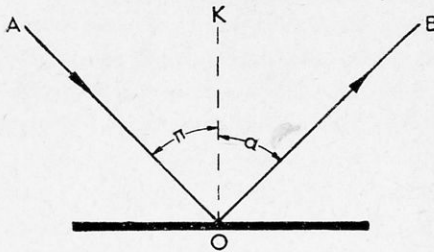
Σχ. 10. Ἀνάκλασις τοῦ φωτός ὑπὸ λείας ἐπιφανείας.

ὅταν τὸ φῶς προσπίπτῃ ἐπὶ λείας καὶ στιλπνῆς ἐπιφανείας. Ἀλλὰ καὶ μίαν λείαν καὶ στιλπνὴν ἐπιφάνειαν ἔχει πάντοτε μικρὰς ἀνωμαλίας, αἱ ὁποῖαι προκαλοῦν μικρὰν διάχυσιν. Τοῦτο καταφαίνεται ἐκ τοῦ ὅτι ἡ φωτεινὴ κηλὶς, ἡ ὁποία σχηματίζεται ἐπὶ τῆς μεταλλικῆς πλακῆς, εἶναι ὁρατὴ ἀπὸ οἰονδήποτε σημεῖον τοῦ δωματίου παρατηροῦμεν τὴν πλάκα.

8. Ὅρισμοί. — Αἱ λείαι καὶ στιλπναὶ ἐπιφάνειαι, αἱ ὁποῖαι προκαλοῦν ἀνάκλασιν τοῦ φωτός, καλοῦνται **κάτοπτρα**. Ἀναλόγως τῆς



μορφῆς, τὴν ὁποῖαν ἔχει ἡ ἀνακλῶσα ἐπιφάνεια, διακρίνομεν διάφορα εἶδη κατόπτρων : ἐπίπεδα, σφαιρικά, κυλινδρικά, παραβολικά κατόπτρα. Ἡ



Σχ. 11. Ὅρισμός τῶν γωνιῶν προσπτώσεως καὶ ἀνακλάσεως.

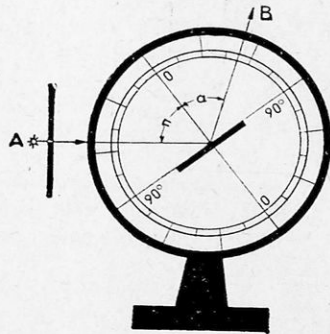
ἄκτις AO καλεῖται **προσπίπτουσα** ἄκτις, ἡ δὲ ἄκτις OB καλεῖται **ἀνακλωμένη** ἄκτις (σχ. 11). Ἐάν εἰς τὸ σημεῖον προσπτώσεως O φέρωμεν τὴν KO κάθετον πρὸς τὴν ἀνακλῶσαν ἐπιφάνειαν, τότε σχηματίζονται ἡ **γωνία προσπτώσεως**  $AOK = \pi$  καὶ ἡ **γωνία ἀνακλάσεως**

$BOK = \alpha$ . Τὸ ἐπίπεδον, τὸ ὁποῖον ὀρίζουν ἡ προσπίπτουσα ἄκτις AO καὶ ἡ κάθετος KO, καλεῖται **ἐπίπεδον προσπτώσεως**.



### 9. Νόμοι τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός. —

Ἡ ἀνάκλασις τοῦ φωτός ἀκολουθεῖ ὀρισμένους νόμους, τοὺς ὁποῖους δυνάμεθα νὰ εὑρωμεν κατὰ προσέγγισιν μὲ τὴν συσκευήν τοῦ σχήματος 12. Αὕτη ἀποτελεῖται ἀπὸ κατακύρυνον γωνιομετρικὸν κύκλον, εἰς τὸ κέντρον τοῦ ὁποῖου εἶναι στερεωμένον μικρὸν ἐπίπεδον κάτοπτρον. Διὰ μιᾶς μικρᾶς ὀπῆς διαβιβάζεται ἐπὶ τοῦ κατόπτρου λεπτή φωτεινὴ δέσμη. Ἡ ἀνακλωμένη λεπτή δέσμη εἰσέρχεται εἰς τὸν ὀφθαλμὸν μας, μόνον ὅταν ὁ ὀφθαλμὸς μας εὑρίσκηται ἐπὶ τοῦ κατακρύφου ἐπιπέδου, ἐπὶ τοῦ ὁποῖου εὑρίσκηται καὶ ἡ προσπίπτουσα δέσμη. Ὡστε ἡ προσπίπτουσα καὶ ἡ ἀνακλωμένη δέσμη εὑρίσκονται ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ κατακρύφου ἐπιπέδου. Ἐάν μεταβάλλωμεν τὴν γωνίαν προσπτώσεως  $\pi$ , εὑρίσκομεν ὅτι ἡ γωνία ἀνακλάσεως  $\alpha$  εἶναι πάντοτε ἴση πρὸς τὴν γωνίαν προσπτώσεως. Αἱ μετρήσεις ἐπὶ τοῦ φαινομένου τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός ἀπέδειξαν τοὺς ἐξῆς **νόμους τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός** :



Σχ. 12. Διὰ τὴν ἀπόδειξιν τῶν νόμων τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός.

I. Ἡ προσπίπτουσα καὶ ἡ ἀνακλωμένη ἀκτὶς εὐρίσκονται εἰς τὸ αὐτὸ ἐπίπεδον μὲ τὴν κάθετον εἰς τὸ σημεῖον προσπτώσεως.

II. Ἡ γωνία ἀνακλάσεως εἶναι ἴση πρὸς τὴν γωνίαν προσπτώσεως.

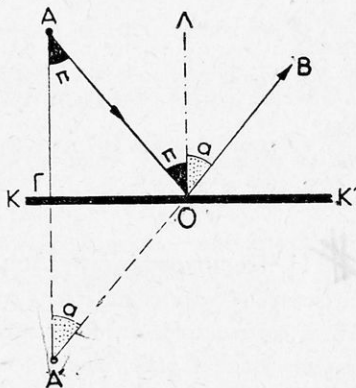
Ἐφαρμογὴν τῶν νόμων τῆς ἀνακλάσεως ἔχομεν εἰς τὰ διάφορα κάτοπτρα.

### Α'. ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

10. Ἐπίπεδον κάτοπτρον.—Μία φωτεινὴ ἀκτὶς προερχομένη ἀπὸ φωτεινὸν σημεῖον Α (σχ. 13) δίδει τὴν ἀνακλωμένην ἀκτὶνα ΟΒ.

Ἡ προέκτασις τῆς ἀκτίνος ΟΒ τέμνει τὴν προέκτασιν τῆς καθέτου ΑΓ εἰς τὸ σημεῖον Α'. Εὐκόλως συνάγεται ὅτι τὰ ὀρθογώνια τρίγωνα ΑΓΟ καὶ Α'ΓΟ εἶναι ἴσα καὶ ἐπομένως εἶναι  $ΑΓ = Α'Γ$ . Εἰς τὸ συμπέρασμα τοῦτο καταλήγομεν δι' οἰανδήποτε ἀκτὶνα προερχομένην ἐκ τοῦ φωτεινοῦ σημείου Α. Οὕτως αἱ ἀκτῖνες, αἱ ἀναχωροῦσαι ἐκ τοῦ φωτεινοῦ σημείου Α, μετὰ τὴν ἀνάκλασιν τῶν ἐπὶ τοῦ κατόπτρου,

φαίνονται προερχόμεναι ἀπὸ τὸ σημεῖον Α' (σχ. 14). Τὸ σημεῖον τοῦτο εἶναι ἡ κορυφὴ τῆς κωνικῆς δέσμης, ἡ ὁποία προκύπτει μετὰ τὴν ἀνάκλασιν τῆς προσπιπτούσης δέσμης. Τὸ σημεῖον Α' καλεῖται **εἶδωλον** τοῦ φωτεινοῦ σημείου Α καὶ ἐπειδὴ σχηματίζεται ἀπὸ τὰς φανταστικὰς προεκτάσεις τῶν ἀνακλωμένων ἀκτίνων καλεῖται **φανταστικὸν εἶδωλον**. Ὁ σχηματισμὸς τοῦ φανταστικοῦ εἰδώλου Α'Β' ἐνὸς ἀντικειμένου ΑΒ φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 15. Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγεται ὅτι:

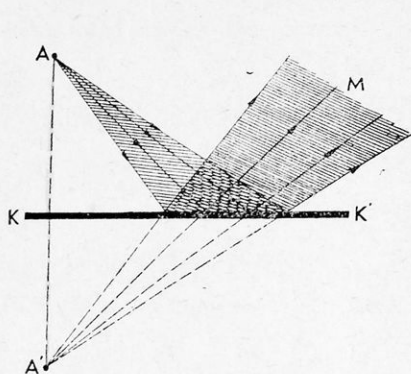


Σχ. 13. Ἀνάκλασις τοῦ φωτὸς ὑπὸ ἐπίπεδου κατόπτρου.

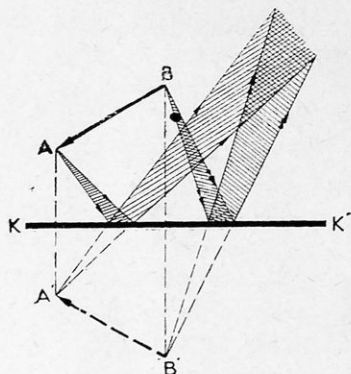
Τὸ ἐπίπεδον κάτοπτρον σχηματίζει εἶδωλον φανταστικόν, τὸ ὁποῖον εἶναι ὀρθόν, ἴσον πρὸς τὸ ἀντικείμενον καὶ συμμετρικόν τούτου ὡς πρὸς τὸ κάτοπτρον.



Τὸ εἶδωλον καὶ τὸ ἀντικείμενον εἶναι συμμετρικὰ ὡς πρὸς τὸ ἐπίπεδον κάτοπτρον, ἀλλὰ δὲν εἶναι ἐφαρμοσίμα· ἤτοι τὸ εἶ-



Σχ. 14. Σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου φωτεινοῦ σημείου.



Σχ. 15. Σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου ἀντικειμένου.

δωλον εὐρίσκεται εἰς τοιαύτην σχέσιν πρὸς τὸ ἀντικείμενον, εἰς ὅποιαν εὐρίσκεται ἡ δεξιὰ χεὶρ πρὸς τὴν ἀριστεράν.

~~II~~ 11. Περιστροφή ἐπιπέδου κατόπτρου. — Ἐὰν θεωρήσωμεν ὅτι τὸ ἐπίπεδον κάτοπτρον  $KK'$  (σχ. 16) στρέφεται κατὰ γωνίαν  $\varphi$  περὶ ἄξονα εὐρισκόμενον ἐπὶ τοῦ κατόπτρου καὶ διερχόμενον διὰ τοῦ σημείου προσπτώσεως  $O$  μιᾶς φωτεινῆς ἀκτίνος  $AO$ , ἡ ὁποία διατηρεῖται σταθερά. Ὁ ἄξων περιστροφῆς τοῦ κατόπτρου εἶναι κάθετος πρὸς τὸ ἐπίπεδον προσπτώσεως  $KOL$ . Ὄταν τὸ κάτοπτρον στραφῇ κατὰ γωνίαν  $\varphi$ , ἡ ἀνακλωμένη ἀκτὶς στρέφεται κατὰ γωνίαν :

$$\widehat{BOB'} = \widehat{AOB'} - \widehat{AOB}$$

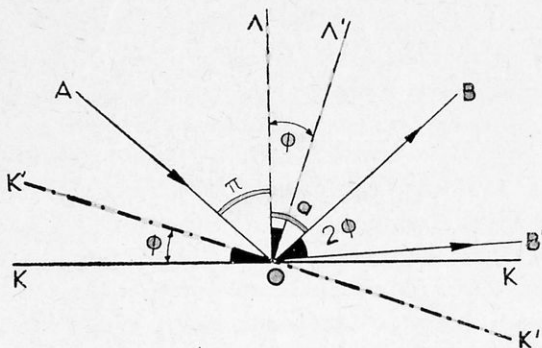
Ἐπειδὴ ἡ γωνία προσπτώσεως εἶναι ἴση πρὸς τὴν γωνίαν ἀνακλάσεως ἔχομεν :

$$\widehat{AOB} = 2 \cdot \widehat{AOL} = 2\pi, \quad \widehat{AOB'} = 2 \cdot \widehat{AOL'} = 2(\pi + \varphi)$$

Ὅπως εὐρίσκομεν ὅτι εἶναι :

$$\widehat{BOB'} = 2(\pi + \varphi) - 2\pi \quad \text{ἤτοι} \quad \boxed{\widehat{BOB'} = 2\varphi}$$

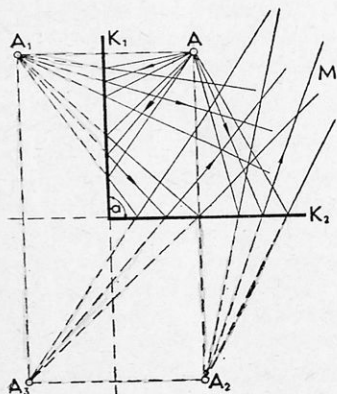
Όταν επίπεδον κάτοπτρον στρέφεται κατά γωνίαν  $\phi$  περι άξονα κάθετον πρὸς τὸ επίπεδον προσπτώσεως σταθερᾶς ακτίνας, τότε ἡ ἀνακλωμένη ακτίς στρέφεται κατὰ διπλασίαν γωνίαν  $2\phi$  περι τὸν αὐτὸν άξονα καὶ κατὰ τὴν αὐτὴν φοράν.



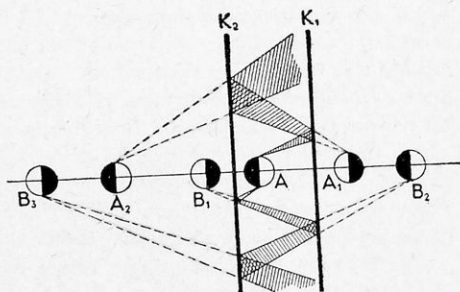
Σχ. 16. Στροφή επίπεδου κατόπτρου.

Ἡ άνωτέρω ιδιότης τοῦ ἐπίπεδου κατόπτρου χρησιμοποιεῖται διὰ τὴν μέτρησιν μικρῶν γωνιῶν.

12. Ἐπίπεδα κάτοπτρα σχηματίζοντα γωνίαν.—Ἐάν δύο ἐπίπεδα κάτοπτρα σχηματίζου γωνίαν, τότε ἡ ἐξ ἑνὸς φωτεινοῦ σημείου προερχομένη δέσμη, πρὶν φθάσῃ εἰς τὸν ὀφθαλμὸν τοῦ παρατηρητοῦ, δύναται νὰ ὑποστῇ μίαν ἢ περισσοτέρας διαδοχικᾶς ἀνακλάσεις



Σχ. 17. Κάτοπτρα σχηματίζοντα γωνίαν.



Σχ. 18. Παράλληλα κάτοπτρα.

ἐπὶ τῶν δύο κατόπτρων (σχ. 17). Οὕτω σχηματίζονται πολλαπλᾶ εἰδῶλα καὶ μάλιστα τόσον περισσότερα, ὅσον μικροτέρα εἶναι ἡ γωνία

α, τὴν ὁποῖαν σχηματίζουν τὰ κάτοπτρα. Ἐὰν ἡ γωνία α εἶναι ἴση μὲ μηδέν, τὰ κάτοπτρα εἶναι παράλληλα. Τότε σχηματίζονται δύο σειραὶ εἰδώλων ὅπισθεν ἐκάστου κατόπτρου καὶ βλέπομεν ἐναλλάξ τὴν ἐμπροσθίαν καὶ τὴν ὀπισθίαν ὄψιν τοῦ ἀντικειμένου. Εἰς τὸ σχῆμα 18 δεικνύεται ὁ τρόπος τοῦ σχηματισμοῦ τῶν εἰδώλων μιᾶς σφαιρᾶς Α, ἡ ὁποία κατὰ τὸ ἥμισυ εἶναι λευκὴ καὶ κατὰ τὸ ἥμισυ μαύρη.

13. Ἀρχὴ τῆς ἀντιστροφῆς πορείας τοῦ φωτός.—Ἐὰν προσπίπτουσα ἀκτὶς εἶναι ἡ ἀκτὶς ΒΟ (σχ. 11), τότε συμφώνως πρὸς τὸν νόμον τῆς ἀνακλάσεως πρέπει ἡ ἀκτὶς ΟΑ νὰ εἶναι ἀνακλωμένη ἀκτὶς. Τοῦτο ἐπαληθεύεται καὶ πειραματικῶς. Εἰς τὴν Γεωμετρικὴν Ὀπτικὴν ἰσχύει γενικῶς ἡ ἀκόλουθος ἀρχὴ τῆς ἀντιστροφῆς πορείας τοῦ φωτός :

“Ὅταν τὸ φῶς ἀκολουθῇ ὠρισμένον δρόμον, πάντοτε δύναται νὰ διατρέξῃ τὸν αὐτὸν ἀκριβῶς δρόμον, ἐὰν διαδοθῇ κατ’ ἀντίθετον φορὰν.

#### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

5. Παρατηρητὴς βλέπει τὸν ὀφθαλμὸν του ΑΒ μήκους 3 cm ἐντὸς ἐπιπέδου κατόπτρου, τὸ ὁποῖον κρατεῖ εἰς ἀπόστασιν 10 cm ἀπὸ τὸν ὀφθαλμὸν. Ποῦ βλέπει τὸ εἶδωλον τοῦ ὀφθαλμοῦ του ; Ὑπὸ ποίαν φαινομένην διάμετρον βλέπει τὸ εἶδωλον τοῦτο ;

6. Εἰς πύργου καὶ εἰς παρατηρητῆς εὐρίσκονται ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ ὀριζοντίου ἐπιπέδου, ἡ δὲ μεταξὺ των ἀπόστασις εἶναι 42 m. Ὁ ὀφθαλμὸς τοῦ παρατηρητοῦ εὐρίσκεται εἰς ὕψος 1,60 m ἀνωθεν τοῦ ἐδάφους καὶ βλέπει τὸ εἶδωλον τοῦ πύργου ἐντὸς μικροῦ ἐπιπέδου κατόπτρου, τὸ ὁποῖον ἀπέχει 2 m ἀπὸ τὸν παρατηρητὴν καὶ εὐρίσκεται ἐπὶ τοῦ ἐδάφους. Πόσον εἶναι τὸ ὕψος τοῦ πύργου ;

7. Παρατηρητὴς ἔχει ὕψος 1,70 m ἡ δὲ ἀπόστασις τῶν ὀφθαλμῶν του ἀπὸ τὸ ἐδαφος εἶναι 1,60 m. Νὰ εὐρεθῇ πόσον ὕψος πρέπει νὰ ἔχη κατακόρυφον κάτοπτρον καὶ εἰς πόσῃ ἀπόστασιν ἀπὸ τὸ δάπεδον πρέπει νὰ στερεωθῇ, ὥστε ὁ παρατηρητὴς νὰ βλέπῃ τὸ εἶδωλόν του.

8. Ἐπίπεδον κάτοπτρον ὕψους 10 cm εἶναι κατακόρυφον. Ἐμπροσθεν αὐτοῦ καὶ εἰς ὀριζοντίαν ἀπόστασιν 20 cm εὐρίσκεται ὁ ὀφθαλμὸς παρατηρητοῦ, ὁ ὁποῖος βλέπει ἐντὸς κατόπτρου κατακόρυφον τοῖχον εὐρισκόμενον ὀπισθεν αὐτοῦ καὶ εἰς ἀπόστασιν 2 m. Νὰ εὐρεθῇ τὸ ὕψος τοῦ τοίχου, τὸ ὁποῖον βλέπει ὁ παρατηρητὴς ἐντὸς τοῦ κατόπτρου.

9. Τετράγωνος αἰθουσα ἔχει πλευρὰν 5 m καὶ ὕψος 3,50 m. Ἀπὸ τὸ μέσον τῆς ὀροφῆς ἐξαρτᾶται ἠλεκτρικὸς λαμπτήρ, οὕτως ὥστε νὰ ἀπέχῃ 50 cm ἀπὸ τὴν

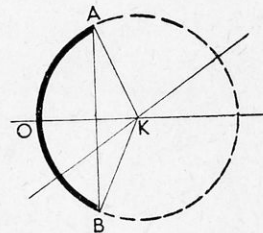
οροφήν. Εἰς τὸ μέσον ἑνὸς τῶν τοίχων εὐρίσκεται κατακόρυφον ἐπίπεδον κάτοπτρον, τὸ ὅποιον ἔχει σχῆμα τετραγώνου καὶ πλευρὰν 50 cm. Πόση ἐπιφάνεια τοῦ ἀπέναντι τοίχου καὶ τοῦ δαπέδου φωτίζεται ἐξ ἀνακλάσεως ;

10. Ἡ κεντρικὴ ἀκτὶς μιᾶς συγκλινούσης φωτεινῆς δέσμης εἶναι ὀριζοντία. Εἰς τὴν πορείαν τῆς δέσμης καὶ εἰς ἀπόστασιν 10 cm πρὸ τῆς ἐστίας τῆς παρεμβάλλεται ἐπίπεδον κάτοπτρον, τὸ ὅποιον σχηματίζει γωνίαν  $45^\circ$  μετὰ τὴν κεντρικὴν ἀκτίνα τῆς δέσμης. Νὰ εὐρεθῇ ἡ θέσις τῆς νέας ἐστίας τῆς δέσμης.

11. Δύο ἐπίπεδα κάτοπτρα σχηματίζουν γωνίαν  $45^\circ$ . Μεταξὺ αὐτῶν ὑπάρχει φωτεινὸν σημεῖον Σ. Νὰ εὐρεθῇ διὰ κατασκευῆς τῶν ἀνακλωμένων ἀκτίνων ὁ ἀριθμὸς τῶν εἰδώλων.

### Β. ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

14. Ὅρισμοί.— Εἰς τὸ σφαιρικὸν κάτοπτρον ἡ ἀνακλωσα ἐπιφάνεια εἶναι σφαιρικὴ. Διακρίνομεν δύο εἴδη σφαιρικῶν κατόπτρων : τὰ **κοίλα** σφαιρικὰ κάτοπτρα, εἰς τὰ ὁποῖα ἡ ἀνακλωσα ἐπιφάνεια εἶναι **κοίλη** καὶ τὰ **κυρτὰ** σφαιρικὰ κάτοπτρα, εἰς τὰ ὁποῖα ἡ ἀνακλωσα ἐπιφάνεια εἶναι **κυρτή**. Τὸ μέσον Ο τοῦ κατόπτρου ( σχ. 19 ) καλεῖται **κορυφή** τοῦ κατόπτρου, τὸ δὲ κέντρο Κ τῆς σφαίρας, εἰς τὴν ὁποίαν ἀνήκει τὸ κάτοπτρον, καλεῖται **κέντρον καμπυλότητος** τοῦ κατόπτρου. Ἡ εὐθεῖα ἡ διερχομένη διὰ τῆς κορυφῆς καὶ τοῦ κέντρου καμπυλότητος καλεῖται **κύριος ἄξων** τοῦ κατόπτρου. Πᾶσα ἄλλη εὐθεῖα διερχομένη διὰ τοῦ κέντρου καμπυλότητος καλεῖται **δευτερεύων ἄξων**. Διὰ νὰ σχηματισθῇ εὐκρινὲς εἶδωλον ἑνὸς ἀντικειμένου, πρέπει νὰ πληροῦνται αἱ ἐξῆς συνθήκαι : α ) Τὸ κάτοπτρον πρέπει νὰ ἔχη μικρὸν ἄνοιγμα ἄνοιγμα τοῦ κατόπτρου καλεῖται ἡ γωνία ΑΚΒ, ὑπὸ τὴν ὁποίαν φαίνεται ἐκ τοῦ κέντρου Κ ἡ χορδὴ ΑΒ τοῦ κατόπτρου. β ) Τὸ ἀντικείμενον πρέπει νὰ εἶναι κάθετον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα καὶ πλησίον αὐτοῦ.



Σχ. 19. Σφαιρικὸν κάτοπτρον.

Κατὰ τὴν σπουδὴν τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων θὰ ὑποθέτωμεν ὅτι πληροῦνται πάντοτε αἱ δύο ἀνωτέρω συνθήκαι. Ἐπίσης θὰ θεωροῦμεν εἰς τὰ κατωτέρω τομὴν τοῦ κατόπτρου διερχομένην διὰ τοῦ κυρίου ἄξονος.

## I. ΚΟΙΛΑ ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

15. Εἶδωλον φωτεινοῦ σημείου.—Ἐν φωτεινὸν σημεῖον Α εὐρίσκειται ἐπὶ τοῦ κυρίου ἄξονος κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου (σχ. 20). Πᾶσα φωτεινὴ ἀκτὶς προερχομένη ἐκ τοῦ σημείου Α ἀνακλάται ἐπὶ τοῦ κατόπτρου σχηματίζουσα ἴσας γωνίας ( $\alpha = \alpha'$ ) μὲ τὴν κάθετον εἰς τὸ σημεῖον προσπτώσεως, δηλαδὴ μὲ τὴν ἀκτῖνα καμπυλότητος τοῦ κατόπτρου. Οὕτως ἡ ἀνακλωμένη ἀκτὶς τέμνει τὸν κύριον ἄξονα εἰς ἓν σημεῖον Α'. Εἰς τὸ τρίγωνον ΑΔΑ' ἢ ΔΚ εἶναι διχοτόμος τῆς γωνίας Δ καὶ ἐπομένως ἔχομεν τὴν σχέσιν :

$$AK : A'K = AD : A'D \quad (1)$$

Ἐπειδὴ τὸ ἀνοίγμα τοῦ κατόπτρου εἶναι πολὺ μικρὸν, τὸ σημεῖον Δ εὐρίσκειται πλησίον τῆς κορυφῆς Ο. Δυνάμεθα λοιπὸν νὰ λάβωμεν κατὰ προσέγγισιν  $AD = AO = \pi$  καὶ  $A'D = A'O = \pi'$ . Τότε ἡ σχέσις (1) γράφεται :

$$\frac{AK}{A'K} = \frac{AO}{A'O} \quad \eta \quad \frac{\pi - R}{R - \pi'} = \frac{\pi}{\pi'}$$

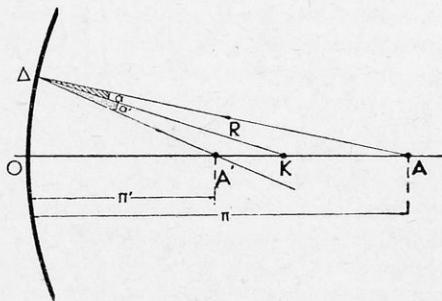
Ἀπὸ τὴν τελευταίαν σχέσιν εὐρίσκομεν :

$$\pi\pi' - \pi'R = \pi R - \pi\pi' \quad \eta \quad \pi'R + \pi R = 2\pi\pi'$$

Διαιροῦντες καὶ τὰ δύο μέλη τῆς ἐξισώσεως διὰ  $\pi\pi'R$  εὐρίσκομεν :

$$\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{2}{R} \quad (2)$$

Ἡ εὐρεθεῖσα ἐξίσωσις δεικνύει ὅτι ἡ ἀπόστασις  $\pi'$  τοῦ σημείου Α' ἀπὸ τὴν κορυφὴν Ο ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὴν ἀπόστασιν  $\pi$  τοῦ φωτεινοῦ



Σχ. 20. Σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου φωτεινοῦ σημείου.

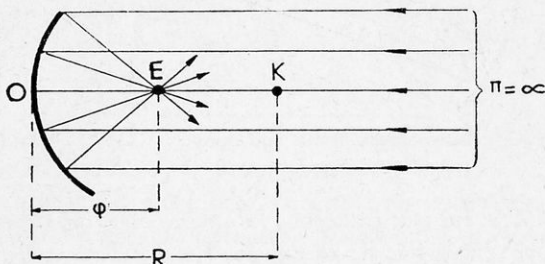
νοῦ σημείου Α. Ἐὰν τὸ φωτεινὸν σημεῖον τεθῆ εἰς τὴν θέσιν Α',



τότε, συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν τῆς ἀντιστρόφου πορείας τοῦ φωτός, τὸ εἶδωλόν του σχηματίζεται εἰς τὴν θέσιν Α. Ὡστε τὰ σημεῖα Α καὶ Α' εἶναι συζυγῆ σημεῖα.

Εἶναι φανερόν ὅτι, ἐὰν τὸ φωτεινὸν σημεῖον Α τεθῆ εἰς τὸ κέντρον καμπυλότητος τοῦ κατόπτρου καὶ τὸ εἶδωλον Α' θὰ σχηματισθῆ εἰς τὴν ἰδίαν θέσιν· δηλαδὴ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν τὸ φωτεινὸν σημεῖον καὶ τὸ εἶδωλόν του συμπίπτουν.

**16. Κυρία ἔστια.**—Ἄς ὑποθέσωμεν ὅτι τὸ φωτεινὸν σημεῖον Α μετακινούμενον ἐπὶ τοῦ κυρίου ἄξονος συνεχῶς ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὸ κάτοπτρον, ὥστε τελικῶς αἱ ἐκ τοῦ σημείου Α προερχόμεναι ἀκτῖνες νὰ προσπίπτουν ἐπὶ τοῦ κατόπτρου παραλλήλως πρὸς τὸν κύριον ἄξονα. Τότε ὅλαι αἱ ἀνακλόμεναι ἀκτῖνες διέρχονται



Σχ. 21. Κυρία ἔστια κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου.

διὰ τοῦ σημείου Ε τοῦ κυρίου ἄξονος (σχ. 21). Τὸ σημεῖον Ε καλεῖται **κυρία ἔστια** τοῦ κατόπτρου. Ἡ ἀπόστασις τῆς κυρίας ἑστίας Ε ἀπὸ τὴν κορυφὴν Ο καλεῖται **ἑστιακὴ ἀπόστασις** ( $\varphi$ ) τοῦ κατόπτρου.

Ἐὰν εἰς τὴν ἐξίσωσιν  $\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{2}{R}$  θέσωμεν  $\pi = \infty$  καὶ  $\pi' = \varphi$ ,

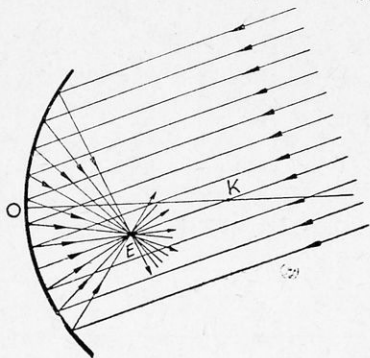
εὐρίσκομεν:  $\frac{1}{\varphi} = \frac{2}{R}$ . Ἄρα:

Ἡ ἑστιακὴ ἀπόστασις τοῦ κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου ἰσοῦται μὲ τὸ ἥμισυ τῆς ἀκτίνος καμπυλότητος αὐτοῦ.

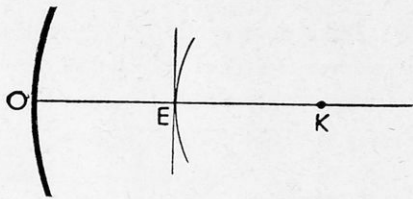
$$\text{ἑστιακὴ ἀπόστασις: } \varphi = \frac{R}{2}$$

**17. Ἐστιακὸν ἐπίπεδον.**—Ἐὰν θεωρήσωμεν μίαν δέσμη ἀκτῖνων παραλλήλων πρὸς ἓνα δευτερεύοντα ἄξονα, τότε ὅλαι αἱ ἀνακλόμεναι ἀκτῖνες μετὰ τὴν ἀνάκλασιν των διέρχονται δι' ἑνὸς σημείου Ε' τοῦ δευτερεύοντος ἄξονος· τὸ σημεῖον Ε' εὐρίσκεται εἰς ἀπόστασιν  $\varphi = R/2$  ἀπὸ τὸ κάτοπτρον καὶ καλεῖται **δευτερεύουσα ἔστια** (σχ. 22).

“Όλοι αὐτοὶ δευτερεύουσαι ἐστίαὶ τοῦ κατόπτρου εὐρίσκονται ἐπὶ μιᾶς σφαιρικῆς ἐπιφανείας, ἣ ὅποια ἔχει κέντρον τὸ  $K$  καὶ ἀκτῖνα  $R/2$ . Ἐπειδὴ ὅμως τὸ κατόπτρον εἶναι μικροῦ ἀνοίγματος, δυνάμεθα κατὰ προσέγγισιν νὰ θεωρήσωμεν ὅτι ὅλοι αὐτοὶ δευτερεύουσαι ἐστίαὶ εὐρί-



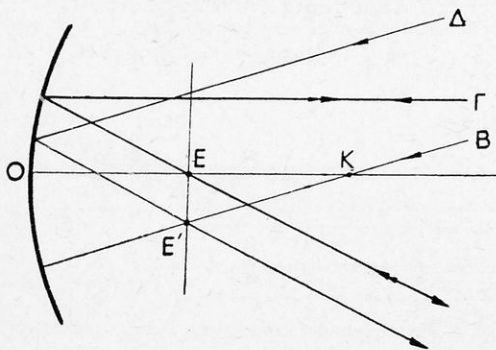
Σχ. 22. Δευτερεύουσα ἐστία τοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου.



Σχ. 23. Ἐστιακὸν ἐπίπεδον σφαιρικοῦ κατόπτρου.

σκονται ἐπὶ ἐνὸς ἐπιπέδου, τὸ ὅποῖον εἶναι ἐφαπτόμενον τῆς σφαιρικῆς αὐτῆς ἐπιφανείας εἰς τὸ σημεῖον  $E$  καὶ κάθετον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα· τὸ ἐπίπεδον τοῦτο καλεῖται **ἐστιακὸν ἐπίπεδον** τοῦ κατόπτρου (σχ. 23).

18. Πορεία μερικῶν ἀκτίνων καὶ θέσις τοῦ εἰδώλου.—Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγονται τὰ κατωτέρω συμπεράσματα ἐν σχέσει μετὰ τὴν



Σχ. 24. Πορεία μερικῶν ἀκτίνων.

πορείαν μερικῶν ἀκτίνων (σχ. 24) καὶ τὴν θέσιν τοῦ εἰδώλου  $A'$  ἐπὶ τοῦ κυρίου ἄξονος :

I. Ὄταν ἡ προσπίπτουσα ἀκτὶς διέρχεται διὰ τοῦ κέντρου καμπυλότητος, ἢ ἀνακλωμένη ἀκτὶς ἀκολουθεῖ ἀντιστρόφως τὴν ἴδιαν πορείαν.

II. Ὄταν ἡ προσπίπτουσα ἀκτὶς εἶναι παράλληλος πρὸς τὸν κύριον ἄξονα, ἢ ἀνακλωμένη ἀκτὶς διέρχεται διὰ τῆς κυρίας ἐστίας.



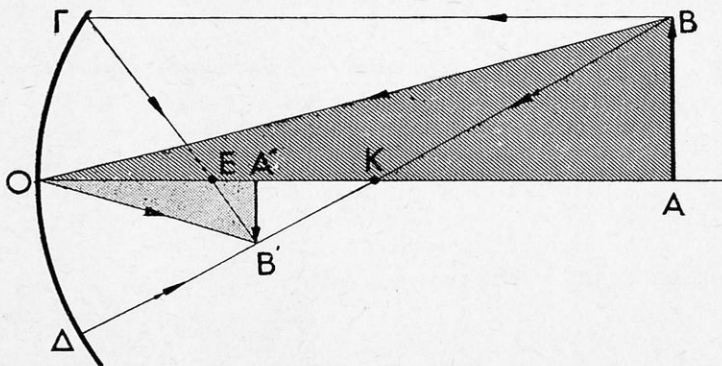
III. "Όταν ή προσπίπτουσα άκτις διέρχεται δια τής κυρίας έστίας, ή ανακλωμένη άκτις είναι παράλληλος προς τόν κύριον άξονα.

IV. "Όταν μία άκτις προσπίπτη παραλλήλως προς δευτερεύοντα άξονα, ή ανακλωμένη άκτις διέρχεται δια τής αντίστοιχου δευτερευούσης έστίας, ή όποία εύρίσκεται επί του έστιακού έπιπέδου.

V. "Όταν φωτεινόν σημείον εύρίσκεται επί του κυρίου άξονος, τó είδωλόν του σχηματίζεται επί του κυρίου άξονος· αί άποστάσεις του φωτεινού σημείου και του είδώλου από τó κάτοπτρον συνδέονται με τήν σχέσηιν :

$$\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi} \quad \text{όπου} \quad \varphi = \frac{R}{2}$$

19. Είδωλον άντικειμένου.— "Ας θεωρήσωμεν ώς φωτεινόν άντικείμενον μίαν ευθείαν AB καθετον προς τόν κύριον άξονα (σχ. 25). Γνωρίζοντες τήν πορείαν ώρισμένων ανακλωμένων ακτίνων δυνάμεθα νά κατασκευάσωμεν τó είδωλον A'B', τó όποϊον είναι επίσης



Σχ. 25. Σχηματισμός του είδώλου φωτεινού αντικειμένου.

καθετον προς τόν κύριον άξονα. Ούτως αί εκ του άκρου B του αντικειμένου προερχόμεναι ακτίνες ΒΓ και ΒΔ δίδουν τας ανακλωμένας ακτίνας ΓΒ' και ΔΒ', αί όποϊαι τέμνονται εις τó σημείον Β'· τούτο είναι τó είδωλον του σημείου Β. Τά είδωλα όλων των άλλων σημείων του αντικειμένου AB εύρίσκονται επί τής ευθείας A'B', ή όποία

εἶναι κάθετος πρὸς τὸν κύριον ἄξονα. Τὸ εἶδωλον  $A'B'$  εἶναι **ἀνεστραμμένον καὶ πραγματικόν**· συνεπῶς δυνάμεθα νὰ τὸ λάβωμεν ἐπὶ διαφράγματος. Ἀπὸ τὰ ὅμοια τρίγωνα  $AOB$  καὶ  $A'OB'$  εὐρίσκομεν :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

Ὁ λόγος τοῦ μήκους ( $E$ ) τοῦ εἰδώλου πρὸς τὸ μήκος ( $A$ ) τοῦ ἀντικειμένου καλεῖται **γραμμικὴ μεγέθυνσις**. Ἐὰν εἰς τὴν ἀνωτέρω σχέσιν θέσωμεν  $OA' = \pi'$  καὶ  $OA = \pi$ , τότε τὸ **μέγεθος τοῦ εἰδώλου** προσδιορίζεται ἀπὸ τὴν σχέσιν :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{\pi'}{\pi} \quad \eta \quad \boxed{\frac{E}{A} = \frac{\pi'}{\pi}} \quad (1)$$

Αἱ ἀποστάσεις  $OA = \pi$  καὶ  $OA' = \pi'$  τοῦ ἀντικειμένου καὶ τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ κάτοπτρον δίδονται ἀπὸ τὴν γνωστὴν ἐξίσωσιν :

$$\boxed{\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}} \quad (2)$$

Οὕτως οἱ τύποι (1) καὶ (2) προσδιορίζουν τὸ μέγεθος καὶ τὴν θέσιν τοῦ εἰδώλου  $A'B'$ .

20. Πραγματικὸν ἢ φανταστικὸν εἶδωλον ἀντικειμένου.—Ἄς ὑποθέσωμεν ὅτι τὸ ἀντικείμενον  $AB$  πλησιάζει συνεχῶς πρὸς τὸ κάτοπτρον. Ἡ ἐκάστοτε ἀπόστασις  $\pi'$  τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ κάτοπτρον προσδιορίζεται ἀπὸ τὸν τύπον (2). Ἐὰν λύσωμεν τοῦτον ὡς πρὸς  $\pi'$ , ἔχομεν :

$$\pi' = \frac{\pi\varphi}{\pi - \varphi} \quad \eta \quad \pi' = \frac{\varphi}{1 - \frac{\varphi}{\pi}} \quad (3)$$

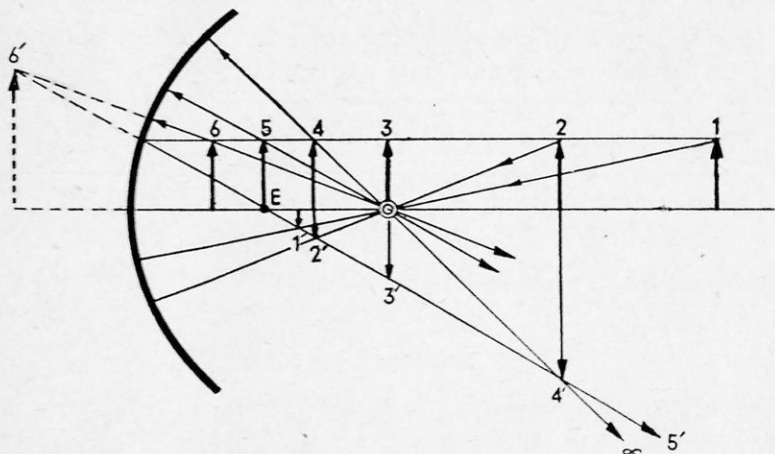
1. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὸ ἄπειρον ( $\pi = \infty$ ). Τότε εἶναι  $\pi' = \varphi$ , δηλαδὴ τὸ εἶδωλον σχηματίζεται εἰς τὴν κυρίαν ἐστίαν, εἶναι **πραγματικόν**, ἀλλ' εἶναι **σημεῖον**.

2. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται πέραν τοῦ κέντρου καμπυλότητος ( $\pi > 2\varphi$ ). Ἐκ τῆς γεωμετρικῆς κατασκευῆς (σχ. 26) εὐρίσκεται ὅτι τὸ εἶδωλον σχηματίζεται μεταξύ τῆς κυρίας ἐστίας καὶ τοῦ κέντρου καμπυλότητος ( $\varphi < \pi' < 2\varphi$ ), εἶναι δὲ **πραγματικόν**, **ἀνεστραμμένον καὶ μικρότερον** ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον.

3. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὸ κέντρον καμπυλότητος ( $\pi = 2\varphi$ ). Τότε εἶναι  $\pi' = 2\varphi$ , δηλαδὴ καὶ τὸ εἶδωλον σχηματίζεται εἰς τὸ κέντρον καμπυλότητος, εἶναι δὲ **πραγματικόν, ἀνεστραμμένον καὶ ἴσον** μὲ τὸ ἀντικείμενον.

4. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται μεταξύ τῆς κυρίας ἐστίας καὶ τοῦ κέντρου καμπυλότητος ( $\varphi < \pi < 2\varphi$ ). Τότε τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πέραν τοῦ κέντρου καμπυλότητος ( $\pi' > 2\varphi$ ), εἶναι δὲ **πραγματικόν, ἀνεστραμμένον καὶ μεγαλύτερον** ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον.

5. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὴν κυρίαν ἐστίαν ( $\pi = \varphi$ ). Τότε



Σχ. 26. Μεταβολὴ τῆς θέσεως καὶ τοῦ μεγέθους τοῦ εἰδώλου. Τὸ εἶδωλον  $6'$  εἶναι φανταστικόν.

τὸ εἶδωλον σχηματίζεται εἰς τὸ ἄπειρον, δηλαδὴ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν δὲν ὑπάρχει εἶδωλον.

6. Τέλος τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται μεταξύ τῆς κυρίας ἐστίας καὶ τοῦ κατόπτρου ( $\pi < \varphi$ ). Τότε εἶναι  $\frac{\varphi}{\pi} > 1$  καὶ ἀπὸ τὸν τύπον (3) συνάγεται ὅτι τὸ  $\pi'$  ἔχει ἀρνητικὴν τιμὴν ( $\pi' < 0$ ). Ἐκ τῆς γεωμετρικῆς κατασκευῆς εὐρίσκεται ὅτι τὸ εἶδωλον σχηματίζεται ὀπισθεν τοῦ κατόπτρου καὶ εἶναι **φανταστικόν, ὀρθόν καὶ μεγαλύτερον** ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον.

Τὰ ἀνωτέρω ἐπαληθεύονται καὶ πειραματικῶς.

21. Ἀνακεφαλαίωσις διὰ τὰ κοίλα κάτοπτρα.—Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγονται τὰ ἀκόλουθα γενικά συμπεράσματα διὰ τὰ **κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα**:

I. Ὄταν τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται πέραν τῆς κυρίας ἐστίας, καὶ τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πέραν τῆς κυρίας ἐστίας, εἶναι δὲ πάντοτε **πραγματικὸν** καὶ ἀνεστραμμένον.

II. Ὄταν τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται μεταξύ τῆς κυρίας ἐστίας καὶ τοῦ κατόπτρου, τὸ εἶδωλον σχηματίζεται ὀπισθεν αὐτοῦ, εἶναι δὲ πάντοτε **φανταστικόν**, ὀρθὸν καὶ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον.

III. Γενικῶς ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου προσδιορίζονται εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις ἀπὸ τοὺς ἐξῆς τύπους:

$$\text{τύποι τῶν κοίλων κατόπτρων: } \frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}, \quad \frac{A}{E} = \frac{\pi'}{\pi}$$

ὑπὸ τὸν ὅρον νὰ δεχθῶμεν τὴν ἐξῆς σύμβασιν ὡς πρὸς τὰ σημεῖα:

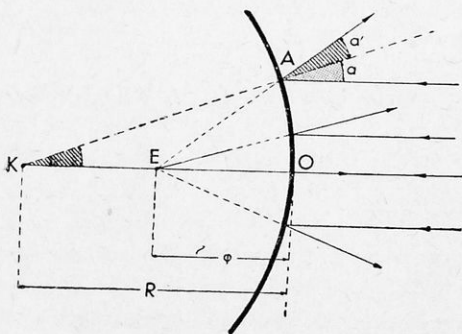
$\pi$	θετικόν:	ἀντικείμενον	πραγματικόν
$\pi'$	θετικόν:	εἶδωλον	πραγματικόν
$\pi'$	ἀρνητικόν:	εἶδωλον	φανταστικόν.

## II. ΚΥΡΤΑ ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

22. Κυρία ἐστία καὶ ἐστιακὸν ἐπίπεδον.—Ἐπὶ τοῦ κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου προσπίπτει δέσμη φωτεινῶν ἀκτίνων παραλλήλων πρὸς τὸν κύριον ἄξονα (σχ. 27). Τὸ ἀνοιγμα τοῦ κατόπτρου εἶναι μικρὸν καὶ ἐπομένως δυνάμεθα νὰ θεωρήσωμεν ὅτι κατὰ προσέγγισιν εἶναι  $EO = EA$ . Τὸ τρίγωνον  $KEA$  εἶναι ἰσοσκελές. Ἄρα εἶναι  $EK = EA$  ἢ κατὰ προσέγγισιν

$$EK = EO = \frac{R}{2}. \quad \text{Ὅλοι λοι-$$

πὸν αἱ ἀνακλῶμεναι ἀκτῖνες φαινόνται προερχόμεναι ἀπὸ

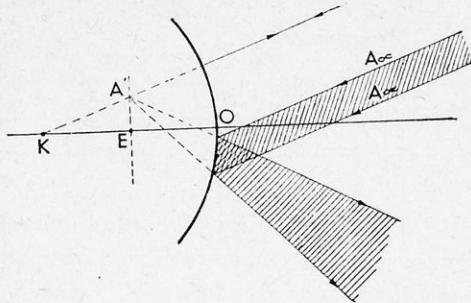


Σχ. 27. Ἡ κυρία ἐστία τοῦ κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου εἶναι φανταστικὴ.

την **φανταστικήν κυρίαν έστίαν** E, ή όποία εύρίσκεται εις τὸ μέσον τῆς ἀκτίνας καμπυλότητος τοῦ κατόπτρου. "Ωστε :

Ἡ έστιακή ἀπόστασις τοῦ κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου ἰσοῦται μέ τὸ ἥμισυ τῆς ἀκτίνας καμπυλότητος αὐτοῦ.

έστιακή ἀπόστασις:  $\varphi = \frac{R}{2}$

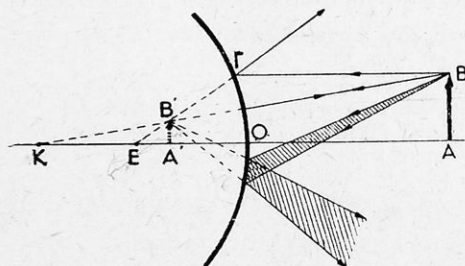


Σχ. 28. Τὸ έστιακὸν έπίπεδον τοῦ κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου εἶναι φανταστικόν.

"Όπως εις τὸ κοίλον κάτοπτρον, οὕτω καὶ εις τὸ κυρτὸν κάτοπτρον ὅλαι αἱ δευτερεύουσαι έστιαί θεωροῦνται εύρισχόμεναι ἐπὶ τοῦ **έστιακοῦ έπίπεδου**, τὰ ὅποια εἶναι ἀθετον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα εις τὸ σημεῖον E (σχ. 28).

Εἰς τὸ κυρτὸν κάτοπτρον ἡ κυρία έστία καὶ τὸ έστιακὸν έπίπεδον εἶναι φανταστικά.

**23. Εἶδωλον ἀντικειμένου.** — "Ας θεωρήσωμεν φωτεινὴν εὐθεΐαν AB κάθετον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα τοῦ κατόπτρου (σχ. 29).



Σχ. 29. Σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου φωτεινοῦ ἀντικειμένου.

θεν τοῦ κατόπτρου, εἶναι δὲ πάντοτε ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον. "Ωστε :

Αἱ ἀκτῖνες, αἱ ὁποῖαι προσπίπτουν κατὰ τὴν διεύθυνσιν τοῦ κυρίου ἄξονος ἢ οἰουδήποτε δευτερεύοντος ἄξονος, μετὰ τὴν ἀνάκλασιν των ἐπὶ τοῦ κατόπτρου, ἔχουν τὴν αὐτὴν διεύθυνσιν. Ἐργαζόμενοι λοιπὸν, ὅπως καὶ εις τὰ κοίλα κάτοπτρα, κατασκευάζομεν τὸ εἶδωλον A'B'. Τὸ εἶδωλον τοῦτο σχηματίζεται ὀπισθὸν καὶ μικρότερον



I. Εἰς τὰ κυρτὰ κάτοπτρα τὸ εἶδωλον εἶναι πάντοτε φανταστικόν, ὀρθὸν καὶ μικρότερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον, σχηματίζεται δὲ πάντοτε μεταξὺ τῆς κορυφῆς τοῦ κατόπτρου καὶ τῆς κυρίας ἐστίας του.

II. Ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου προσδιορίζονται ἀπὸ τοὺς ἐξῆς τύπους :

$$\text{τύποι τῶν κυρτῶν κατόπτρων : } \frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = -\frac{1}{\varphi}, \quad \frac{E}{A} = -\frac{\pi'}{\pi}$$

24. Γενικοὶ τύποι τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων. — Ἐὰν  $\pi$  καὶ  $\pi'$  καλέσωμεν ἀντιστοίχως τὰς ἀποστάσεις τοῦ ἀντικειμένου καὶ τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ σφαιρικὸν κάτοπτρον ( κοῖλον ἢ κυρτόν ),  $E$  καὶ  $A$  καλέσωμεν ἀντιστοίχως τὰς γραμμικὰς διαστάσεις τοῦ εἰδώλου καὶ τοῦ ἀντικειμένου, τὸ ὅποῖον θεωροῦμεν καὶ  $\theta$  ε τ ο ν πρὸς τὸν κύριον ἄξονα, τότε εἰς ὅλας τὰς δυνατὰς περιπτώσεις ἰσχύουν οἱ ἀκόλουθοι γενικοὶ τύποι τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων :

$$\text{γενικοὶ τύποι σφαιρικῶν κατόπτρων : } \varphi = \frac{R}{2}, \quad \frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}, \quad \frac{E}{A} = \frac{\pi'}{\pi}$$

ὑπὸ τὸν ὄρον ὅτι  $\theta$  ἀ θεωροῦμεν ὡς ἀρνητικοὺς τοὺς ὄρους, οἱ ὅποιοι ἀντιστοιχοῦν εἰς σημεῖα φανταστικά. Οὕτω διὰ **πραγματικὸν ἀντικείμενον** ἔχομεν τὰς ἐξῆς περιπτώσεις :

$$\left. \begin{array}{l} \text{κοῖλον σφαιρικὸν} \\ \text{κάτοπτρον} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi} \\ \frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{εἶδωλον πραγματικὸν } (\pi > \varphi) \\ \text{εἶδωλον φανταστικὸν } (\pi < \varphi) \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{κυρτὸν σφαιρικὸν} \\ \text{κάτοπτρον} \\ (\varphi < 0) \end{array} \right\} \frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = -\frac{1}{\varphi} \quad \text{εἶδωλον φανταστικὸν } (\pi' < 0)$$

Π α ρ α δ ε ἰ γ μ α τ α . 1 ) Κοῖλον σφαιρικὸν κάτοπτρον ἔχει ἀκτίνα καμπυλότητος  $R = 60$  cm. Καθέτως πρὸς τὸν κύριον ἄξονα τοποθετεῖται εὐθεῖα  $AB$  μήκους



5 cm, εις απόστασιν 40 cm από τὸ κάτοπτρον. Νὰ εὑρεθῇ ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου.

Ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις τοῦ κατόπτρου εἶναι :

$$f = \frac{R}{2} = 30 \text{ cm}$$

Ἀπὸ τὴν ἐξίσωσιν :  $\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{f}$

εὑρίσκομεν :  $\pi' = \frac{f \cdot \pi}{\pi - f} = \frac{30 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm}}{(40 - 30) \text{ cm}} = 120 \text{ cm}$

Τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου AB εὑρίσκεται ἀπὸ τὸν τύπον :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{\pi'}{\pi} \quad \text{ἄρα : } A'B' = 5 \text{ cm} \cdot \frac{120 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = 15 \text{ cm}$$

Τὸ εἶδωλον A'B' σχηματίζεται πέραν τοῦ κέντρου καμπυλότητος, εἶναι πραγματικόν, ἀνεστραμμένον καὶ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον AB.

2 ) Κυρτὸν σφαιρικὸν κάτοπτρον ἔχει ἀκτῖνα καμπυλότητος  $R = 16 \text{ cm}$ . Καθέτως πρὸς τὸν κύριον ἄξονα τοποθετεῖται φωτεινὴ εὐθεῖα AB μήκους 10 cm, εις απόστασιν 20 cm ἀπὸ τὸ κάτοπτρον. Νὰ εὑρεθῇ ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου.

Ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις τοῦ εἰδώλου εἶναι  $f = 8 \text{ cm}$ . Ἀπὸ τὴν ἐξίσωσιν :

$$\frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = -\frac{1}{f} \quad \text{ἔχομεν : } \pi' = \frac{f \cdot \pi}{f + \pi} = \frac{8 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}}{(8 + 20) \text{ cm}} = \frac{60 \text{ cm}}{28 \text{ cm}} = 5,7 \text{ cm}$$

Τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου A'B' εὑρίσκεται ἀπὸ τὸν τύπον :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{\pi'}{\pi} \quad \text{ἄρα : } A'B' = 10 \text{ cm} \cdot \frac{5,7 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 2,85 \text{ cm}$$

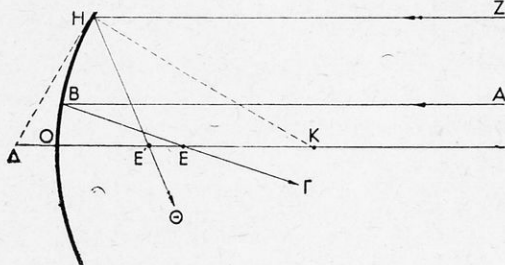
Τὸ εἶδωλον A'B' εἶναι φανταστικόν, ὀρθὸν καὶ μικρότερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον AB.

25. Σφάλματα τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων. — Τὰ ἀνωτέρω εὑρεθέντα συμπεράσματα ἰσχύουν, ἐὰν πραγματοποιοῦνται οἱ ἐξῆς ὅροι :

α.) τὸ ἄνοιγμα τοῦ κατόπτρου νὰ εἶναι πολὺ μικρὸν καὶ β.) αἱ φωτεινὰ ἀκτῖνες νὰ σχηματίζουν μικρὰν γωνίαν μετὰ τὸν κύριον ἄξονα τοῦ κατόπτρου. Ὄταν εἷς ἐκ τῶν δύο τούτων ὅρων δὲν πραγματοποιῆται, τότε αἱ ἐξ ἑνὸς σημείου τοῦ φωτεινοῦ ἀντικειμένου ἐκπεμπόμεναι ἀκτῖνες, μετὰ τὴν ἀνάκλασίν των ἐπὶ τοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου, δὲν συγκεντρῶ-

νονται εις ἓν σημεῖον καὶ ἔνεκα τούτου τὸ σχηματιζόμενον εἶδωλον δὲν εἶναι καθαρόν.

α) Σφαιρική ἐκτροπή. Εἰς ἓν κάτοπτρον μεγάλου ἀνοίγματος (σχ. 30) ἡ πλησίον τῆς περιφερείας τοῦ κατόπτρου προσπίπτουσα παραλλήλως πρὸς τὸν κύριον ἄξονα ἀκτὶς ΖΗ δίδει τὴν ἀνακλωμένην ΗΘ· αὕτη τέμνει τὸν κύριον ἄξονα εἰς τὸ σημεῖον Ε', τὸ ὁποῖον εἶναι τὸ μέσον τῆς ΚΔ. Ὅσον περισσότερο ἀπομακρύνεται τὸ σημεῖον προσπτώσεως Η ἀπὸ τὴν κορυφὴν Ο τοῦ κατόπτρου, τόσο περισσότερο πλησιάζει πρὸς τὴν κορυφὴν τὸ σημεῖον Ε', δηλαδή ἡ

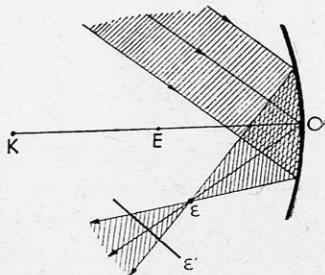


Σχ. 30. Σφαιρική ἐκτροπή.

τομή τῆς ἀνακλωμένης ἀκτίνος καὶ τοῦ κυρίου ἄξονος. Οὕτω διὰ τὰς ἀκτίννας, αἱ ὁποῖαι προσπίπτουν μακρὰν τῆς κορυφῆς, ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις εἶναι γενικῶς μικροτέρα τοῦ ἡμίσεος τῆς ἀκτίνος καμπυλότητος

( $\varphi < \frac{R}{2}$ ). Τὸ ἐλάττωμα τοῦτο τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων μεγάλου ἀνοίγματος ὀνομάζεται **σφαιρική ἐκτροπή**.

β) Ἀστιγματικὴ ἐκτροπή. Ἐπὶ ἑνὸς σφαιρικοῦ κατόπτρου, ἀδιὰφώρας ἂν τοῦτο εἶναι μικροῦ ἢ μεγάλου ἀνοίγματος, προσπίπτει φωτεινὴ δέσμη παραλλήλων ἀκτίνων σχηματίζουσα μεγάλην γωνίαν μετὰ τὸν κύριον ἄξονα (σχ. 31). Αἱ ἀνακλώμεναι ἀκτίνες δὲν σχηματίζουν κωνικὴν δέσμη, ἀλλὰ διέρχονται διὰ δύο μικρῶν εὐθειῶν, αἱ ὁποῖαι εἶναι κάθετοι μεταξύ των καὶ δὲν εὐρίσκονται ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ ἐπιπέδου· αἱ δύο αὗται μικραὶ εὐθεῖαι καλοῦνται **ἔστιακαὶ γραμμαί**. Εἰς τὸ σχῆμα 31 ἡ μὲν ἔστιακὴ γραμμὴ ε εἶναι κάθετος πρὸς τὸ ἐπίπεδον τοῦ σχήματος, ἡ δὲ ἔστιακὴ γραμμὴ ε' εὐρίσκεται ἐπὶ τοῦ ἐπι-



Σχ. 31. Ἀστιγματικὴ ἐκτροπή.

πέδου τοῦ σχήματος. Τὸ ἐλάττωμα τοῦτο τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων καλεῖται **ἄστιγματική ἔκτροπή**.

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

12. Ἐπὶ τοῦ κυρίου ἄξονος κοίλου κατόπτρου καὶ εἰς ἀπόστασιν δεκαπλασίαν τῆς ἑστιακῆς ἀποστάσεως φ εὐρίσκεται φωτεινὸν σημεῖον. Πόσον ἀπέχει τὸ εἶδωλον ἀπὸ τῆν φωτεινὴν πηγὴν ;

13. Κοῖλον σφαιρικὸν κατόπτρον ἔχει ἀκτῖνα καμπυλότητος 40 cm. Ποῦ πρέπει νὰ τεθῆ ἀντικείμενον AB, διὰ νὰ λάβωμεν εἶδωλον πραγματικὸν τρεῖς φορές μεγαλύτερον ἢ τέσσαρας φορές μικρότερον τοῦ ἀντικειμένου ;

14. Κοῖλον σφαιρικὸν κατόπτρον ἔχει ἑστιακὴν ἀπόστασιν φ. Εἰς πόσῃν ἀπόστασιν ἀπὸ τὸ κατόπτρον πρέπει νὰ τεθῆ ἀντικείμενον, διὰ νὰ λάβωμεν εἶδωλον φανταστικὸν διπλάσιον τοῦ ἀντικειμένου ἢ εἶδωλον πραγματικὸν διπλάσιον τοῦ ἀντικειμένου ;

15. Κοῖλον σφαιρικὸν κατόπτρον δίδει ὀρθὸν εἶδωλον 5 φορές μεγαλύτερον τοῦ ἀντικειμένου. Ἡ ἀπόστασις τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον εἶναι 80 cm. Νὰ εὐρεθῆ ἡ ἀπόστασις τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸ κατόπτρον καὶ ἡ ἑστιακὴ ἀπόστασις τοῦ κατόπτρου.

16. Παρατηρητῆς βλέπει τὸν ὀφθαλμὸν του AB μήκους 3 cm ἐντὸς κοίλου κατόπτρου, τὸ ὁποῖον κρατεῖ εἰς ἀπόστασιν 10 cm ἀπὸ τὸν ὀφθαλμὸν· ἡ ἑστιακὴ ἀπόστασις τοῦ κατόπτρου εἶναι 12 cm. Ὑπὸ ποίαν φαινόμενην διάμετρον βλέπει τὸ εἶδωλον τοῦτο ; Νὰ συγκριθῆ ἡ φαινόμενη αὐτὴ διάμετρος τοῦ εἰδώλου πρὸς τὴν φαινόμενην διάμετρον τοῦ εἰδώλου, τὸ ὁποῖον θὰ ἐ σχηματίζετο ὑπὸ ἐνὸς ἐπιπέδου κατόπτρου εὐρισκομένου εἰς τὴν ἰδίαν ἀπόστασιν ἀπὸ τὸν ὀφθαλμὸν.

17. Ἀντικείμενον ἀπέχει 75 cm ἀπὸ ἓνα τοῖχον. Νὰ εὐρεθῆ ποῦ πρέπει νὰ τοποθετήσωμεν κοῖλον κατόπτρον, ἑστιακῆς ἀποστάσεως  $\varphi = 20$  cm, διὰ νὰ λάβωμεν ἐπὶ τοῦ τοίχου εὐκρινὲς εἶδωλον τοῦ ἀντικειμένου.

18. Ἡ μέση φαινόμενη διάμετρος τῆς Σελήνης εἶναι 31'. Πόση εἶναι ἡ διάμετρος τοῦ εἰδώλου τῆς Σελήνης, τὸ ὁποῖον δίδει κοῖλον κατόπτρον ἑστιακῆς ἀποστάσεως 12,90 m ;

19. Ἐν φωτεινὸν σημεῖον A ἀπέχει 40 cm ἀπὸ κοῖλον κατόπτρον K ἑστιακῆς ἀποστάσεως 30 cm. Καθῆτως πρὸς τὸν ἄξονα τοῦ κατόπτρου τούτου τοποθετεῖται ἐπίπεδον κατόπτρον K'. Ποῦ πρέπει νὰ τοποθετηθῆ τὸ κατόπτρον τοῦτο, ὥστε αἱ ἀκτῖνες, αἱ ἀναχωροῦσαι ἐκ τοῦ A', ἀφοῦ ἀνακλασθοῦν διαδοχικῶς ἐπὶ τῶν δύο κατόπτρων, νὰ συγκεντρῶνονται εἰς τὸ σημεῖον A ;

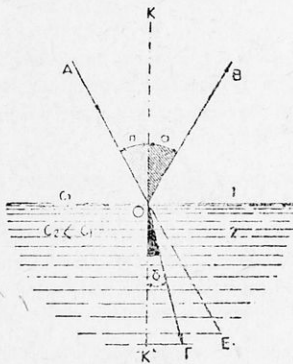
20. Κυρτὸν σφαιρικὸν κατόπτρον δίδει εἶδωλον 8 φορές μικρότερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον. Ἡ ἀπόστασις τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον φαίνεται ὅτι εἶναι 80 cm.

Να εύρεθουν ή απόστασις τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸ κάτοπτρον καὶ ἡ ἀκτίς καμπυλότητος τοῦ κατόπτρου.

21. Δύο σφαιρικά κάτοπτρα, τὸ ἐν κυρτὸν  $M_1$  καὶ τὸ ἄλλο κοῖλον  $M_2$  ἔχουν τὴν ἴδιαν ἀκτίνα καμπυλότητος 20 cm. Οἱ κύριοι ἄξονές των συμπίπτουν, αἱ δὲ κατοπτρικοί ἐπιφάνειαι των εἶναι ἡ μία ἀπέναντι τῆς ἄλλης οὔτως, ὥστε αἱ κορυφαί των νὰ ἀπέχουν 40 cm. Εἰς τὸ μέσον τῆς ἀποστάσεως αὐτῆς τοποθετεῖται φωτεινὸν ἀντικείμενον. Νὰ εύρεθῇ ἡ θέσις τοῦ εἰδώλου, τὸ ὁποῖον σχηματίζεται μετὰ τὴν ἀνάκλασιν τῶν ἀκτίνων πρῶτον ἐπὶ τοῦ κυρτοῦ καὶ ἔπειτα ἐπὶ τοῦ κοίλου κατόπτρου.

## ΔΙΑΘΛΑΣΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

26. Ὁρισμός.—Ὅταν μία λεπτή δέσμη φωτεινῶν ἀκτίνων (μονο-



Σχ. 32 Διάθλασις τοῦ φωτός.

χρόου φωτός), προσπίπτῃ πλαγίως ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας διαχωρισμοῦ δύο διαφορετικῶν διαφανῶν μέσων, τότε μέρος μὲν τοῦ φωτός ἀνακλᾶται, ἄλλο δὲ μέρος τοῦ φωτός εισέρχεται ἐντὸς τοῦ δευτέρου διαφανοῦς μέσου. Ἡ ἐντὸς τοῦ δευτέρου μέσου εἰσερχομένη ἀκτίς ἀκολουθεῖ ὀρισμένην διεύθυνσιν, ἡ ὁποία δὲν συμπίπτει μὲ τὴν διεύθυνσιν τῆς προσπιπτούσης ἀκτίνος (σχ. 32). Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλεῖται **διάθλασις** τοῦ φωτός. Ἡ γωνία  $\Gamma O K'$  καλεῖται **γωνία διαθλάσεως**.

27. Νόμοι τῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός.—Ἐκ τῆς μελέτης τοῦ φαινομένου τῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός εὑρέθησαν οἱ ἀκόλουθοι **νόμοι τῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός**:

1. Ἡ προσπίπτουσα καὶ ἡ διαθλωμένη ἀκτίς εὐρίσκονται εἰς τὸ αὐτὸ ἐπίπεδον μὲ τὴν κάθετον εἰς τὸ σημεῖον προσπτώσεως.

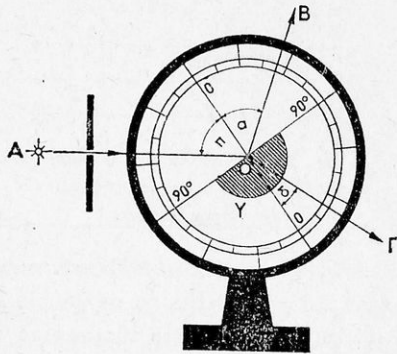
2. Ὁ λόγος τοῦ ἡμίτονου τῆς γωνίας προσπτώσεως πρὸς τὸ ἡμίτονον τῆς γωνίας διαθλάσεως εἶναι σταθερὸς καὶ καλεῖται δει-

κτης διαθλάσεως· ούτος ίσοῦται πρὸς τὸν λόγον τῶν ταχυτήτων διαδόσεως τοῦ φωτός εἰς τὰ δύο διαφανῆ μέσα :

$$\text{δείκτης διαθλάσεως } n_{1,2} = \frac{\eta\mu \pi}{\eta\mu \delta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Ὁ δείκτης διαθλάσεως ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς φύσεως τοῦ σώματος καὶ εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπὸ τὴν γωνίαν προσπτώσεως.

Οἱ νόμοι τῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός ἀποδεικνύονται πειραματικῶς μὲ τὴν συσκευὴν, τὴν ὁποίαν δεῖκνυει τὸ σχῆμα 33. Εἰς τὸ κέντρον τοῦ κατακορύφου δίσκου τοποθετεῖται ὑάλινος ἡμικύλινδρος Υ'. Ἡ προσπίπτουσα ἀκτὶς προσπίπτει εἰς τὸν ἀξονα τοῦ κυλίνδρου κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς ἀκτίνος τοῦ κατακορύφου δίσκου. Τὸ φῶς εἰσερχόμενον ἀπὸ τὸν ἀέρα εἰς τὴν ὕαλον ὑφίσταται διάθλασιν· παρατηροῦμεν ὅτι ἡ γωνία διαθλάσεως δ εἶναι μικρότερα ἀπὸ τὴν γωνίαν προσπτώσεως π ( ἡ διαθλωμένη ἀκτὶς πλησιάζει πρὸς τὴν κάθετον ). Τὸ φῶς ἐξερχόμενον ἔπειτα ἀπὸ τὴν ὕαλον εἰς τὸν ἀέρα δ ἐν ὑφίσταται διάθλασιν, διότι προσπίπτει καθέτως ἐπὶ τῆς κυλινδρικής ἐπιφανείας διαχωρισμοῦ τῶν δύο μέσων ( εἶναι π = 0°, ἄρα εἶναι καὶ δ = 0° ).



Σχ. 33. Διὰ τὴν ἀπόδειξιν τῶν νόμων τῆς διαθλάσεως.

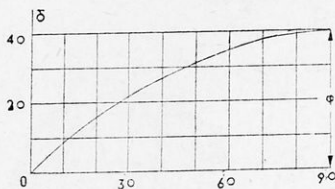
28. Ὅρικὴ γωνία.— Ἐκ τῶν δύο διαφανῶν μέσων ἐκεῖνο, εἰς τὸ ὁποῖον ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός ἔχει τὴν μικρότεραν τιμὴν, καλεῖται ὀπτικῶς πυκνότερον ἢ διαθλαστικώτερον. Οὕτω τὸ ὕδωρ, ἡ ὕαλος κ.ἄ. εἶναι ὀπτικῶς πυκνότερα μέσα ἀπὸ τὸν ἀέρα. Τὸ ὀπτικῶς πυκνότερον μέσον δὲν εἶναι πάντοτε καὶ φυσικῶς πυκνότερον ἀπὸ τὸ ἄλλο μέσον· οὕτω τὸ οἰνόπνευμα εἶναι ὀπτικῶς πυκνότερον ἀπὸ τὸ ὕδωρ. Τὸ ὀπτικῶς πυκνότερον μέσον ἀναγνωρίζεται ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι, ὅταν τὸ φῶς εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ μέσου τούτου, ἡ σχηματι-



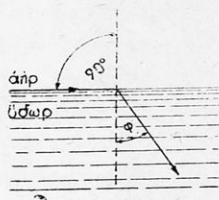
ζομένη γωνία διαθλάσεως είναι πάντοτε μικρότερα από την γωνίαν προσπτώσεως. Άρα :

Όταν τὸ φῶς εἰσέρχεται εἰς ὀπτικῶς πυκνότερον μέσον, ἢ διαθλωμένη ἀκτίς πλησιάζει πρὸς τὴν κάθετον (σχ. 32).

Ἐὰν τὸ φῶς προσπίπτῃ καθέτως ( $\pi = 0^\circ$ ) ἐπὶ τῆς διαχωριστικῆς ἐπιφανείας τῶν δύο μέσων (διαθλώσα ἐπιφάνεια), τότε



Σχ. 34. Μεταβολὴ τῆς γωνίας διαθλάσεως ( $\delta$ ) μετὰ τῆς γωνίας προσπτώσεως.



Σχ. 35. Ἡ ὀρικὴ γωνία ἀντιστοιχεῖ εἰς γωνίαν προσπτώσεως  $90^\circ$ .

τὸ φῶς δὲν ὑφίσταται διάθλασιν κατὰ τὴν εἴσοδόν του εἰς τὸ δεύτερον μέσον ( $\delta = 0^\circ$ ). Εἰς τὸ σχῆμα 34 δεικνύεται ἡ μεταβολὴ τῆς γωνίας διαθλάσεως συναρτήσῃ τῆς γωνίας προσπτώσεως. Παρατηροῦμεν ὅτι, αὐξανομένης τῆς γωνίας προσπτώσεως  $\pi$ , αὐξάνεται καὶ ἡ γωνία διαθλάσεως  $\delta$ , ἀλλὰ παραμένει πάντοτε μικροτέρα τῆς γωνίας προσπτώσεως. Όταν λοιπὸν ἡ γωνία προσπτώσεως  $\pi$  τείνῃ πρὸς τὴν ὀρικὴν τιμὴν  $90^\circ$ , ἡ γωνία διαθλάσεως τείνει πρὸς μίαν ὀρικὴν τιμὴν  $\phi$ , ἡ ὁποία καλεῖται ὀρικὴ γωνία (σχ. 35). Ἡ τιμὴ τῆς ὀρικῆς γωνίας εὐρίσκειται ἀπὸ τὴν σχέσιν :

$$v = \frac{\eta_{\mu} 90^\circ}{\eta_{\mu} \phi} \quad \text{ἄρα}$$

$$\eta_{\mu} \phi = \frac{1}{v}$$

Τὸ ἥμιτονον τῆς ὀρικῆς γωνίας ἰσοῦται μὲ τὸ ἀντίστροφον τοῦ δείκτου διαθλάσεως.

29. Ἀπόλυτος καὶ σχετικὸς δείκτης διαθλάσεως. — Ὁ δείκτης διαθλάσεως, ὁ ὁποῖος ἀντιστοιχεῖ εἰς μεταβάσιν τοῦ φωτὸς ἀπὸ τὸ κενὸν εἰς ἓν διαφανὲς σῶμα, καλεῖται ἀπόλυτος δείκτης διαθλά-



σεως του σώματος. Διά τον άερα ο απόλυτος δείκτης διαθλάσεως είναι 1,000 293. Είς την πράξιν λαμβάνομεν τον σχετικόν δείκτην διαθλάσεως του σώματος ως προς τον άερα και αντιστοιχεί εις μετάβασιν του φωτός από τον άερα εις τὸ θεωρούμενον σῶμα.

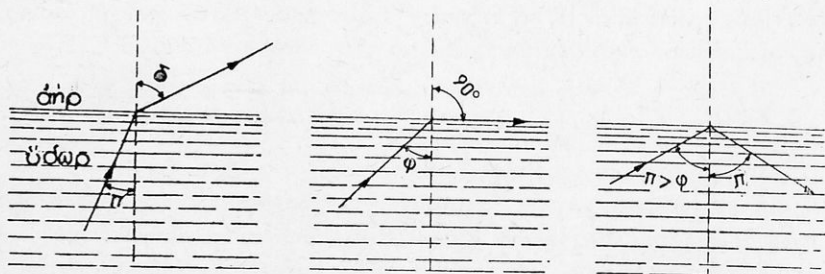
Δείκται διαθλάσεως ως προς τον άερα διά τὸ κίτρινον φῶς

Ἀδάμας.....	2,470
Διθειάνθραξ .....	1,629
Χλωριοῦχον νάτριον .....	1,544
Καναδικόν βάλσαμον .....	1,540
Βενζόλιον .....	1,501
Οινόπνευμα .....	1,361
Ὑδωρ .....	1,333
Ὑαλος κοινὴ .....	1,540
Πυριτύαλος βαρεῖα .....	1,963
Ἄηρ.....	1,000 293

Ἀπὸ τὰς μετρήσεις τῶν δεικτῶν διαθλάσεως εὐρέθη ὅτι :

Ὁ σχετικὸς δείκτης διαθλάσεως ἑνὸς σώματος ως προς τον άερα ἰσοῦται κατὰ μεγάλην προσέγγισιν με τον απόλυτον δείκτην διαθλάσεως του σώματος.

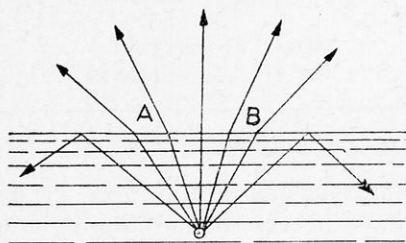
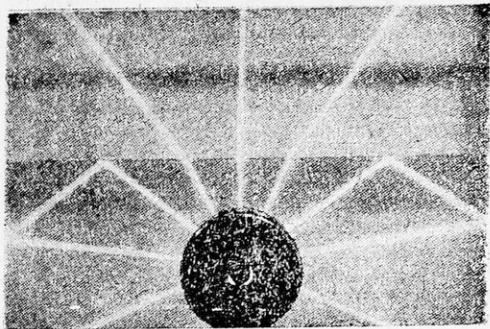
**30.** Ὅλικὴ ἀνάκλασις.— Ὅταν τὸ φῶς μεταβαίνει ἀπὸ ὀπτικῶς πυκνότερον μέσον εις ὀπτικῶς ἀραιότερον ( π.χ. ἐκ του ὕδατος εις τον



Σχ. 36. Ὅλικὴ ἀνάκλασις συμβαίνει, ὅταν εἶναι  $\pi > \phi$ .

άερα ), τότε συμφώνως προς την ἀρχὴν τῆς ἀντιστροφῆς πορείας του

φωτός ή διαθλωμένη ακτίς απομακρύνεται από την κάθετον, δηλαδή η γωνία διαθλάσεως είναι μεγαλύτερα από την γωνίαν προσπτώσεως.



Σχ. 37. Πειραματική διάταξις και σχηματική παράστασις τῆς διατάξεως διὰ τὴν ἀπόδειξιν τῆς ὀλικῆς ἀνσκλάσεως.

ὀπτικῶς πυκνότερον εἰς τὸ ὀπτικῶς ἀραιότερον μέσον καὶ ἡ γωνία προσπτώσεως εἶναι μεγαλύτερα ἀπὸ τὴν ὀρικὴν γωνίαν.

Πειραματικῶς δεικνύεται τὸ φαινόμενον τῆς ὀλικῆς ἀνακλάσεως μετὰ τὴν διάταξιν τοῦ σχήματος 37.

**31. Ἀποτελέσματα τῆς διαθλάσεως.** — α) Ἀτμοσφαιρική διάθλασις. Εἶναι γνωστὸν ὅτι ἡ ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς ἀποτελεῖται ἀπὸ στρώματα ἀέρος, τῶν ὁποίων ἡ πυκνότης ἐλαττώνεται, ὅσον ἀνερχόμεθα ἐντὸς αὐτῆς. Μία φωτεινὴ ἀκτίς, ἡ ὁποία προέρχεται ἀπὸ ἓνα ἀστέρα, κατὰ τὴν πορείαν τῆς ἐντὸς τῆς ἀτμοσφαίρας ὑφίσταται διαδοχικὰς διαθλάσεις. Ἐπειδὴ δὲ τὸ φῶς συνεχῶς εἰσέρχεται ἀπὸ ὀπτικῶς ἀραιότερον εἰς ὀπτικῶς πυκνότερον στρώμα, ἡ φωτεινὴ ἀκτίς δια-

Ἐὰν λοιπὸν εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ γωνία προσπτώσεως γίνῃ μεγαλύτερα ἀπὸ τὴν ὀρικὴν γωνίαν  $\varphi$ , τότε δὲν εἶναι πλέον δυνατὸν νὰ συμβῇ διάθλασις. Τὸ φῶς, ὅταν φθάσῃ εἰς τὴν διαχωριστικὴν ἐπιφάνειαν τῶν δύο μέσων, δὲν διαθλάται, ἀλλ' ἀνακλᾶται ἐξ ὁλοκλήρου καὶ ἐξακολουθεῖ νὰ διαδίδεται ἐντὸς τοῦ ὀπτικῶς πυκνότερου μέσου (σχ. 36). Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλεῖται ὀλικὴ ἀνάκλασις. Ὡστε :

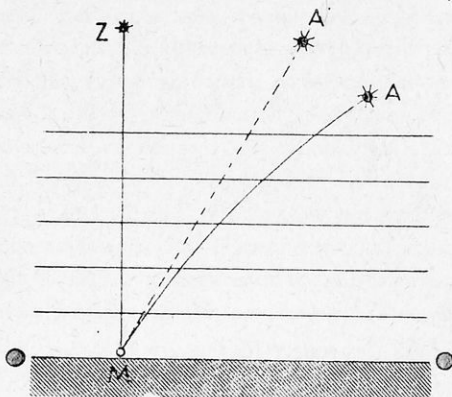
Ὀλικὴ ἀνάκλασις συμβαίνει ἐπὶ τῆς διαχωριστικῆς ἐπιφανείας δύο διαφανῶν μέσων, ὅταν τὸ φῶς μεταβαίῃ ἀπὸ τὸ

ὀπτικῶς ἀραιότερον εἰς τὸ ὀπτικῶς πυκνότερον μέσον καὶ ἡ γωνία προσπτώσεως εἶναι μεγαλύτερα ἀπὸ τὴν ὀρικὴν γωνίαν.

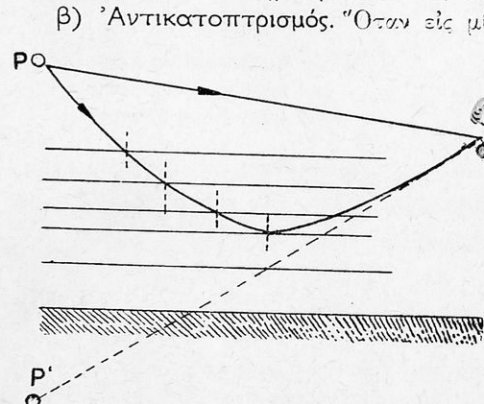
Πειραματικῶς δεικνύεται τὸ φαινόμενον τῆς ὀλικῆς ἀνακλάσεως μετὰ τὴν διάταξιν τοῦ σχήματος 37.

**31. Ἀποτελέσματα τῆς διαθλάσεως.** — α) Ἀτμοσφαιρική διάθλασις. Εἶναι γνωστὸν ὅτι ἡ ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς ἀποτελεῖται ἀπὸ στρώματα ἀέρος, τῶν ὁποίων ἡ πυκνότης ἐλαττώνεται, ὅσον ἀνερχόμεθα ἐντὸς αὐτῆς. Μία φωτεινὴ ἀκτίς, ἡ ὁποία προέρχεται ἀπὸ ἓνα ἀστέρα, κατὰ τὴν πορείαν τῆς ἐντὸς τῆς ἀτμοσφαίρας ὑφίσταται διαδοχικὰς διαθλάσεις. Ἐπειδὴ δὲ τὸ φῶς συνεχῶς εἰσέρχεται ἀπὸ ὀπτικῶς ἀραιότερον εἰς ὀπτικῶς πυκνότερον στρώμα, ἡ φωτεινὴ ἀκτίς δια-

θλάται πλησιάζουσα προς την κάθετον (σχ. 38). Ούτως ή φωτεινή ακτίς λαμβάνει μορφήν καμπύλης, ο δὲ ὀφθαλμὸς νομίζει ὅτι ὁ ἀστὴρ εὐρίσκεται εἰς τὴν θέσιν  $A'$ , ἥτοι βλέπει τὸν ἀστὴρα κατὰ τὴν ἐφαπτομένην τῆς καμπύλης  $AM$  εἰς τὸ σημεῖον  $M$ . Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλεῖται **ἀτμοσφαιρική διάθλασις** καὶ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα νὰ παρουσιάζῃ τὸν ἀστὴρα ὑψηλότερον ἀπὸ τὴν πραγματικὴν του θέσιν ὡς πρὸς τὸν ὀρίζοντα. Ἡ φαινομένη ἀνύψωσις τοῦ ἀστέρους εἶναι μεγαλυτέρα, ὅταν ὁ ἀστὴρ εὐρίσκεται πλησίον τοῦ ὀρίζοντος (περίπου  $34'$ ). Ἐπειδὴ ἡ φαινομένη διάμετρος τοῦ Ἡλίου καὶ τῆς Σελήνης εἶναι μικροτέρα τῶν  $34'$ , ἡ ἀτμοσφαιρική διάθλασις μᾶς παρουσιάζει τὸν δίσκον τοῦ Ἡλίου ἢ τῆς Σελήνης ὡς ἐπικαθήμενον τοῦ ὀρίζοντος, ἐνῶ πραγματικῶς δὲν ἀνέτειλεν ἀκόμη ἢ ἔχει δύσει πρὸ ὀλίγου. Δὲν συμβαίνει ἀτμοσφαιρική διάθλασις, ὅταν ὁ ἀστὴρ εὐρίσκεται εἰς τὸ Ζενίθ.



Σχ. 38. Ἀτμοσφαιρική διάθλασις.



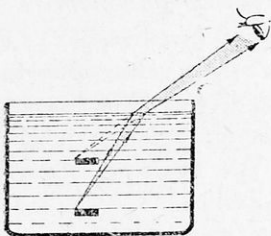
Σχ. 39. Ἀντικατοπτρισμός.

β) Ἀντικατοπτρισμός. Ὄταν εἰς μίαν περιοχὴν ἐπικρατῇ νηγεμία καὶ τὸ ἔδαφος θερμανθῇ πολὺ (π. γ. εἰς τὰς ἐρήμους), τότε τὰ πλησίον τοῦ ἐδάφους στρώματα τοῦ ἀέρος θερμαίνονται πολὺ καὶ εἶναι δυνατὸν νὰ γίνουσι ἀραιότερα ἀπὸ τὰ ὑπερκειμένα στρώματα. Μία φωτεινὴ ἀκτίς, προερχομένη ἀπὸ ἐν ὑψηλὸν ἀντικείμενον, εἰσέρχεται τότε συνεχῶς ἀπὸ ὀπτικῶς πυκνότερον εἰς ὀπτικῶς

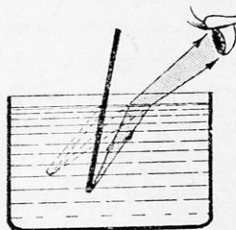
ἀραιότερον στρώμα ἀέρος καὶ ἐπομένως διαθλάται ἀπομακρυνομένη

ἀπὸ τὴν κάθετον (σχ. 39). Εἰς τὴν διαχωριστικὴν ἐπιφάνειαν δύο τοιούτων στρωμάτων ἢ φωτεινὴ ἀκτὶς ὑφίσταται τότε ὀλίγη ἀνάκλασιν καὶ ἀκολουθεῖ μίαν συμμετρικὴν πορείαν, διότι τώρα εἰσέρχεται συνεχῶς ἀπὸ ὀπτικῶς ἀραιότερα εἰς ὀπτικῶς πυκνότερα στρώματα. Οὕτως ὁ ὀφθαλμὸς βλέπει μὲν τὸ ἀντικείμενον, ὅπως εἶναι εἰς τὴν πραγματικότητά, συγχρόνως ὅμως βλέπει τὸ ἴδιον ἀντικείμενον ἀνεστραμμένον, ὡς ἐὰν εἶχεν ἐνώπιόν του ἡρεμοῦσαν ἐπιφάνειαν ὕδατος (ἐπίπεδον κάτοπτρον). Τὸ φαινόμενον τοῦτο καλεῖται **ἀντικατοπτρισμὸς** καὶ παρατηρεῖται συνήθως εἰς τὰς ἐρήμους κατὰ τὰς μεσημβρινὰς ὥρας. Φαινόμενα ἀντικατοπτρισμοῦ παρατηροῦνται πολλάκις καὶ εἰς τὰς ἀκτὰς, ὅποτε τὰ μακρὰν εὐρισκόμενα τμήματα τῆς ξηρᾶς (ἀκρωτήρια, νῆσοι) φαίνονται ἀνυψωθέντα ἄνωθεν τῆς ἐπιφανείας τῆς θαλάσσης.

γ) Φαινομένη ἀνύψωσις. Ἔνεκα τῆς διαθλάσεως ὁ πυθμὴν ἐνὸς δοχείου περιέχοντος ὕδωρ ὑφίσταται μίαν φαινομένην ἀνύψωσιν. Ὁ-



Σχ. 40. Φαινομένη ἀνύψωσις σώματος εὐρισκόμενου ἐντὸς ὕδατος.



Σχ. 41. Φαινομένη θραῦσις ράβδου βυθισμένης ἐν μέρει ἐντὸς ὕδατος.

μοίαν ἀνύψωσιν ὑφίστανται καὶ τὰ σώματα, τὰ εὐρισκόμενα ἐντὸς ὕδατος (σχ. 40). Εἰς τοῦτο δὲ ὀφείλεται τὸ ὅτι μία ράβδος, ὅταν βυθίζεται ἐντὸς ὕδατος, φαίνεται τεθλασμένη (σχ. 41).

#### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

22. Φωτεινὴ ἀκτὶς εἰσέρχεται ἀπὸ τὸν ἀέρα ἐντὸς διαφανοῦς σώματος Α. Ἡ γωνία προσπτώσεως εἶναι  $45^\circ$ , ἡ δὲ γωνία διαθλάσεως εἶναι  $30^\circ$ . Πόσος εἶναι ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ σώματος Α;

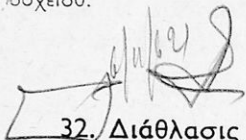
23. Φωτεινὴ ἀκτὶς προσπίπτει ἐπὶ ὑαλίνης πλακῶς ὑπὸ γωνίαν  $60^\circ$ . Ὁ δείκτης διαθλάσεως τῆς ὑάλου εἶναι  $3/2$ . Πόση εἶναι ἡ γωνία διαθλάσεως;

24. Ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ ὕδατος εἶναι  $4/3$ . Πόση εἶναι ἡ ταχύτης διαδόσεως τοῦ φωτός εἰς τὸ ὕδωρ;

25. Φωτεινὴ ἀκτὴ προσπίπτει ὑπὸ γωνίαν  $45^\circ$  ἐπὶ ὑαλίνης πλακῆς. Ὁ δείκτης διαθλάσεως τῆς ὑάλου εἶναι  $\sqrt{2}$ . Πόσην ἔκτροπὴν ὑφίσταται ἡ φωτεινὴ ἀκτὴ κατὰ τὴν εἰσοδὸν τῆς εἰς τὴν ὑάλον;

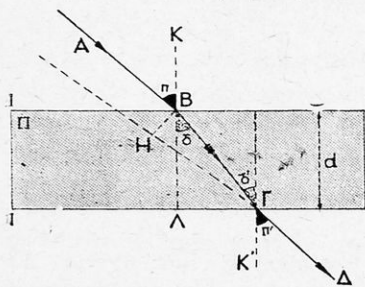
26. Πόση εἶναι ἡ ὀρθὴ γωνία ὡς πρὸς τὸν ἀέρα τῆς ὑάλου ( $n = 1,5$ ) καὶ τοῦ ἀδάμαντος ( $n = 2,4$ );

27. Δοχεῖον περιέχει ὕγρον, τὸ ὁποῖον ἔχει δείκτην διαθλάσεως  $n = \sqrt{2}$  καὶ σχηματίζει στήλην ὕψους 9 cm. Ἐπὶ τοῦ ὕγρου ἐπιπλέει κυκλικὸς δίσκος φελλοῦ, ὁ ὁποῖος ἔχει διάμετρον 8 cm, καὶ πάχος ἀσήμαντον. Ἐνθὺν τοῦ κέντρου τοῦ δίσκου καὶ εἰς ἀπόστασιν 4 cm ὑπάρχει σημειώδης φωτεινὴ πηγὴ. Νὰ εὑρεθῇ ἡ διάμετρος τοῦ σκοτεινοῦ κύκλου, ὁ ὁποῖος σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ πυθμένος τοῦ δοχείου.



ΠΛΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΙΣΜΑΤΑ

32. Διάθλασις διὰ πλακὸς μὲ παραλλήλους ἑδρας. — Ἄς ὑποθέσωμεν ὅτι ἐν ὁμογενῆς καὶ ἰσότροπον διαφανῆς μέσον  $\Pi$  χωρίζεται ἀπὸ τὸ περίξ αὐτοῦ διαφανῆς μέσον  $I$  μὲ δύο παράλληλα ἐπίπεδα. Τότε τὸ μέσον  $\Pi$  ἀποτελεῖ μίαν **πλάκα μὲ παραλλήλους ἑδρας** (σχ. 42). Τοιοῦτον σύστημα διαφανῶν μέσων ἀποτελεῖ μία ὑαλινὴ πλάξ εὐρισκομένη ἐντὸς τοῦ ἀέρος. Αἱ δύο γωνίαι  $\delta$  καὶ  $\delta'$ , αἱ σχηματιζόμεναι ἐντὸς τῆς ὑάλου, εἶναι ἴσαι ὡς ἐντὸς ἐναλλάξ. Ἐπομένως διὰ τὰς δύο διαθλάσεις τῆς προσπιπτούσης ἀκτίνος  $AB$  ἰσχύουν αἱ σχέσεις :



Σχ. 42. Κατὰ τὴν διάθλασιν διὰ πλακὸς ἡ ἀκτὴς ὑφίσταται παράλληλον μετατόπισιν.

$$\text{διάθλασις εἰς τὸ σημεῖον } B : n = \frac{\eta \mu \pi}{\eta \mu \delta}$$

$$\text{διάθλασις εἰς τὸ σημεῖον } \Gamma : n = \frac{\eta \mu \pi'}{\eta \mu \delta'}$$

Ἄρα  $\pi = \pi'$ . Ἡ ἀκτὴς  $\Gamma\Delta$ , ἡ ἐξερχομένη ἀπὸ τὴν πλάκα, εἶναι παράλληλος πρὸς τὴν προσπίπτουσαν ἀκτῖνα  $AB$ . Ὡστε διὰ τὴν



άνωτέρω μερικὴν περίπτωσιν, κατὰ τὴν ὁποίαν ἡ πλάξ ἔχει ἑκατέρωθεν αὐτῆς τὸ ἴδιον διαφανὲς μέσον, συνάγεται τὸ ἀκόλουθον συμπέρασμα :

Ὅταν μία φωτεινὴ ἀκτίς διέρχεται διὰ πλάκὸς μὲ παραλλήλους ἑδρας, τότε ἡ ἀκτίς ὑφίσταται μόνον παράλληλον μετατόπισιν.

**33. Διάθλασις διὰ πρίσματος.** — α) Ὅρισμοί. Εἰς τὴν Ὀπτικὴν καλοῦμεν **πρίσμα** ἓν ὁμογενὲς καὶ ἰσότροπον διαφανὲς μέσον, τὸ ὁποῖον περιορίζεται ἀπὸ δύο τεμνομένας ἐπιπέδους ἐπιφανείας. Ἡ τομὴ τῶν δύο τούτων ἐπιφανειῶν καλεῖται ἀκμὴ τοῦ πρίσματος. Ἡ διεδρὸς γωνία, τὴν ὁποίαν σχηματίζουν αἱ ἑδραὶ τοῦ πρίσματος, καλεῖται **διαθλαστικὴ γωνία** τοῦ πρίσματος, ἡ δὲ τομὴ τοῦ πρίσματος καθέτως πρὸς τὴν ἀκμὴν αὐτοῦ καλεῖται **κυρία τομὴ** τοῦ πρίσματος. Εἰς τὴν κατωτέρω ἔρευναν τοῦ πρίσματος θὰ ὑποθέσωμεν ὅτι πραγματοποιοῦνται αἱ ἀκόλουθοι δύο συνθήκαι : α) Ἡ προσπίπτουσα ἀκτίς εὐρίσκεται ἐπὶ μιᾶς κυρίας τομῆς τοῦ πρίσματος. Τότε συμφώνως πρὸς τὸν νόμον τῆς διαθλάσεως καὶ ἡ διαθλωμένη ἀκτίς εὐρίσκεται ἐπὶ τῆς αὐτῆς κυρίας τομῆς. β) Τὸ χρησιμοποιούμενον φῶς εἶναι μονόχρουν. Διότι, ἂν ἐπὶ τοῦ πρίσματος προσπέσῃ λευκὸν φῶς, τοῦτο διερχόμενον διὰ τοῦ πρίσματος ὑφίσταται ἀνάλυσιν εἰς πολλὰ ἀπλὰ χρώματα.

β) Ἐρευνα τῆς διαθλάσεως διὰ πρίσματος. Τὸ σχῆμα 43 παριστᾷ μίαν κυρίαν τομὴν πρίσματος ἔχοντος διαθλαστικὴν γωνίαν  $A$  καὶ δείκτην διαθλάσεως  $n$  ὡς πρὸς τὸν ἀέρα. Ἡ φωτεινὴ ἀκτίς  $ZH$  διαθλάται εἰς τὰ σημεῖα  $H$  καὶ  $\Theta$ . Διὰ τὰς δύο αὐτὰς διαθλάσεις ἰσχύουν αἱ σχέσεις :

$$\eta\mu \pi_1 = n \cdot \eta\mu \delta_1$$

$$\eta\mu \pi_2 = n \cdot \eta\mu \delta_2$$

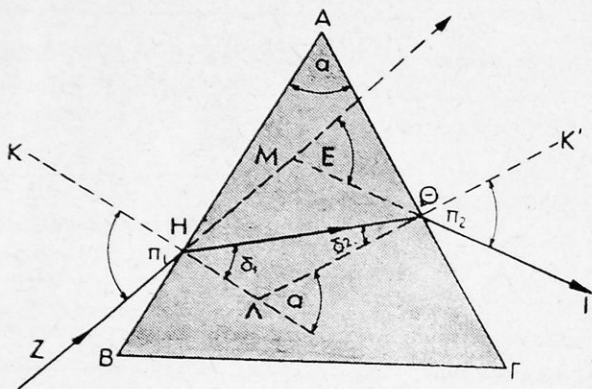
Ἡ γωνία  $\alpha$ , τὴν ὁποίαν σχηματίζουν εἰς τὸ  $\Lambda$  αἱ δύο τεμνόμεναι κάθετοι, εἶναι ἴση μὲ τὴν διαθλαστικὴν γωνίαν  $A$  τοῦ πρίσματος. Ἐπειδὴ δὲ ἡ  $\alpha$  εἶναι ἐξωτερικὴ γωνία τοῦ τριγώνου  $\Lambda H \Theta$ , ἔχομεν :

$$\alpha = \delta_1 + \delta_2 \quad \eta \quad A = \delta_1 + \delta_2$$



Ἡ γωνία  $E$ , τὴν ὁποίαν σχηματίζουν αἱ προεκτάσεις τῆς προσπιπτούσης ἀκτῖνος  $ZH$  καὶ τῆς ἐξερχομένης ἀκτῖνος  $\Theta I$ , καλεῖται **γωνία ἐκτροπῆς** καὶ εἶναι ἐξωτερικὴ γωνία τοῦ τριγώνου  $HM\Theta$ . Ἄρα εἶναι :

$$E = (\pi_1 - \delta_1) + (\pi_2 - \delta_2) \quad \text{ἢ} \quad E = \pi_1 + \pi_2 - (\delta_1 + \delta_2)$$



Σχ. 43. Διάθλασις διὰ πρίσματος.

Ἐπομένως ἔχομεν :  $E = \pi_1 + \pi_2 - A$ . Ἀπὸ τὰ ἀνωτέρω συνάγεται τὸ ἀκόλουθον συμπέρασμα :

Ὅταν μίᾳ φωτεινῇ ἀκτὶς διέρχεται διὰ πρίσματος, τότε ἡ ἀκτὶς ὑφίσταται ἐκτροπὴν πρὸς τὴν βάσιν τοῦ πρίσματος.

Διάθλασις διὰ πρίσματος :	$n \mu \pi_1 = n \cdot \eta \mu \delta_1$	(1)
	$n \mu \pi_2 = n \cdot \eta \mu \delta_2$	(2)
	$A = \delta_1 + \delta_2$	(3)
	$E = \pi_1 + \pi_2 - A$	(4)

γ) Διάθλασις διὰ λεπτοῦ πρίσματος. Ἐὰν ἡ διαθλαστικὴ γωνία  $A$  τοῦ πρίσματος εἶναι π ο λ ῦ μ ι κ ρ ᾶ (λεπτόν πρίσμα) καὶ ἡ γωνία προσπτώσεως  $\pi_1$  εἶναι ἐπίσης π ο λ ῦ μ ι κ ρ ᾶ, τότε ἀντὶ τῶν ἡμιτόνων τῶν γωνιῶν δυνάμεθα νὰ λάβωμεν αὐτὰς ταύτας τὰς γωνίας (εἰς ἀκτίνια)· εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἔχομεν :

$$\pi_1 = n \cdot \delta_1 \quad \text{καὶ} \quad \pi_2 = n \cdot \delta_2$$

Ἄρα ἡ ἐκτροπὴ τῆς φωτεινῆς ἀκτίνος εἶναι :

$$E = \nu \cdot \delta_1 + \nu \cdot \delta_2 - A = \nu \cdot (\delta_1 + \delta_2) - A = \nu \cdot A - A$$

ἦτοι ἔχομεν :

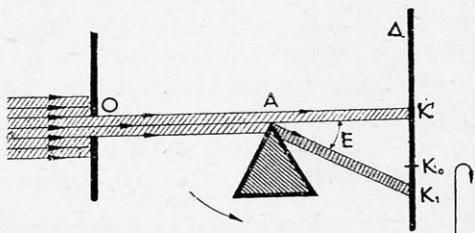
$$\text{διάθλασις διὰ λεπτοῦ πρίσματος : } E = A \cdot (\nu - 1)$$

Κατὰ τὴν διάθλασιν διὰ λεπτοῦ πρίσματος καὶ ὑπὸ μικρὰν γωνίαν προσπτώσεως ἡ ἐκτροπὴ εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὴν διαθλαστικὴν γωνίαν τοῦ πρίσματος.

34. Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς.—Οἱ τύποι τοῦ πρίσματος δεικνύουν ὅτι ἡ γωνία ἐκτροπῆς  $E$  ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν διαθλαστικὴν γωνίαν  $A$ , τὸν δείκτην διαθλάσεως  $\nu$  τοῦ πρίσματος καὶ τὴν γωνίαν προσπτώσεως  $\pi$ .

α) Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς μετὰ τῆς γωνίας προσπτώσεως. Ἐλαχίστη ἐκτροπὴ. Διὰ τῆς ὁπῆς  $O$  ἐνὸς διαφράγματος διέρχεται λεπτὴ δέσμη παραλλήλων ἀκτίνων μονοχρόου φωτὸς (σχ. 44).

Εἰς τὴν πορείαν τῆς δέσμης παρεμβάλλομεν πρίσμα οὕτως, ὥστε μέρος τῶν ἀκτίνων τῆς δέσμης νὰ προσπίπτῃ ἐπὶ τοῦ πρίσματος καθέτως πρὸς τὴν ἀκμὴν του. Ἐπὶ τοῦ διαφράγματος παρατηροῦμεν τότε δύο φωτεινὰς κηλίδας· ἡ μὲν  $K$  προέρχεται ἀπὸ τὰς ἀκτῖνας τῆς δέσμης, αἱ ὁποῖαι δὲν διήλθον διὰ τοῦ πρίσματος, ἡ δὲ  $K_1$  προέρχεται ἀπὸ τὰς ἀκτῖνας, αἱ ὁποῖαι ὑπέστησαν ἐκτροπὴν.



Σχ. 44. Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς μετὰ τῆς γωνίας προσπτώσεως.

στρέφοντες τὸ πρίσμα περὶ τὴν ἀκμὴν του μεταβάλλομεν τὴν γωνίαν προσπτώσεως· ἡ φορὰ τῆς περιστροφῆς τοῦ πρίσματος εἶναι τοιαύτη, ὥστε ἡ  $K_1$  νὰ πλησιάζῃ πρὸς τὴν  $K$ . Κατὰ τὴν τοιαύτην περιστροφὴν τοῦ πρίσματος ἡ γωνία προσπτώσεως βαίνει συνεχῶς ἐλαττωμένη. Παρατηροῦμεν τότε ὅτι ἡ κηλὶς  $K_1$  κατ' ἀρχὰς πλησιάζει πρὸς τὴν  $K$ , φθάνει εἰς τὴν θέσιν  $K_0$ , ἔπειτα δὲ ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν  $K$ . Τὸ πείραμα τοῦτο ἀποδεικνύει ὅτι διὰ

μίαν ώρισμένην τιμήν τῆς γωνίας προσπτώσεως ἢ γωνία ἐκτροπῆς, λαμβάνει μίαν ἐ λ α χ ί σ τ η ν τιμήν, ἡ ὅποια καλεῖται **ἐλαχίστη ἐκτροπή**.

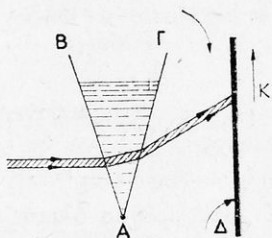
Ἡ ἐλαχίστη ἐκτροπή πραγματοποιεῖται, ὅταν εἶναι  $\pi_1 = \pi_2$ , ὁπότε ἡ προσπίπτουσα ἄκτις καὶ ἡ ἐξερχομένη ἄκτις σχηματίζουν ἴσας γωνίας μὲ τὰς ἕδρας τοῦ πρίσματος.

Ὅταν πραγματοποιῆται ἡ ἐλαχίστη ἐκτροπή, λέγομεν ὅτι τὸ πρίσμα εὐρίσκεται εἰς τὴν θέσιν ἐ λ α χ ί σ τ η ς ἐ κ τ ρ ο π ῆ ς. Τότε ἀπὸ τοὺς γνωστοὺς τύπους τοῦ πρίσματος εὐρίσκομεν τὰς ἀκολουθοῦσας σχέσεις :

θέσις ἐλαχίστης ἐκτροπῆς :

$$\begin{array}{lll} \pi_1 = \pi_2 & \delta_1 = \delta_2 & \eta \mu \pi_1 = n \cdot \eta \mu \delta_1 \\ A = 2\delta_1 & E_{\delta\lambda} = 2\pi_1 - A & \end{array}$$

β) Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς μετὰ τῆς διαθλαστικῆς γωνίας. Διὰ νὰ ἔχωμεν πρῖσμα μεταβλητῆς διαθλαστικῆς γωνίας, χρησιμοποιοῦμεν δοχεῖον ( σχ. 45 ), τοῦ ὁποίου δύο πλάγια ἕδραι εἶναι ὑάλινοι πλάκες δυνατόμενοι νὰ στραφοῦν περὶ ὀριζόντιον ἄξονα. Ἐντὸς τοῦ σχηματιζομένου οὕτω πρίσματος χύνομεν διαφανῆς ὑγρὸν π.χ. ὕδωρ. Ἀφήνομεν νὰ προσπέσῃ ἐπὶ τῆς μιᾶς ἕδρας τοῦ πρίσματος λεπτὴ δέσμη παραλλήλων ἀκτίνων μονοχρόου φωτός. Διατηροῦντες σταθερὰν τὴν ἕδραν AB, διὰ τῆς ὁποίας τὸ φῶς εισέρχεται εἰς τὸ πρῖσμα ( $\pi_1$  σταθερὸν), στρέφομεν τὴν ἕδραν AG, διὰ τῆς ὁποίας ἐξέρχεται ἡ δέσμη, καὶ οὕτω μεταβάλλομεν τὴν διαθλαστικὴν γωνίαν A. Παρατηροῦμεν ὅτι :



Σχ. 45. Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς μετὰ τῆς διαθλαστικῆς γωνίας τοῦ πρίσματος.

Ἡ ἐκτροπή αὐξάνεται μετὰ τῆς διαθλαστικῆς γωνίας τοῦ πρίσματος.

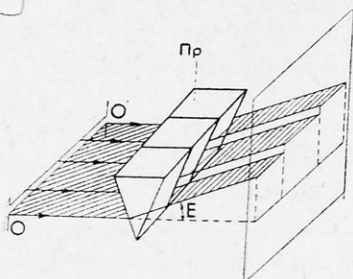
Ἐὰν συνεχισθῇ ἡ αὐξήσις τῆς γωνίας A, ἔρχεται στιγμή, κατὰ τὴν ὁποίαν τὸ φῶς δὲν ἐξέρχεται ἀπὸ τὸ πρῖσμα, ἀλλ' ὑφίσταται ἐπὶ τῆς ἕδρας AG ὀ λ ι κ ῆ ν ἀ ν ά κ λ α σ ι ν. Οὕτως εὐρέθη ὅτι :

Ἡ φωτεινὴ ἀκτὶς ἐξέρχεται ἀπὸ τὸ πρίσμα, ἐὰν ἡ διαθλαστικὴ γωνία αὐτοῦ εἶναι ἴση ἢ μικρότερα τοῦ διπλασίου τῆς ὀρικῆς γωνίας.

$$\text{συνθήκη ἐξόδου τῆς ἀκτίνος: } A \leq 2\varphi$$



γ) Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς μετὰ τοῦ δείκτου διαθλά-



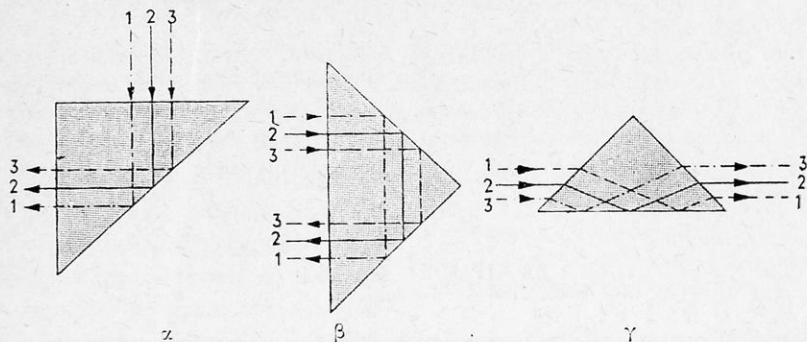
Σχ. 46. Μεταβολὴ τῆς γωνίας ἐκτροπῆς μετὰ τοῦ δείκτου διαθλάσεως.

σεως. Λαμβάνομεν σύστημα πρισματῶν (σχ. 46), τὰ ὁποῖα ἔχουν τὴν αὐτὴν διαθλαστικὴν γωνίαν ( $A$  σταθερὸν), διαφορετικοὺς ὅμως δείκτας διαθλάσεως (πολύπρισμα). Ἐπὶ τοῦ συστήματος τῶν πρισματῶν ἀφήνομεν νὰ προσπέσῃ δέσμη παραλλήλων ἀκτίνων μονοχρόου φωτὸς ( $\pi_1$  σταθερὸν). Παρατηροῦμεν ὅτι τὰ πρίσματα αὐτὰ προκαλοῦν ἀνίσους ἐκτροπὰς τῶν ἀκτίνων. Οὕτως εὐρίσκομεν ὅτι :

Ἡ ἐκτροπὴ αὐξάνεται μετὰ τοῦ δείκτου διαθλάσεως τοῦ πρίσματος.

35. Πρίσμα ὀλικῆς ἀνακλάσεως. — Ἡ λειτουργία τῶν πρισματῶν ὀλικῆς ἀνακλάσεως στηρίζεται εἰς τὸ φαινόμενον τῆς ὀλικῆς ἀνακλάσεως. Τὰ πρίσματα αὐτὰ εἶναι συνήθως ὑάλινα (ὀρικὴ γωνία διὰ τὴν ὕαλον  $\varphi = 40,5^\circ$ ). Ἡ κυρία τομὴ ἐνὸς ὑάλινου πρίσματος ὀλικῆς ἀνακλάσεως εἶναι ὁ  $\rho\theta\omicron\gamma\acute{\omega}\nu\iota\omicron\nu\iota\sigma\omicron\kappa\epsilon\lambda\acute{\epsilon}\varsigma$  τρίγωνον. Εἰς τὸ σχῆμα 47α αἱ ἀκτῖνες προσπίπτουν καθέτως ἐπὶ τῆς μιᾶς καθέτου ἕδρας τοῦ πρίσματος. Οὕτως αἱ ἀκτῖνες προσπίπτουν ἐπὶ τῆς ὑποτείνουσης ἕδρας ὑπὸ γωνίαν  $45^\circ$ , ἥτοι μεγαλυτέραν τῆς ὀρικῆς. Αἱ φωτειναὶ ἀκτῖνες ὑφίστανται ἐπὶ τῆς ὑποτείνουσης ἕδρας ὀλικὴν ἀνάκλασιν καὶ ἐξέρχονται ἀπὸ τὴν ἄλλην κάθετον ἕδραν τοῦ πρίσματος, χωρὶς νὰ ὑποστοῦν διάθλασιν. Τὸ πρίσμα λοιπὸν τοῦτο ἐκτρέπει τὰς ἀκτῖνας κατὰ  $90^\circ$  ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν των διεύθυνσιν. Εἰς τὸ σχῆμα 47β φαίνεται πῶς αἱ ἀκτῖνες ὑφίστανται δύο ὀλικὰς ἀνακλάσεις· οὕτως ὅμως

ἐπέρχεται ἀντιστροφή τῆς σειρᾶς τῶν ἀκτίνων καὶ ἀλλαγὴ τῆς κατευθύνσεως αὐτῶν. Τέλος εἰς τὸ σχῆμα 47γ φαίνεται πῶς συμβαίνει



Σχ. 47. Πρίσμα ὀλικῆς ἀνακλάσεως.

ἀντιστροφή τῆς σειρᾶς τῶν ἀκτίνων, χωρὶς ὅμως νὰ ἀλλάξῃ ἢ κατευθύνσεις αὐτῶν. Τὰ πρίσματα ὀλικῆς ἀνακλάσεως χρησιμοποιοῦνται εἰς πολλὰ ὀπτικά ὄργανα.

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

28. Ἐπὶ μιᾶς ὑαλίνης πλακῶς, ἡ ὁποία ἔχει πᾶχος 2 cm καὶ δείκτην διαθλάσεως  $n = \sqrt{2}$  προσπίπτει φωτεινὴ ἀκτὶς ὑπὸ γωνίαν  $45^\circ$ . Νὰ κατασκευασθῇ ἡ πορεία τῆς ἀκτίνος καὶ νὰ μετρηθῇ μετὸν κανόνα ἢ παράλληλος μετατόπισις τῆς ἀκτίνος.

29. Ἡ πλάξ τοῦ προηγουμένου προβλήματος ἔχει πᾶχος 4 cm. Νὰ κατασκευασθῇ πάλιν ἡ πορεία τῆς ἀκτίνος καὶ νὰ μετρηθῇ ἡ παράλληλος μετατόπισις τῆς ἀκτίνος. Τί συμπέρασμα ἐξάγεται ἐκ τῆς συγκρίσεως τῶν δύο ἀποτελεσμάτων ;

30. Ὑάλινον πρίσμα ἔχει δείκτην διαθλάσεως  $3/2$  καὶ διαθλαστικὴν γωνίαν  $60^\circ$ . Ὑπὸ ποίαν γωνίαν πρέπει νὰ προσπίπτῃ φωτεινὴ ἀκτὶς ἐπὶ τῆς μιᾶς ἕδρας τοῦ πρίσματος, ὥστε ἡ ἀκτὶς νὰ ὑφίσταται τὴν ἐλαχίστην ἐκτροπὴν ;

31. Φωτεινὴ ἀκτὶς διέρχεται διὰ πρίσματος, ἔχοντος δείκτην διαθλάσεως  $n = \sqrt{2}$  καὶ διαθλαστικὴν γωνίαν  $60^\circ$ . Πόση εἶναι ἡ γωνία ἐλαχίστης ἐκτροπῆς ;

32. Φωτεινὴ ἀκτὶς προσπίπτει καθέτως ἐπὶ τῆς μιᾶς ἕδρας πρίσματος ἔχοντος δείκτην διαθλάσεως  $n = 1,6$ . Ἡ ἀκτὶς ὑφίσταται ἐκτροπὴν  $30^\circ$ . Πόση εἶναι ἡ διαθλαστικὴ γωνία τοῦ πρίσματος ;

33. Πρίσμα ἔχει διαθλαστικὴν γωνίαν  $45^\circ$  καὶ δείκτην διαθλάσεως 1,5. Ἐπὶ τοῦ πρίσματος προσπίπτει φωτεινὴ ἀκτὶς ὑπὸ γωνίαν  $30^\circ$ . Πόση εἶναι ἡ ἐκτροπὴ ;

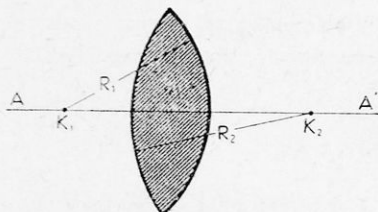


34. Ἡ κυρία τομή πρίσματος είναι ἰσόπλευρον τρίγωνον ΑΒΓ. Φωτεινὴ ἀκτὶς προσπίπτει καθέτως ἐπὶ τῆς ἕδρας ΑΒ. Ὁ δείκτης διαθλάσεως τῆς ὑάλου είναι  $n = \sqrt{2}$ . Νὰ κατασκευασθῇ ἡ πορεία τῆς ἀκτίνος καὶ νὰ ὑπολογισθῇ ἡ γωνία ἐκτροπῆς.

35. Ὑάλινον πρίσμα ἔχει διαθλαστικὴν γωνίαν  $A_1 = 5^\circ$  καὶ δείκτην διαθλάσεως  $n_1 = 1,52$ , εὐρίσκεται δὲ εἰς ἐπαφὴν μὲ ἄλλο ὑάλινον πρίσμα, τὸ ὁποῖον ἔχει δείκτην διαθλάσεως  $n_2 = 1,63$ . Μία φωτεινὴ ἀκτὶς, ὅταν προσπίπτῃ καθέτως ἐπὶ τῆς ἕδρας τοῦ ἑνὸς πρίσματος, ἐξέρχεται ἀπὸ τὴν ἕδραν τοῦ ἄλλου πρίσματος, χωρὶς νὰ ὑποστῇ ἐκτροπῆν. Πόση είναι ἡ διαθλαστικὴ γωνία  $A_2$  τοῦ δευτέρου πρίσματος ;

### ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

36. Ὅρισμοί.—Καλεῖται **φακὸς** ἐν διαφανὲς μέσον, τὸ ὁποῖον περιορίζεται ἀπὸ δύο σφαιρικὰς ἐπιφανείας ἢ ἀπὸ μίαν ἐπίπεδον καὶ μίαν σφαιρικὴν ἐπιφάνειαν. Αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος τῶν σφαιρικῶν ἐπιφανειῶν καλοῦνται **ἀκτῖνες καμπυλότητος** τοῦ φακοῦ (σχ. 48)· τὰ δὲ κέντρα καμπυλότητος τῶν ἐπιφανειῶν τούτων καλοῦνται **κέντρα καμπυλότητος** τοῦ φακοῦ. Ἡ εὐθεῖα, ἢ ὁποία διέρχεται διὰ τῶν δύο κέντρων καμπυλότητος τῶν σφαιρικῶν ἐπιφανειῶν, καλεῖται **κύριος ἄξων** τοῦ φακοῦ. Εἰς τὴν κατωτέρω ἔρευναν τῶν φακῶν θὰ ὑποθέσωμεν ὅτι ἰσχύουν αἱ ἐξῆς συνθήκαι : α ) Ὁ φακὸς εὐρίσκεται ἐν τὸς τοῦ ἀέρος, τοῦ ὁποίου ὁ δείκτης διχθλάσεως θὰ ληφθῇ κατὰ προσέγγισιν ἴσος μὲ τὴν μονάδα. β ) Αἱ προσπίπτουσαι ἐπὶ τοῦ φακοῦ φωτειναὶ ἀκτῖνες εὐρίσκονται πλησίον τοῦ κυρίου ἄξονος (κεντρικαὶ ἀκτῖνες). γ ) Τὸ προσπίπτον φῶς εἶναι μονόχρουν.

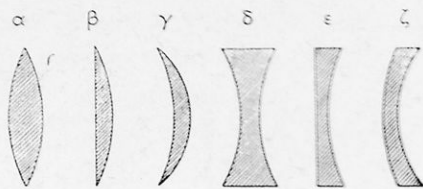


Σχ. 48. Σφαιρικοὶ φακοί.  
 $R_1$  καὶ  $R_2$  αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος τοῦ φακοῦ.

37. Συγκλίνοντες καὶ ἀποκλίνοντες φακοί. — Οἱ συνήθεις φακοὶ κατασκευάζονται ἐξ ὑάλου. Ἐκ τοῦ συνδυασμοῦ δύο σφαιρικῶν ἐπιφανειῶν ἢ μιᾶς σφαιρικῆς καὶ μιᾶς ἐπιπέδου ἐπιφανείας προκύπτουν ἐξ εἶδη φακῶν (σχ. 49). Οἱ φακοί, οἱ ὁποῖοι εἶναι παχύτεροι εἰς τὸ μέ-

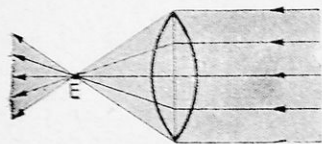


σον και λεπτότεροι εις τὰ ἄκρα καλοῦνται **συγκλίνοντες φακοί**, διότι ἔχουν τὴν ιδιότητα νὰ μεταβάλλουν τὴν προσπίπτουσαν ἐπ' αὐτῶν δέσμη παραλλήλων φωτεινῶν ἀκτίνων εἰς **συγκλίνουσαν δέσμη** (σχ. 50). Ἀντιθέτως οἱ φακοί, οἱ ὁποῖοι εἶναι λεπτότεροι εἰς τὸ μέσον καὶ παχύτεροι εἰς τὰ ἄκρα, καλοῦνται **ἀποκλίνοντες φακοί**, διότι ἔχουν τὴν ιδιότητα νὰ μεταβάλλουν τὴν προσπίπτουσαν ἐπ' αὐτῶν δέσμη παραλλήλων φωτεινῶν ἀκτίνων εἰς **ἀποκλίνουσαν δέσμη**

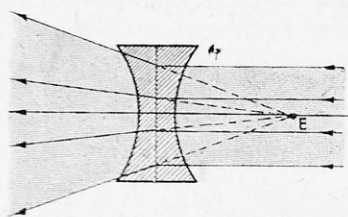


Σχ. 49. Εἶδη φακῶν.

α, β, γ συγκλίνοντες φακοί (ἀμφίκυρτος, ἐπιπεδόκυρτος, συγκλίνων μηνίσκος).  
δ, ε, ζ, ἀποκλίνοντες φακοί (ἀμφίκοιλος, ἐπιπεδόκοιλος, ἀποκλίνων μηνίσκος).

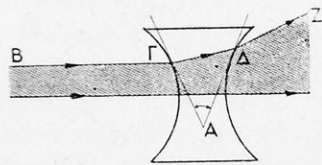
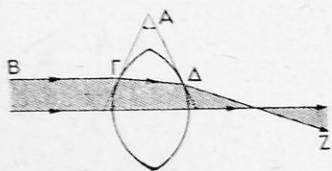


Σχ. 50. Μεταβολὴ τῆς παραλλήλου δέσμης εἰς συγκλίνουσαν.



Σχ. 51. Μεταβολὴ τῆς παραλλήλου δέσμης εἰς ἀποκλίνουσαν.

(σχ. 51). Ἡ ιδιότης αὐτῆ τῶν φακῶν ἐξηγεῖται, ἂν θεωρήσωμεν

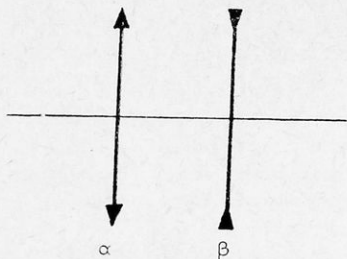


Σχ. 52. Διὰ τὴν ἐξήγησιν τῆς συγκλίσεως καὶ τῆς ἀποκλίσεως τῆς φωτεινῆς δέσμης ὑπὸ τοῦ φακοῦ.

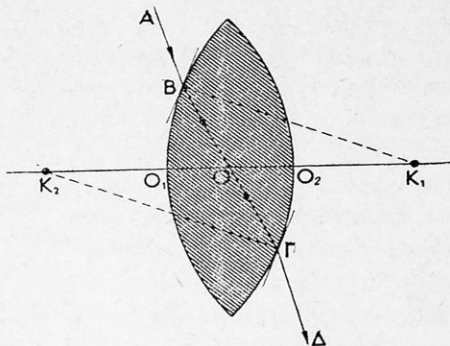
ὅτι ὁ φακὸς ἀποτελεῖται ἀπὸ σειρὰν πρισμάτων, τῶν ὁποίων αἱ διαθλαστικαὶ γωνίαι μεταβάλλονται κατὰ τρόπον συνεχῆ (σχ. 52).

Συνήθως χρησιμοποιοῦμεν φακοὺς, τῶν ὁποίων τὸ πάχος μετροῦ-

μενον ἐπὶ τοῦ κυρίου ἄξονος εἶναι πολὺ μικρὸν ἐν σχέσει πρὸς τὰς ἀκτῖνας καμπυλότητος τοῦ φακοῦ. Οἱ τοιοῦτοι φακοὶ καλοῦνται



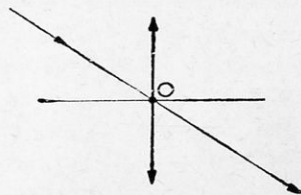
Σχ. 53. Σχηματική παράστασις συγκλίνοντος (α) καὶ ἀποκλίνοντος (β) φακοῦ.



Σχ. 54. Ἡ Ἄκτις ἢ διερχομένη διὰ τοῦ ὀπτικοῦ κέντρου δὲν ὑφίσταται ἐκτροπήν.

**λεπτοὶ φακοὶ** καὶ παριστῶνται γραφικῶς ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 53.

38. Ὀπτικὸν κέντρον.—Ὁ κύριος ἄξων τοῦ φακοῦ τέμνει τὰς δύο σφαιρικὰς ἐπιφανείας εἰς δύο σημεῖα  $O_1$  καὶ  $O_2$  (σχ. 54). Εἰς τοὺς λεπτοὺς φακοὺς δυνάμεθα κατὰ προσέγγισιν νὰ θεωρήσωμεν ὅτι τὰ δύο αὐτὰ σημεῖα συμπίπτουν εἰς ἓν σημεῖον τοῦ κυρίου ἄξονος. Τὸ σημεῖον τοῦτο εἰς τοὺς λεπτοὺς φακοὺς εἶναι ἡ τομὴ τοῦ κυρίου ἄξονος μὲ τὸν φακὸν καὶ καλεῖται **ὀπτικὸν κέντρον** τοῦ φακοῦ. Τὸ ὀπτικὸν κέντρον ἔχει τὴν ἐξῆς ιδιότητα :



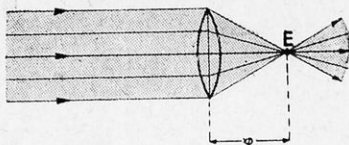
Σχ. 55. Δευτερεύων ἄξων φακοῦ.

Μία ἀκτις διερχομένη διὰ τοῦ ὀπτικοῦ κέντρου ἐξέρχεται ἀπὸ τὸν φακὸν χωρὶς νὰ ὑποστῇ ἐκτροπήν.

Πᾶσα εὐθεῖα διερχομένη διὰ τοῦ ὀπτικοῦ κέντρου, πλὴν τοῦ κυρίου ἄξονος, καλεῖται **δευτερεύων ἄξων** τοῦ φακοῦ (σχ. 55).

## Α'. ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΕΣ ΦΑΚΟΙ

39. Κυρία έστια. Έστιακή απόσταση.—Έπι ενός συγκλίνοντος φακού προσπίπτει δέσμη φωτεινών ακτίνων παραλλήλων προς τον κύριον άξονα (σχ. 56). "Όλαι αί έξερχόμεναι από τον φακόν ακτίνες διέρχονται δι' ενός σημείου E του κυρίου άξονος, τὸ ὁποῖον καλεῖται **κυρία έστια** τοῦ φακοῦ. Ἡ απόσταση τῆς κυρίας έστιας από τὸ ὀπτικόν κέντρον καλεῖται **έστιακή απόσταση** ( $\varphi$ ) τοῦ φακοῦ. Αὕτη εἶναι  $\sigma\tau\alpha\theta\epsilon\rho\acute{\alpha}$  καί **άνεξάρτητος** από τὴν φοράν, κατὰ τὴν ὁποίαν τὸ φῶς προσπίπτει ἐπὶ τοῦ φακοῦ." Ὄστε:



Σχ. 56. Ἡ κυρία έστια συγκλίνοντος φακοῦ εἶναι πραγματική.

Ὁ συγκλίνων φακός ἔχει δύο πραγματικὰς κυρίας έστιας, αἱ ὁποῖαι εἶναι συμμετρικαί ὡς πρὸς τὸ ὀπτικόν κέντρον τοῦ φακοῦ. Ἡ έστιακή απόσταση ( $\varphi$ ) τοῦ φακοῦ προσδιορίζεται ἀπὸ τὴν έξίσωσιν :

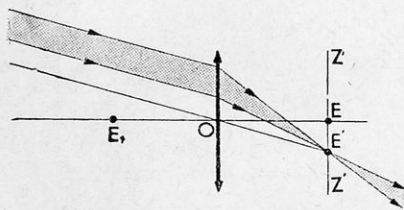
$$\frac{1}{\varphi} = (n-1) \cdot \left[ \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right]$$

ὅπου  $n$  εἶναι ὁ δείκτης διαθλάσεως τῆς ὑάλου καί  $R, R'$  εἶναι αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος τοῦ φακοῦ.

Παράδειγμα. Ἀμφίκυρτος φακός ἔχει δείκτην διαθλάσεως  $n = 1,5$  καί ἀκτῖνας καμπυλότητος  $R = 40$  cm καί  $R' = 60$  cm. Ἀπὸ τὴν έξίσωσιν :

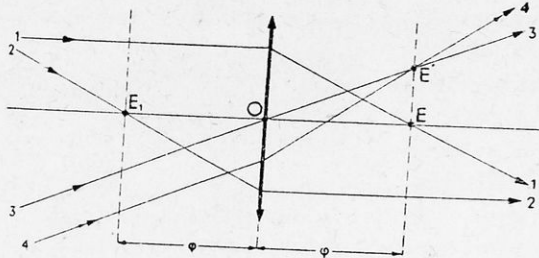
$$\frac{1}{\varphi} = (1,5 - 1) \cdot \left[ \frac{1}{40} + \frac{1}{60} \right] \quad \text{εὐρίσκωμεν: } \varphi = 48 \text{ cm}$$

40. Έστιακὸν επίπεδον.—Ἐὰν θεωρήσωμεν λεπτήν δέσμη φωτεινῶν ακτίνων, αἱ ὁποῖαι εἶναι παράλληλοι πρὸς ἓνα δευτερεύοντα άξονα, τότε ἡ έξερχομένη ἀπὸ τὸν φακόν δέσμη συγκλίνει εἰς τὴν δευτερεύουσαν έστίαν E' (σχ. 57). "Όλαι αἱ δευτερεύουσαι έστιαί τοῦ φακοῦ εὐρίσκονται κατὰ προσέγγισιν, ὅπως καί εἰς τὸ σφαιρικόν κάτοπτρον, ἐπὶ τοῦ **έστιακοῦ ἐπιπέδου ZZ'**, τὸ ὁποῖον εἶναι κάθετον πρὸς τὸν κύριον άξονα εἰς τὸ σημείον E.



Σχ. 57. Έστιακὸν επίπεδον φακοῦ.

41. Πορεία μερικῶν ἀκτίνων διερχομένων διὰ συγκλίνοντος φακοῦ. — Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγονται τὰ ἀκόλουθα συμπεράσματα διὰ τὴν πορείαν μερικῶν ἀκτίνων διερχομένων διὰ συγκλίνοντος φακοῦ (σχ. 58) :



Σχ. 58. Πορεία μερικῶν ἀκτίνων.

τα διὰ τὴν πορείαν μερικῶν ἀκτίνων διερχομένων διὰ συγκλίνοντος φακοῦ (σχ. 58) :

I. Ὄταν μία ἀκτίς προσπίπτει παράλληλως πρὸς τὸν κύριον ἄξονα, ἡ ἐξερχομένη ἀπὸ τὸν φακὸν ἀκτίς διέρχεται διὰ τῆς κυρίας ἐστίας ( ἀκτίς 1 ).

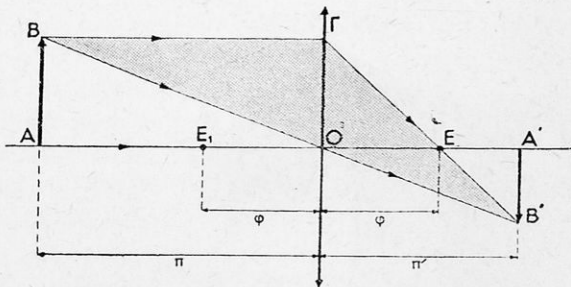
II. Ὄταν μία προσπίπτουσα ἀκτίς διέρχεται διὰ τῆς κυρίας ἐστίας, ἡ ἐξερχομένη ἀπὸ τὸν φακὸν ἀκτίς εἶναι παράλληλος πρὸς τὸν κύριον ἄξονα ( ἀκτίς 2 ).

III. Ὄταν μία ἀκτίς διέρχεται διὰ τοῦ ὀπτικοῦ κέντρου, αὕτη ἐξερχεται ἀπὸ τὸν φακὸν χωρὶς νὰ ὑποστῇ ἐκτροπήν ( ἀκτίς 3 ).

IV. Ὄταν μία ἀκτίς προσπίπτει παράλληλως πρὸς δευτερεύοντα ἄξονα, ἡ ἐξερχομένη ἀπὸ τὸν φακὸν ἀκτίς διέρχεται διὰ τῆς ἀντιστοίχου δευτερευούσης ἐστίας, ἡ ὁποία εὐρίσκεται ἐπὶ τοῦ ἐστιακοῦ ἐπιπέδου ( ἀκτίς 4 ).

42. Εἶδωλον ἀντικειμένου. — Ἄς θεωρήσωμεν ὡς φωτεινὸν ἀντικείμενον μίαν εὐθεῖαν AB καὶ θέτονον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα (σχ. 59).

Γνωρίζοντες τὴν πορείαν ὀρισμένων ἀκτίνων δυνάμεθα νὰ κατασκευάσωμεν τὸ εἶδωλον A'B', τὸ ὁποῖον εἶναι ἐπίσης καὶ θέτονον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα. Ὅπως αἰ ἐκ τοῦ ἄκρου B τοῦ αντικει-



Σχ. 59. Σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου ὑπὸ συγκλίνοντος φακοῦ.

μένου προερχόμενοι ακτίνες ΒΟ και ΒΓ, μετά την έξοδόν των από τον φακόν, τέμνονται εις τὸ σημεῖον Β', τὸ ὁποῖον εἶναι τὸ εἶδωλον τοῦ σημείου Β. Τὰ εἶδωλα ὅλων τῶν ἄλλων σημείων τοῦ ἀντικείμενου ΑΒ εὐρίσκονται ἐπὶ τῆς εὐθείας Α'Β', ἣ ὁποία εἶναι κἀθετος πρὸς τὸν κύριον ἄξονα. Τὸ εἶδωλον Α'Β' εἶναι **ἀνεστραμμένον καὶ πραγματικόν**, δυνάμεθα συνεπῶς νὰ τὸ λάβωμεν ἐπὶ διαφράγματος. Ἀπὸ τὰ ὅμοια τρίγωνα ΟΑΒ καὶ ΟΑ'Β' εὐρίσκομεν ὅτι ἡ **γραμμικὴ μεγέθυνσις** εἶναι :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} \quad \tilde{\eta} \quad \boxed{\frac{E}{A} = \frac{\pi'}{\pi}} \quad (1)$$

ἂν ὀνομάσωμεν Α'Β' = Ε καὶ ΑΒ = Α. Ἀπὸ τὰ ὅμοια τρίγωνα ΟΕΓ καὶ Α'ΕΒ' εὐρίσκομεν :

$$\frac{A'B'}{OG} = \frac{EA'}{OE} \quad \tilde{\eta} \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{\pi' - \varphi}{\varphi} \quad (2)$$

Ἐξισώνοντες τὰ δευτέρα μέλη τῶν ἐξισώσεων (1) καὶ (2) εὐρίσκομεν :

$$\frac{\pi'}{\pi} = \frac{\pi' - \varphi}{\varphi} \quad \tilde{\eta} \quad \boxed{\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}} \quad (3)$$

Αἱ εὐρεθεῖσαι ἐξισώσεις (1) καὶ (3) προσδιορίζουν τὸ μέγεθος καὶ τὴν θέσιν τοῦ εἰδώλου Α'Β'.

2/1/69  
~~43. Εἶδωλον σχηματιζόμενον ὑπὸ συγκλίνοντος φακοῦ. —~~  
 Ἐάν ὑποθέσωμεν ὅτι τὸ ἀντικείμενον πλησιάζει συνεχῶς πρὸς τὸν συγκλίνοντα φακόν. Ἡ ἐκάστοτε ἀπόστασις π' τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸν φακόν προσδιορίζεται ἀπὸ τὸν τύπον :  $\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}$ . Ἐάν λύσωμεν τοῦτον ὡς πρὸς π', ἔχομεν :

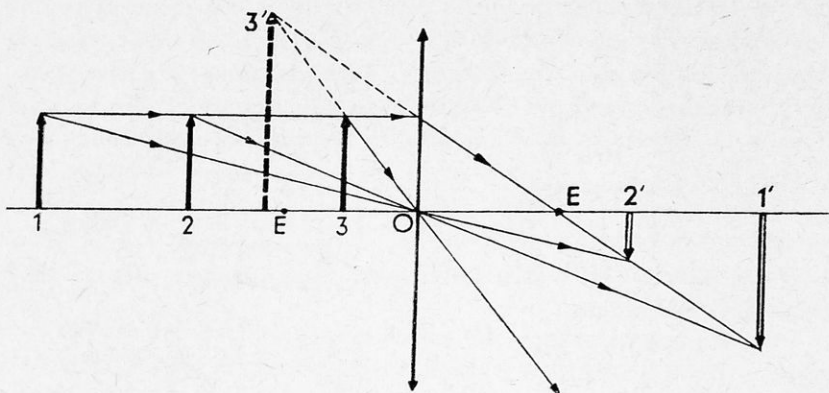
$$\pi' = \frac{\pi \cdot \varphi}{\pi - \varphi} \quad \tilde{\eta} \quad \pi' = \frac{\varphi}{1 - \frac{\varphi}{\pi}} \quad (4)$$

1. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὸ ἄπειρον ( $\pi = \infty$ ). Τότε εἶναι  $\pi' = \varphi$ , δηλαδή τὸ εἶδωλον σχηματίζεται εἰς τὴν κυρίαν ἐστίαν, εἶναι **πραγματικόν**, ἀλλ' εἶναι **σημεῖον**.

2. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται πέραν τῆς κυρίας ἐστίας ( $\pi > \varphi$ ).



Τότε τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πέραν τῆς ἄλλης κυρίας ἐστίας τοῦ φακοῦ (σχ. 60), εἶναι δὲ **πραγματικὸν καὶ ἀνεστραμμένον**.



Σχ. 60. Μεταβολὴ τῆς θέσεως καὶ τοῦ μεγέθους τοῦ εἰδώλου.  
Τὸ εἶδωλον 3' εἶναι φανταστικόν.

3. Τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὴν κυρίαν ἐστίαν ( $\pi = \varphi$ ). Τότε τὸ εἶδωλον σχηματίζεται εἰς τὸ ἄπειρον, δηλαδὴ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν **δὲν ὑπάρχει** εἶδωλον.

4. Τέλος τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται μεταξύ τῆς κυρίας ἐστίας καὶ τοῦ φακοῦ ( $\pi < \varphi$ ). Τότε εἶναι  $\frac{\varphi}{\pi} > 1$  καὶ ἀπὸ τὸν τύπον (4) συνάγεται ὅτι τὸ  $\pi'$  ἔχει ἀρνητικὴν τιμὴν ( $\pi' < 0$ ). Ἐκ τῆς γεωμετρικῆς κατασκευῆς εὐρίσκεται ὅτι τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πρὸς τὸ αὐτὸ μέρος τοῦ φακοῦ, καὶ εἶναι **φανταστικόν, ὀρθὸν καὶ μεγαλύτερον** πάντοτε ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον.

Τὰ ἀνωτέρω ἐπαληθεύονται καὶ πειραματικῶς. †

44. Ἀνακεφαλαίωσις διὰ τοὺς συγκλίνοντας φακοὺς.—Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συνάγονται τὰ ἑξῆς γενικὰ συμπεράσματα διὰ τοὺς **συγκλίνοντας φακοὺς** :

I. Ὄταν τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται πέραν τῆς κυρίας ἐστίας τοῦ φακοῦ, τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πέραν τῆς ἄλλης κυρίας ἐστίας, εἶναι δὲ **πραγματικὸν καὶ ἀνεστραμμένον**.

II. Ὄταν τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται μεταξύ τοῦ φακοῦ καὶ τῆς

κυρίας έστίας, τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πρὸς τὸ αὐτὸ μέρος τοῦ φακοῦ, εἶναι δὲ φανταστικόν, ὀρθὸν καὶ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον.

III. Γενικῶς ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου προσδιορίζονται εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις ἀπὸ τοὺς ἐξῆς τύπους :

$$\text{τύποι τῶν συγκλινόντων φακῶν : } \frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}, \quad \frac{E}{A} = \frac{\pi'}{\pi}$$

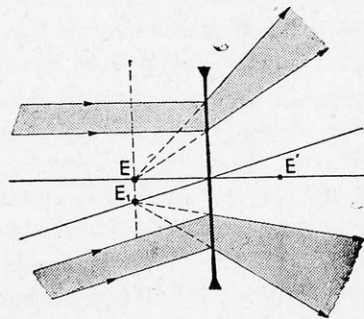
ὑπὸ τὸν ὅρον νὰ δεχθῶμεν τὴν ἐξῆς σύμβασιν ὡς πρὸς τὰ σημεῖα :

$\pi$	θετικόν :	ἀντικείμενον	πραγματικόν
$\pi'$	θετικόν :	εἶδωλον	πραγματικόν
$\pi'$	ἀρνητικόν :	εἶδωλον	φανταστικόν.

### Β'. ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΕΣ ΦΑΚΟΙ

45. Κυρία έστία.—Όταν ἐπὶ τοῦ ἀποκλίνοντος φακοῦ προσπίπτῃ δέσμη φωτεινῶν ἀκτίνων παραλλήλων πρὸς τὸν κύριον ἄξονα, ἡ ἐξερρομένη ἀπὸ τὸν φακὸν δέσμη εἶναι ἀποκλίνουσα καὶ φαίνεται προερχομένη ἀπὸ ἓν σημεῖον  $E$  τοῦ κυρίου ἄξονος (σχ. 61). Τὸ σημεῖον τοῦτο εἶναι ἡ κύρια έστία τοῦ ἀποκλίνοντος φακοῦ, ἡ ὁποία εἶναι φανταστικῆ.

Ὁ ἀποκλίνων φακὸς ἔχει δύο φανταστικὰς κυρίας έστίας, αἱ ὁποῖαι εἶναι συμμετρικαὶ ὡς πρὸς τὸ ὀπτικὸν κέντρον τοῦ φακοῦ· ἡ έστιακὴ ἀπόστασις εἶναι ἀρνητικὴ καὶ προσδιορίζεται ἀπὸ τὴν ἀκόλουθον σχέσιν :



Σχ. 61. Ἡ κύρια έστία καὶ αἱ δευτερεύουσαι έστίαί τοῦ ἀποκλίνοντος φακοῦ εἶναι φανταστικαί.

$$\frac{1}{\varphi} = (\nu - 1) \cdot \left( \frac{1}{-R} + \frac{1}{-R'} \right)$$

Ἐπὶ τοῦ ἀποκλίνοντος φακοῦ προσπίπτει δέσμη φωτεινῶν ἀκτίνων παραλλήλων πρὸς ἓνα δευτερεύοντα ἄξονα. Τότε ἡ ἐξερρομένη ἀπὸ τὸν

φακὸν ἀποκλίνουσα δέσμη φαίνεται προσερχομένη ἀπὸ τὴν φανταστικὴν δευτερεύουσαν ἐστίαν  $E_1$ . Εἰς τὸν ἀποκλίνοντα φακὸν τὰ δύο ἐστιακὰ ἐπίπεδα εἶναι φανταστικά.



Σχ. 62. Σχηματισμὸς εἰδώλου ὑπὸ ἀποκλίνοντος φακοῦ.

μείου  $B$ . Τὸ εἶδωλον  $A'B'$  τοῦ ἀντικειμένου εἶναι **φανταστικόν, ὀρθόν** καὶ **μικρότερον** ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον, δὲν δυνάμεθα συνεπῶς νὰ τὸ λάβωμεν ἐπὶ διαφράγματος. Ἀπὸ τὴν ἀνωτέρω κατασκευὴν τοῦ εἰδώλου  $A'B'$  συνάγεται ὅτι τὸ φανταστικὸν εἶδωλον σχηματίζεται πάντοτε μεταξὺ τοῦ ὀπτικοῦ κέντρου  $O$  καὶ τῆς φανταστικῆς κυρίας ἐστίας  $E$ . Σκεπτόμενοι ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ συγκλίνοντος φακοῦ εὐκόλως εὐρίσκομεν ὅτι καὶ διὰ τοὺς ἀποκλίνοντας φακοὺς ἰσχύουν οἱ γενικοὶ τύποι, οἱ ἰσχύοντες καὶ διὰ τοὺς συγκλίνοντας φακοὺς, ὑπὸ τὸν ὅρον ὅτι πρέπει νὰ λάβωμεν ὑπ' ὄψιν ὅτι ἡ κυρία ἐστία εἶναι φανταστικὴ (ἐπομένως  $\phi$  ἀρνητικὸν) καὶ τὸ εἶδωλον εἶναι ἐπίσης φανταστικὸν (ἄρα καὶ  $p'$  ἀρνητικὸν). Οὕτω καταλήγομεν εἰς τὰ ἑξῆς συμπεράσματα διὰ τοὺς **ἀποκλίνοντας φακοὺς** :

I. Ὁ ἀποκλίνων φακὸς σχηματίζει εἶδωλον **φανταστικόν, ὀρθόν** καὶ **μικρότερον** ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον· τὸ εἶδωλον σχηματίζεται πάντοτε μεταξὺ τοῦ φακοῦ καὶ τῆς φανταστικῆς κυρίας ἐστίας του.

II. Γενικῶς ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου προσδιορίζονται ἀπὸ τοὺς τύπους :

$$\text{τύποι τῶν ἀποκλινόντων φακῶν: } \frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = -\frac{1}{\varphi}, \quad \frac{E}{A} = -\frac{\pi'}{\pi}$$

47. Γενικοί τύποι τῶν φακῶν.—'Εὰν  $\pi$  καὶ  $\pi'$  καλέσωμεν ἀντιστοίχως τὰς ἀποστάσεις τοῦ ἀντικειμένου καὶ τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸν φακὸν ( συγκλίνοντα ἢ ἀποκλίνοντα ),  $E$  καὶ  $A$  καλέσωμεν ἀντιστοίχως τὰς γραμμικὰς διαστάσεις τοῦ εἰδώλου καὶ τοῦ ἀντικειμένου, τὸ ὅποιον θεωροῦμεν κάθετον πρὸς τὸν κύριον ἄξονα, καὶ τέλος  $R$  καὶ  $R'$  τὰς ἀκτῖνας καμπυλότητος τῶν σφαιρικῶν ἐπιφανειῶν τοῦ φακοῦ, τότε εἰς ὅλας τὰς δυνατὰς περιπτώσεις ἰσχύουν οἱ ἀκόλουθοι γενικοὶ τύποι τῶν φακῶν :

$$\begin{aligned} \text{γενικοὶ τύποι σφαιρικῶν} & \quad \frac{1}{\varphi} = (\nu - 1) \cdot \left[ \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right] \\ \text{φακῶν:} & \quad \frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi} \quad \frac{E}{A} = \frac{\pi'}{\pi} \end{aligned}$$

ὑπὸ τὸν ὄρον ὅτι θὰ θεωροῦμεν ὡς ἀρνητικὸς τοὺς ὄρους  $\pi$ ,  $\pi'$  καὶ  $\varphi$ , ὅταν οὔτοι ἀντιστοιχοῦν εἰς σημεῖα φανταστικά, τοὺς δὲ ὄρους  $R$  καὶ  $R'$  ὅταν ἀντιστοιχοῦν εἰς κοίλας ἐπιφανείας. Εἰς τὸν κατωτέρω πίνακα φαίνεται πῶς ἐφαρμόζεται ὁ γενικὸς τύπος τῶν φακῶν εἰς τὰς διαφόρους περιπτώσεις.

Γενικὸς τύπος φακῶν: $\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}$		
Εἶδος φακοῦ	Εἶδωλον	Μορφή τοῦ γενικοῦ τύπου
Συγκλίνων	πραγματικόν	$\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}$
	φανταστικόν	$\frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}$
Ἀποκλίνων	φανταστικόν	$\frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = -\frac{1}{\varphi}$

Π α ρ α δ ε ἰ γ μ α τ α . 1 ) Ἀμφίκυρτος φακὸς ἔχει δείκτην διαθλάσεως 1,5 καὶ

άκτινες καμπυλότητας 40 cm και 60 cm. Είς απόστασιν 40 cm από τὸν φακὸν τοποθετεῖται φωτεινὴ εὐθεῖα μήκους 5 cm. Νὰ εὐρεθῇ ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου.

Εἰς τὸν ἀμφίκυρτον φακὸν αἱ δύο ἐπιφάνειαι του εἶναι κυρταί· ἄρα αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος λαμβάνονται θετικά. Ἡ ἔστικη ἀπόστασις τοῦ φακοῦ εὐρίσκειται ἀπὸ τὴν γενικὴν σχέσιν :

$$\frac{1}{\varphi} = (\nu - 1) \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) \quad \text{ἦτοι}$$

$$\frac{1}{\varphi} = 0,5 \cdot \left( \frac{1}{40} + \frac{1}{60} \right) = \frac{2,5}{120}$$

καὶ  $\varphi = 48 \text{ cm}$

Ἐπειδὴ δίδεται ὅτι εἶναι  $\pi < \varphi$ , ἔπεται ὅτι τὸ εἶδωλον εἶναι φανταστικόν. Ἡ ἀπόστασις  $\pi'$  τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸν φακὸν εὐρίσκειται ἀπὸ τὸν τύπον :

$$\frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi} \quad \text{ἢ} \quad \pi' = \frac{\pi \cdot \varphi}{\varphi - \pi} = \frac{40 \cdot 48}{48 - 40} = 240 \text{ cm}$$

Ἐὰν ἐλαμβάνετο ὁ γενικὸς τύπος :  $\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi'} = \frac{1}{\varphi}$ , θὰ εὐρίσκετο ὅτι εἶναι :

$$\pi' = \frac{\pi \cdot \varphi}{\pi - \varphi} = \frac{40 \cdot 48}{40 - 48} = -240 \text{ cm}$$

Τὸ ἀρνητικὸν σημεῖον φανερώνει ὅτι τὸ εἶδωλον εἶναι φανταστικόν. Τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου εἶναι :

$$E = A \cdot \frac{\pi'}{\pi} = 5 \cdot \frac{240}{40} = 30 \text{ cm}$$

2) Ἄς ἐξετάσωμεν τὸ προηγούμενον παράδειγμα διὰ τὴν περίπτωσιν, κατὰ τὴν ὁποίαν ὁ φακὸς εἶναι ἀμφίκυλλος. Εἰς τὸν ἀμφίκυλλον φακὸν αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος θὰ ληφθοῦν ἀρνητικά. Ἐπομένως εἶναι :

$$\frac{1}{\varphi} = (\nu - 1) \left( -\frac{1}{R} - \frac{1}{R'} \right) \quad \text{ἦ}$$

$$\frac{1}{\varphi} = -0,5 \cdot \left( \frac{1}{40} + \frac{1}{60} \right) = -\frac{2,5}{120}$$

καὶ  $\varphi = -48 \text{ cm}$

Ἐπειδὴ τὸ ἀντικείμενον εἶναι πραγματικόν, ἔχομεν :

$$\frac{1}{\pi} - \frac{1}{\pi'} = -\frac{1}{\varphi} \quad \text{ἦτοι}$$

$$\pi' = \frac{\pi \cdot \varphi}{\varphi + \pi} = \frac{40 \cdot 48}{48 + 40} = 21,8 \text{ cm}$$

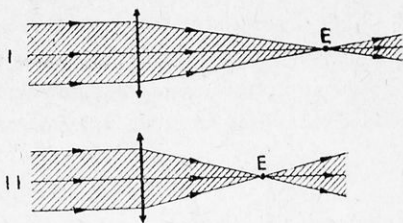
Τὸ δὲ μέγεθος τοῦ εἰδώλου εἶναι :

$$E = A \cdot \frac{\pi'}{\pi} = 5 \cdot \frac{21,8}{40} = 2,725 \text{ cm}$$



## Γ'. ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ

48. Ίσχυς φακοῦ.—Ἐπὶ ἑνὸς συγκλίνοντος φακοῦ προσπίπτει δέσμη φωτεινῶν ἀκτίνων παραλλήλων πρὸς τὸν κύριον ἄξονα· ἡ δέσμη αὐτὴ μετατρέπεται ἀπὸ τὸν φακὸν εἰς μίαν δέσμην τόσον περισσότερον συγκλίνουσαν, ὅσον μικρότερα εἶναι ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις τοῦ φακοῦ (σχ. 63). Οὕτω ἔχομεν τὸν ἀκόλουθον ὀρισμὸν :



Σχ. 63. Διὰ τὴν ἐξήγησιν τῆς ἰσχύος τοῦ φακοῦ.

Καλεῖται ἰσχύς (ἢ συγκεντρωτικὴ ἰκανότης) ἑνὸς φακοῦ τὸ ἀντίστροφον τῆς ἔστιακῆς του ἀποστάσεως.

$$\text{ἰσχύς φακοῦ : } P = \frac{1}{\phi}$$

Ἐκ τοῦ ἀνωτέρω ὀρισμοῦ ἔπεται ὅτι εἰς μὲν τοὺς συγκλίνοντας φακοὺς ἡ ἰσχύς εἶναι θετικὴ, εἰς δὲ τοὺς ἀποκλίνοντας φακοὺς εἶναι ἀρνητικὴ. Ἡ ἰσχύς τοῦ φακοῦ ὑπολογίζεται εἰς διοπτρίας :

Διοπτρία (1 dpt) εἶναι ἡ ἰσχύς φακοῦ ἔχοντος ἔστιακὴν ἀπόστασιν 1 μέτρου.

Οὕτως ἂν ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις ἑνὸς συγκλίνοντος φακοῦ εἶναι  $\phi = 20$  cm, τότε ἡ ἰσχύς τοῦ φακοῦ τούτου εἶναι :

$$\text{ἰσχύς φακοῦ} = \frac{1}{\text{ἔστιακὴ ἀπόστασις εἰς m}} = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ διοπτρίαί}$$

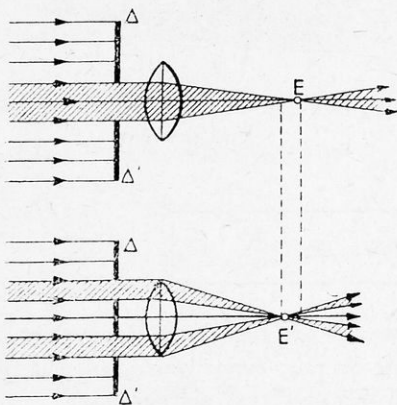
49. Ὁμοαξονικὸν σύστημα φακῶν.—Ὅταν πολλοὶ λεπτοὶ φακοὶ ἔχουν κοινὸν κύριον ἄξονα, τότε οἱ φακοὶ οὗτοι σχηματίζουν ὁμοαξονικὸν σύστημα. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἔχομεν ὅτι :

Ἡ ἰσχύς ἑνὸς ὁμοαξονικοῦ συστήματος λεπτῶν φακῶν εὐρισκομένων εἰς ἑπαφήν ἰσοῦται μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν ἰσχύων τῶν φακῶν τοῦ συστήματος :

$$\text{ισχύς συστήματος φακῶν: } \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{\varphi_1} + \frac{1}{\varphi_2}$$

Ἡ σχέση αὕτη δίδει τὴν ἐστιακὴν ἀπόστασιν  $\varphi$  τοῦ συστήματος.

50. Σφάλματα τῶν φακῶν. — Ἡ ἐξίσωσις τῶν φακῶν ἰσχύει ὑπὸ τὴν προϋπόθεσιν ὅτι ὁ φακὸς εἶναι λεπτός καὶ ὅτι προσπίπτουν ἐπ' αὐτοῦ κεντρικαὶ ἀκτῖνες μονοχρόου φωτός. Εἰς τὴν πραγματικότητα οἱ ἀνωτέρω ὅροι σπανίως ἀπαντῶνται. Τὸ χρησιμοποιούμενον φῶς εἶναι



Σχ. 64. Σφαιρική ἐκτροπή φακοῦ.

συνήθως λευκὸν φῶς, τὸ ὁποῖον διερχόμενον διὰ μέσου τῶν φακῶν ὑφίσταται ἀνάλυσιν. Οὕτως οἱ φακοὶ παρουσιάζουν διάφορα σφάλματα, τὰ ὁποῖα καλοῦνται ἐκτροπαί.

α) Σφαιρική ἐκτροπή. Αὕτη ὀφείλεται εἰς τὴν καμπυλότητα τῶν ἐπιφανειῶν τοῦ φακοῦ. Αἱ ἀκτῖνες αἱ διερχόμεναι διὰ τοῦ κεντρικοῦ καὶ τοῦ περιφερειακοῦ τμήματος τοῦ φακοῦ δὲν συγκεντρώνονται εἰς τὸ αὐτὸ σημεῖον (σχ. 64). Διὰ νὰ περιορίσωμεν τὴν σφαιρικὴν ἐκτροπὴν θέτομεν

πρὸ τοῦ φακοῦ διὰ φ ρ α γ μ α, φέρον κυκλικὸν ἄνοιγμα, διὰ τοῦ ὁποῖου διέρχονται μόνον κεντρικαὶ ἀκτῖνες.

β) Ἀστιγματικὴ ἐκτροπή. Αὕτη ὀφείλεται εἰς τὴν μεγάλην γωνίαν, τὴν ὁποῖαν σχηματίζουν αἱ προσπίπτουσαι ἀκτῖνες μετὰ τὸν κύριον ἄξονα τοῦ φακοῦ. Ὁ ἀστιγματισμὸς συντελεῖ εἰς τὸ νὰ μὴ εἶναι εὐκρινῆ τὰ σχηματιζόμενα εἶδωλα.

γ) Χρωματικὴ ἐκτροπή. Αὕτη ὀφείλεται εἰς τὴν ἀνάλυσιν, τὴν ὁποῖαν ὑφίσταται τὸ λευκὸν φῶς, ὅταν τοῦτο διέρχεται διὰ μέσου τοῦ φακοῦ. Καὶ ἡ ἐκτροπὴ αὕτη συντελεῖ εἰς τὸ νὰ μὴ εἶναι εὐκρινῆς τὸ σχηματιζόμενον εἶδωλον.

δ) Διωρθωμένον σύστημα φακῶν. Εἰς τὰ διάφορα ὀπτικά ὄργανα χρησιμοποιοῦνται σήμερον συστήματα φακῶν. Τὰ τοιαῦτα συστήματα

φακῶν ἀποτελοῦνται ἀπὸ πολλοὺς φακοὺς (3-12), τῶν ὁποίων αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος, τὸ εἶδος τῆς ὑάλου καὶ αἱ μεταξύ των ἀποστάσεις ἔχουν ἐκλεγῆ καταλλήλως. Ἐν διωρθωμένον σύστημα εἶναι **ἀπλανητικόν, ἀχρωματικόν, ἀναστιγματικόν**. Εἰς τὸ σύστημα τοῦτο τὸ εἶδωλον ἐνὸς φωτεινοῦ σημείου εἶναι σημεῖον (ἀπλανητικόν), ἡ χρωματικὴ ἐκτροπὴ καταργεῖται (ἀχρωματικόν) καὶ ἐξαφανίζονται τὰ ἐλαττώματα ἐκ τῆς κλίσεως τῶν ἀκτίνων πρὸς τὸν ἄξονα (ἀναστιγματικόν).

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

36. Αἱ ἀκτῖνες καμπυλότητος ἐνὸς φακοῦ, ἔχοντος δείκτην διαθλάσεως 1,50, εἶναι  $R_1 = \pm 40$  cm καὶ  $R_2 = \pm 60$  cm. Νὰ εὐρεθῆ ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις τῶν 4 εἰδῶν φακῶν, τὰ ὁποῖα δύνανται νὰ προκύψουν ἐκ τοῦ συνδυασμοῦ τῶν ἀνωτέρω τεσσάρων τιμῶν τῶν ἀκτίνων καμπυλότητος.

37. Ἡ μία [ἀκτῖς καμπυλότητος ἀμφικύρτου φακοῦ εἶναι 15 cm, ὁ δείκτης διαθλάσεως εἶναι 1,5 καὶ ἡ ἐστιακὴ του ἀπόστασις εἶναι 10 cm. Πόση εἶναι ἡ ἄλλη ἀκτῖς καμπυλότητος;

38. Ἀμφίκυρτος φακὸς ἔχει τὰς δύο ἀκτῖνας καμπυλότητος ἴσας μὲ 50 cm. Ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις τοῦ φακοῦ δι' ὠρισμένην ἀκτινοβολίαν εἶναι 45 cm. Πόσος εἶναι ὁ δείκτης διαθλάσεως τῆς ὑάλου διὰ τὴν ἀκτινοβολίαν αὐτήν;

39. Εἰς πόσῃ ἀπόστασιν ἀπὸ συγκλίνοντα φακὸν ἐστιακῆς ἀποστάσεως φ πρέπει νὰ τοποθετηθῆ ἀντικείμενον, διὰ νὰ εἶναι τὸ εἶδωλον 3 φορές μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον;

40. Φωτεινὸν σημεῖον εὐρίσκεται ἐπὶ τοῦ κυρίου ἄξονος συγκλίνοντος φακοῦ ἐστιακῆς ἀποστάσεως 15 cm. Ἡ ἀπόστασις τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸν φακὸν εἶναι κατὰ 80 cm μικρότερα [τῆς ἀποστάσεως τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸν φακόν. Πόσον ἀπέχει τὸ εἶδωλον ἀπὸ τὸν φακόν;

41. Εἰς πόσῃ ἀπόστασιν ἀπὸ φακὸν ἐστιακῆς ἀποστάσεως 15 cm πρέπει νὰ τοποθετηθῆ ἀντικείμενον, ὥστε τὸ σχηματιζόμενον εἶδωλον νὰ ἔχη ἐπιφάνειαν 9 φορές μεγαλύτεραν ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ἀντικειμένου;

42. Φωτεινὴ εὐθεῖα μήκους 2 cm ἀπέχει 1 m ἀπὸ πέτασμα. Μεταξὺ τῆς εὐθείας καὶ τοῦ πέτασματος τοποθετεῖται συγκλίνων φακός, ὅποτε λαμβάνομεν εὐκρινὲς εἶδωλον διὰ δύο θέσεις τοῦ φακοῦ, αἱ ὁποῖαι ἀπέχουν μεταξύ των 40 cm. Νὰ εὐρεθῆ ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις τοῦ φακοῦ καὶ αἱ διαστάσεις τῶν δύο εἰδῶλων.

43. Εἰς ἀπόστασιν 20 cm ἀπὸ ἀμφίκυκλον φακὸν ἐστιακῆς ἀποστάσεως -12 cm, τοποθετεῖται ἀντικείμενον μήκους 10 cm. Νὰ εὐρεθῆ ἡ θέσις καὶ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου.

44. Συμμετρικὸς ἀμφίκυρτος φακός ἔχει δείκτην διαθλάσεως  $n = 1,5$  καὶ ἐπιπλῆει ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας ὑδραργύρου. Εἰς ὕψος 25 cm ὑπεράνω τοῦ φακοῦ τοποθετεῖται φωτεινὸν σημεῖον. Παρατηρεῖται τότε ὅτι τὸ εἶδωλον τοῦ σημείου σχη-

ματίζεται εκεί, όπου εύρσκεται και τὸ φωτεινὸν σημεῖον. Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις τοῦ φακοῦ.

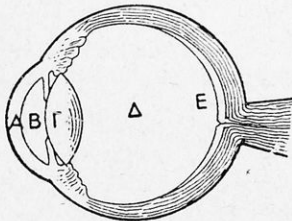
45. Μὲ ἓνα φακὸν ἰσχύος 5 διοπτριῶν θέλομεν νὰ σχηματίσωμεν ἐπὶ ἑνὸς τοίχου, ὁ ὁποῖος παίζει ρόλον πετάσματος, τὸ εἶδωλον Α'Β' ἑνὸς ἀντικειμένου ΑΒ. Τὸ μήκος τοῦ εἰδώλου πρέπει νὰ εἶναι 20 φορές μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ μήκος τοῦ ἀντικειμένου. Εἰς πόσῃ ἀπόστασιν ἀπὸ τὸν τοῖχον πρέπει νὰ τεθῇ ὁ φακὸς καὶ πόσον θὰ ἀπέχη τότε τὸ ἀντικείμενον ἀπὸ τὸν φακὸν ; Ὁ ὀπτικὸς ἄξων τοῦ φακοῦ εἶναι κάθετος πρὸς τὸν τοῖχον.

46. Ἀντικείμενον ΑΒ μήκους 10 cm ἀπέχει 40 cm ἀπὸ συγκλίνοντα φακὸν Λ ἔστιακῆς ἀποστάσεως  $f = 30$  cm. Θέλομεν νὰ λάβωμεν τὸ εἶδωλον τοῦ ΑΒ ἐπὶ διαφράγματος ἀπέχοντος 6 m ἀπὸ τὸν φακὸν Λ. Πρὸς τοῦτο φέρομεν εἰς ἐπαφὴν μὲ τὸν φακὸν Λ ἓνα ἄλλον φακὸν Λ'. Νὰ εὔρεθῇ τὸ εἶδος τοῦ φακοῦ Λ' καὶ ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις αὐτοῦ. Πόσον εἶναι τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου, τὸ ὁποῖον σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ διαφράγματος ;

37. Φακὸς Λ ἀπέχων 15 cm ἀπὸ ἀντικείμενον ΑΒ δίδει πραγματικὸν εἶδωλον Α'Β' = 3·ΑΒ. Νὰ εὔρεθῇ ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις ἑνὸς ἄλλου φακοῦ Λ', ὁ ὁποῖος τίθεται εἰς ἀπόστασιν 10 cm ὀπισθεν τοῦ φακοῦ Λ δίδει νέον πραγματικὸν εἶδωλον Α''Β'' = ν·Α'Β'. Πόση εἶναι ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις τοῦ φακοῦ Λ', ἂν εἶναι  $v = 2$  ἢ  $v = 1$  ;

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

51. Κατασκευὴ τοῦ ὀφθαλμοῦ.—Ἀπὸ ὀπτικῆς ἀπόψεως ὁ ὀφθαλμὸς ἀποτελεῖται ἐκ σειρᾶς διαφανῶν μέσων, τὰ ὁποῖα χωρίζονται μεταξύ των μὲ αἰσθητῶς σφαιρικὰς ἐπιφανείας· τὰ κέντρα τῶν ἐπιφανειῶν τούτων εὔρσκονται ἐπὶ τοῦ ἄξονος. Ὅταν προχωροῦμεν ἐκ τοῦ ἐξωτερικοῦ πρὸς τὸ ἐσωτερικόν, συναντῶμεν διαδοχικῶς τὰ ἐξῆς (σχ. 65) : α) Τὸν διαφανῆ κερρατοειδῆ χιτῶνα Α. β) Τὸ ὑδατῶδες ὑγρὸν Β. γ) Ἐν διάφραγμα ἔχον διάφορον χρῶμα εἰς τὰ διάφορα ἄτομα, τὸ ὁποῖον καλεῖται ἴρις καὶ φέρει εἰς τὸ μέσον κυκλικὸν ἄνοιγμα (κόρη) ἢ διάμετρος τῆς κόρης μεταβάλλεται ἀπὸ 2 ἕως 8 mm περίπου. δ) Ἐνα ἀμφικυρτον ἐλαστικὸν φακὸν Γ, ὁ ὁποῖος καλεῖται κρυσταλλῶδες φακός,

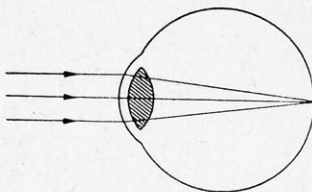


Σχ. 65. Τομὴ τοῦ ὀφθαλμοῦ.

ε) Τὸ ὑαλωδες ὑγρὸν Δ. Τὸ ἐσωτερικὸν τοίχωμα τοῦ ὀφθαλμοῦ καλύπτεται ἀπὸ μίαν μεμβράνην Ε, ἡ ὁποία καλεῖται ἀμφιβληστροειδῆς χιτῶν καὶ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὰς διακλαδώσεις τοῦ ὀπτικοῦ

νεύρου. Διὰ νὰ εἶναι εὐκρινῶς ὄρατὸν ἐν ἀντικείμενον, πρέπει τὸ εἶδωλον τοῦ νὰ σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς. Κατὰ προσέγγισιν ὁ ὀφθαλμὸς δύναται νὰ ἐξομοιωθῇ μὲ συγκλίνοντα φακόν, τοῦ ὁποίου τὸ ὀπτικὸν κέντρον εὐρίσκεται 15 mm ἔμπροσθεν τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς.

**52. Κανονικὸς ὀφθαλμὸς. Προσαρμογή.** — Ὄταν ὁ ὀφθαλμὸς παρατηρῆ ἐν ἀντικείμενον καὶ διακρίνη αὐτὸ εὐκρινῶς, τότε τὸ εἶδωλον τοῦ ἀντικειμένου τούτου σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς. Ἐὰν τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὸ ἄπειρον, τὸ εἶδωλον σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς (σχ. 66). Ὄταν τὸ ἀντικείμενον πλησιάζῃ συνεχῶς πρὸς τὸν ὀφθαλμόν, τότε τὸ εἶδωλον θὰ ἔπρεπε νὰ σχηματίζεται ὀπισθεν τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς καὶ νὰ ἀπομακρύνεται συνεχῶς ἀπὸ αὐτόν. Διὰ νὰ σχηματίζεται ὅμως πάντοτε τὸ εἶδωλον ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς, πρέπει νὰ τροποποιηθῇ ἐκάστοτε ὁ μηχανισμὸς τοῦ ὀφθαλμοῦ. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται διὰ μεταβολῆς τῶν ἀκτίνων καμπυλότητος τοῦ κρυσταλλώδους φακοῦ· ἐφ' ὅσον ἐλαττώνεται ἡ ἀπόστασις τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸν ὀφθαλμόν, ὁ κρυσταλλώδης φακὸς γίνεται συγκεντρωτικώτερος. Ἡ ἱκανότης αὕτη τοῦ ὀφθαλμοῦ καλεῖται **προσαρμογή**. Ὁ **κανονικὸς ὀφθαλμὸς**, δύναται νὰ βλέπῃ εὐκρινῶς, χωρὶς προσαρμογῆν, τὰ εἰς ἄπειρον εὐρισκόμενα ἀντικείμενα καὶ προσαρμοζόμενος δύναται νὰ βλέπῃ εὐκρινῶς τὰ ἀντικείμενα μέχρις ἀποστάσεως 25 cm. Ἡ ἐλαχίστη ἀπόστασις, εἰς τὴν ὁποίαν πρέπει νὰ εὑρεθῇ ἀπὸ τοῦ ὀφθαλμοῦ ἐν ἀντικείμενον, διὰ νὰ διακρίνεται εὐκρινῶς, καλεῖται **ἐλαχίστη ἀπόστασις εὐκρινουῦς ὁράσεως**· αὕτη διὰ τὸν κανονικὸν ὀφθαλμόν εἶναι περίπου 25 cm.

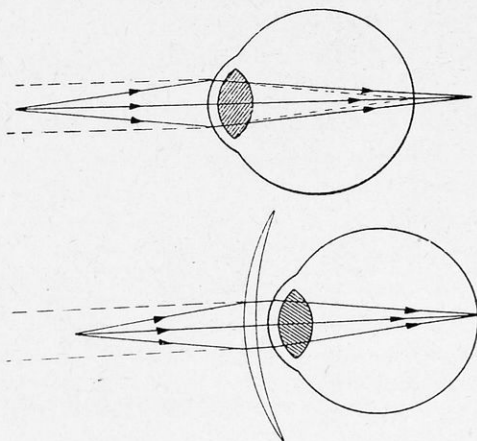


Σχ. 66. Κανονικὸς ὀφθαλμὸς.

**53. Πρεσβυωπία.** — Ἡ ἰσχὺς τοῦ κρυσταλλώδους φακοῦ, ὅταν οὗτος ἡρεμῇ, εἶναι 19 διοπτρίαι· διὰ τῆς προσαρμογῆς ἡ ἰσχὺς του αὐξάνεται εἰς 33 διοπτρίας. Αὕτη ὅμως ἡ ἱκανότης τοῦ ὀφθαλμοῦ, νὰ μεταβάλλῃ τὴν ἰσχύον τοῦ κρυσταλλώδους φακοῦ κατὰ 14 διοπτρίας, ἐλαττώνεται μὲ τὴν πάροδον τῶν ἐτῶν, διότι ἡ ἐλαστικότης τοῦ φακοῦ συνεχῶς ἐλαττώνεται. Οὕτως εἰς ἡλικίαν 20 ἐτῶν ἡ ἰσχὺς τοῦ φακοῦ



δύναται νὰ μεταβάλλεται κατὰ 10 διοπτρίας, εἰς ἡλικίαν 40 ἐτῶν κατὰ 4,5 διοπτρίας καὶ εἰς ἡλικίαν 60 ἐτῶν μόνον κατὰ 1 διοπτρίαν.

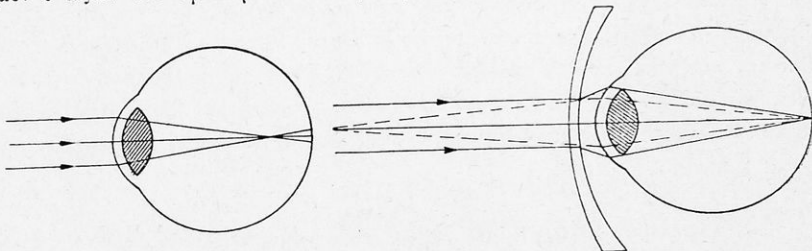


Σχ. 67. Πρεσβυωπικός ὀφθαλμὸς καὶ διόρθωσις αὐτοῦ.

ἰκανότητος προσαρμογῆς ὁ πρεσβύωψ ὀφθαλμὸς χρησιμοποιεῖ συγχλίνοντα φακὸν διὰ τὴν παρατήρησιν τῶν πλησίον εὐρισκομένων ἀντικειμένων (σχ. 67).

Αὕτῃ ἡ ἐλάττωσις τῆς ἰκανότητος προσαρμογῆς ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα νὰ ἀυξάνεται μὲ τὴν πάροδον τῶν ἐτῶν ἡ ἐλαχίστη ἀπόστασις εὐκρινοῦς ὁράσεως (**πρεσβυωπία**). Ὁ πρεσβύωψ βλέπει εὐκρινῶς τὰ ἀντικείμενα τὰ εὐρισκόμενα εἰς μεγάλην ἀπόστασιν, ἀλλὰ δὲν δύναται νὰ διακρίνη τὰ πλησίον ἀντικείμενα, διότι τότε τὸ εἶδωλον σχηματίζεται ὀπισθεν τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς. Διὰ νὰ ἀναπληρωθῇ ἡ ἔλλειψις

**54. Μύωψ καὶ ὑπερμέτρωψ ὀφθαλμὸς.** — Εἰς τὸν **μύωπα** ὀφθαλμὸν ὁ ἄξων τοῦ ὀφθαλμοῦ εἶναι μακρότερος τοῦ δέοντος, ἐπομένως τὸ



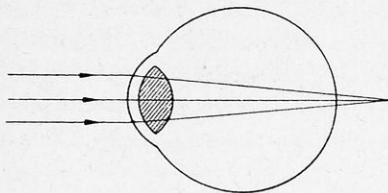
Σχ. 68. Μυωπικός ὀφθαλμὸς.

Σχ. 69. Διόρθωσις μυωπικοῦ ὀφθαλμοῦ.

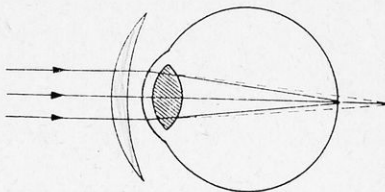
εἶδωλον ἑνὸς μακρὰν εὐρισκομένου ἀντικειμένου σχηματίζεται ἔμπροσθεν τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς (σχ. 68). Οὕτως ὁ μύωψ ὀφθαλμὸς βλέπει εὐκρινῶς χωρὶς προσαρμογὴν ἀντικείμενα εὐρισκόμενα εἰς ἀπόστασιν ὀλίγων

μέτρων, διότι τότε μόνον τὸ εἶδωλον σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς. Ἀντιθέτως ὁ μύωψ ὀφθαλμὸς δύναται προσαρμοζόμενος νὰ διακρίνη εὐκρινῶς εἰς ἀπόστασιν πολὺ μικροτέραν τῶν 25 cm. Ἡ μυωπία διορθώνεται διὰ τῆς χρησιμοποίησεως ἀποκλίνοντος φακοῦ, ὁ ὁποῖος μετατοπίζει τὸ εἶδωλον ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς ( σχ. 69 ).

Εἰς τὸν ὑπερμέτρωπα ὀφθαλμὸν ὁ ἄξων τοῦ ὀφθαλμοῦ εἶναι βραχὺς καὶ



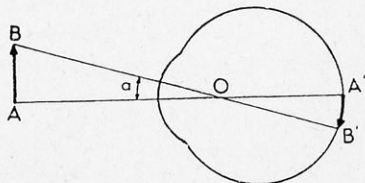
Σχ. 70. Ὑπερμετρωπικὸς ὀφθαλμὸς.



Σχ. 71. Διόρθωσις ὑπερμετρωπικοῦ ὀφθαλμοῦ.

ἐπομένως τὸ εἶδωλον ἑνὸς μακρὰν εὐρισκομένου ἀντικειμένου σχηματίζεται ὀπισθεν τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς ( σχ. 70 ). Οὕτως ὁ ὑπερμέτρωψ ὀφθαλμὸς δὲν διακρίνει τίποτε χωρὶς προσαρμογῆν. Εἰς τὸν ὀφθαλμὸν τοῦτον ἡ ἐλάχιστη ἀπόστασις εὐκρινοῦς ὁράσεως εἶναι πολὺ μεγαλύτερα ἀπὸ 25 cm. Ἡ ὑπερμετρωπία διορθώνεται διὰ τῆς χρησιμοποίησεως συγκλίνοντος φακοῦ, ὁ ὁποῖος μετατοπίζει τὸ εἶδωλον ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς ( σχ. 71 ).

55. Φαινομένη διάμετρος τοῦ ἀντικειμένου. — Καλεῖται **φαινομένη διάμετρος** ἑνὸς ἀντικειμένου AB ( σχ. 72 ) ἡ γωνία AOB =  $\alpha$  ἡ σχηματιζομένη ἀπὸ τὰς ἀκτῖνας OA καὶ OB, αἱ ὁποῖαι ἄγονται ἀπὸ τὸ κέντρο O τοῦ ὀφθαλμοῦ εἰς τὰ ἄκρα A καὶ B τοῦ ἀντικειμένου. Ὅταν τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται πολὺ μακρὰν, τότε ἡ γωνία  $\alpha$  εἶναι πολὺ μικρὰ καὶ μετρημένη εἰς ἀκτίνια εἶναι :



Σχ. 72. Ἡ γωνία AOB καλεῖται φαινομένη διάμετρος τοῦ ἀντικειμένου.

$$\text{φαινομένη διάμετρος: } \alpha = \frac{AB}{OA}$$

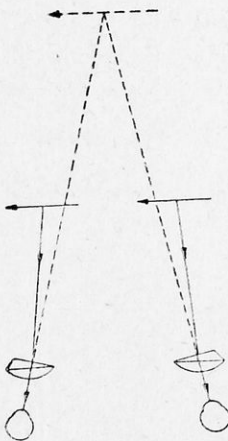
Ἡ ἀνωτέρω σχέσις φανερώνει ὅτι :

Ἡ φαινομένη διάμετρος ἑνὸς ἀντικειμένου εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὸ μέγεθος τοῦ ἀντικειμένου καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογος πρὸς τὴν ἀπόστασιν τούτου ἀπὸ τὸν ὀφθαλμόν·

Τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου Α'Β' ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς εἶναι ἀνάλογον πρὸς τὴν φαινομένην διάμετρον. Ἐπειδὴ ὅμως τὸ ἀντικείμενον δὲν δύναται νὰ πλησιάσῃ πρὸς τὸν ὀφθαλμὸν ἀπεριορίστως, ἔπεται ὅτι ἡ φαινομένη διάμετρος ἑνὸς ἀντικειμένου δὲν δύναται νὰ ὑπερβῇ μίαν ὠρισμένην μεγίστην τιμὴν, ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν τῆς εὐκρινοῦς ὁράσεως. Εἰς τὴν θέσιν αὐτὴν τοῦ ἀντικειμένου τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου ἔχει τὴν μ ε γ ί σ τ η ν δυνατὴν τιμὴν.

**56. Διόφθαλμος ὄρασις. Στερεοσκοπία.** — Ὅταν παρατηροῦμεν ἓν ἀντικείμενον μὲ τὸς δύο ὀφθαλμούς, τότε ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς ἐκάστου ὀφθαλμοῦ σχηματίζεται ἰδιαιτέρον εἶδωλον. Ἐν τούτοις βλέπομεν ἓν μόνον ἀντικείμενον. Ὅταν τὸ αὐτὸ ἀντικείμενον τὸ παρατηροῦμεν ἄλλοτε μὲν μὲ τὸν ἓνα ὀφθαλμόν, ἄλλοτε δὲ μὲ τὸν ἄλλον ὀφθαλμόν, τότε τὸ θέαμα, τὸ ὁποῖον παρουσιάζει τὸ ἀντικείμενον τοῦτο, εἶναι ὀλίγον δια-

φορητικόν, ὅταν παρατηρῆται μὲ μόνον τὸν δεξιὸν ἢ τὸν ἀριστερὸν ὀφθαλμόν. Αἱ μικραὶ αὗται διαφοραὶ συντελοῦν εἰς τὸ νὰ μᾶς δίδουν τὴν ἔννοιαν τοῦ ἀναγλύφου, δηλαδή νὰ ἀντιλαμβανώμεθα ὅτι τὸ ἀντικείμενον εὐρίσκεται εἰς τὸν περιβάλλοντα ἡμᾶς χῶρον ὄχι ὡς ἐπιφάνεια, ἀλλὰ ὡς στερεὸν ἔχον διατάσεις.



Σχ. 73. Ἀρχὴ τοῦ στερεοσκοπίου.

Τὸ στερεοσκοπικὸν ἀναπαράγει σχεδὸν τὴν ἔννοιαν τοῦ ἀναγλύφου, τὴν ὁποίαν μᾶς δίδει ἡ διόφθαλμος ὄρασις. Λαμβάνομεν δύο φωτογραφίας τοῦ ἀντικειμένου μὲ δύο φωτογραφικὰς μηχανάς, αἱ ὁποῖαι ἀπέχουν μεταξύ των, ὅσον ἀπέχουν οἱ δύο ὀφθαλμοί, ἤτοι 6 ἕως 7 cm. Αἱ δύο αὗται εἰκόνες τοῦ ἀντικειμένου δὲν εἶναι τελείως ὅμοιαι· ἡ μία ἐξ αὐτῶν ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν εἰκόνα, τὴν ὁποίαν μᾶς δίδει ὁ δεξιὸς ὀφθαλμός, ἡ δὲ ἄλλη εἰς τὴν εἰκόνα, τὴν ὁποίαν μᾶς δίδει ὁ ἀριστερὸς ὀφθαλμός. Θέτομεν τὰς δύο αὐτὰς εἰκόνας ἐπὶ τῆς βάσεως τοῦ στερεο-

σκοπίου (σχ. 73) και παρατηρούμεν συγχρόνως τὰς δύο εικόνας οὐτως, ὥστε ἕκαστος ὀφθαλμὸς νὰ βλέπῃ μόνον τὴν εἰκόνα, ἣ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς αὐτόν. Τὰ δύο εἶδωλα συμπίπτουν εἰς ἓν μόνον εἶδωλον, τὸ ὁποῖον μᾶς δίδει τὴν ἐντύπωσιν τοῦ ἀναγλύφου. Τὸ σύστημα παρατηρήσεως ἀποτελεῖται συνήθως ἀπὸ σύστημα φακοῦ καὶ πρίσματος.

**57. Διάρκεια τῆς ἐντυπώσεως.**— Ἡ γένεσις καὶ ἡ ἐξαφάνισις μιᾶς ὀπτικῆς ἐντυπώσεως ἀπαιτεῖ τὴν πάροδον ὀρισμένου χρόνου, ὁ ὁποῖος ἐξαφᾶται ἀπὸ τὴν ἔντασιν καὶ τὰ χρώματα τοῦ φωτός. Ἐκάστη λοιπὸν ὀπτικὴ ἐντύπωσις διαρκεῖ περίπου ἐπὶ  $1/10$  τοῦ δευτερολέπτου. Διὰ τοῦτο ἐν τὰ χέως κινουμένον φωτεινὸν σημεῖον δὲν διακρίνεται ὡς κινούμενον σημεῖον, ἀλλὰ ὡς μία φωτεινὴ γραμμὴ. Ἡ κινηματογραφία βασίζεται ἐπὶ τῆς διάρκειας τῆς ὀπτικῆς ἐντυπώσεως. Ἐπὶ τῆς ὀθόνης προβάλλονται διαδοχικῶς φωτογραφίαι ἑνὸς κινουμένου ἀντικειμένου ληφθεῖσαι κατὰ χρονικὰ διαστήματα ἴσα μὲ  $1/24$  τοῦ δευτερολέπτου. Αἱ φωτογραφίαι αὗται προβάλλονται ἔπειτα μὲ τὸν ἴδιον ρυθμὸν, ἦτοι 24 κατὰ δευτερόλεπτον. Ὁ παρατηρητὴς βλέπει προβαλλομένης τὰς διαδοχικὰς θέσεις τοῦ ἀντικειμένου, ἕνεκα ἴσως τῆς διάρκειας τῶν ὀπτικῶν ἐντυπώσεων, δὲν ἀντιλαμβάνεται τὴν συνεχῆ ἀλλαγὴν τῶν προβαλλομένων εἰκόνων καὶ νομίζει ὅτι βλέπει κινούμενον τὸ ἀντικείμενον.

#### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

48. Μυωπικὸς ὀφθαλμὸς δὲν δύναται νὰ διακρίνῃ εὐκρινῶς ἀντικείμενα εὐρισκόμενα εἰς ἀπόστασιν μεγαλυτέραν τῶν 3 m. Πόση πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἰσχὺς τοῦ διορθωτικοῦ φακοῦ, ὥστε ὁ ὀφθαλμὸς οὗτος νὰ διακρίνῃ εὐκρινῶς τὰ μακρὰν εὐρισκόμενα ἀντικείμενα;

49. Μυωπικὸς ὀφθαλμὸς δὲν διακρίνει εὐκρινῶς ἀντικείμενα εὐρισκόμενα εἰς ἀπόστασιν μεγαλυτέραν τῶν 10 cm. Πόση πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις τοῦ διορθωτικοῦ φακοῦ, ὥστε ὁ ὀφθαλμὸς οὗτος νὰ διακρίνῃ εὐκρινῶς εἰς ἀπόστασιν 40 cm;

50. Εἰς ἓνα ὑπερμέτρωπα ἡ ἐλαχίστη ἀπόστασις εὐκρινοῦς ὁράσεως εἶναι 90 cm. Νὰ εὑρεθῇ πόση πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἰσχὺς τῶν φακῶν, τοὺς ὁποίους θὰ χρησιμοποιῆ, διὰ νὰ διακρίνῃ εὐκρινῶς εἰς ἀπόστασιν 40 cm.

51. Ὁφθαλμὸς βλέπει εὐκρινῶς ἀντικείμενα εὐρισκόμενα εἰς ἀπόστασιν 1 m. Πόση πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἔστιακὴ ἀπόστασις τοῦ διορθωτικοῦ φακοῦ, διὰ νὰ βλέπῃ εὐκρινῶς εἰς ἀπόστασιν 25 cm;

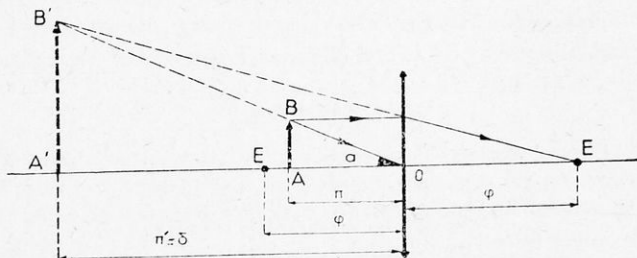
52. Γέρον, τοῦ ὁποῖου ἡ ἐλαχίστη ἀπόστασις εὐκρινοῦς ὁράσεως εἶναι 1,20 m θέλει νὰ διαβάξῃ βιβλίον εὐρισκόμενον εἰς ἀπόστασιν 30 cm ἀπὸ τὸν ὀφθαλμὸν του. Πόση εἶναι ἡ ἰσχὺς τοῦ φακοῦ, τὸν ὁποῖον θὰ χρησιμοποιήσῃ;

## ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

58. Ὀπτικά ὄργανα. — Εἶδομεν ( § 55 ) ὅτι, ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ φαινομένη διάμετρος ἑνὸς ἀντικειμένου, τόσον μεγαλύτερον εἶναι καὶ τὸ εἶδωλον τοῦ ἀντικειμένου τούτου, τὸ ὁποῖον σχηματίζεται ἐπὶ τοῦ ἀμφιβληστροειδοῦς. Ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου ἐξαρτᾶται καὶ τὸ πλῆθος τῶν λεπτομερειῶν, τὰς ὁποίας διακρίνομεν. Ἡ μεγίστη δυνατὴ φαινομένη διάμετρος ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν εὐκρινοῦς ὁράσεως. Διὰ τὴν ἐπιτύχωμεν αὐξήσιν τῆς φαινομένης διαμέτρου, χρησιμοποιοῦμεν διάφορα **ὀπτικά ὄργανα**.

### Α'. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

59. Ἄπλοῦν μικροσκόπιον. — Τὸ ἄπλοῦν μικροσκόπιον ἀποτελεῖται ἀπὸ ἑνα συγκλίνοντα φακὸν μικρᾶς ἐστιακῆς ἀποστάσεως. Τὸ πρὸς παρατήρησιν ἀντικείμενον  $AB$  ( σχ. 74 ) τοποθετεῖται μεταξὺ τῆς κυρίας ἐστίας  $E$  καὶ τοῦ φακοῦ. Τὸ παρατηρούμενον τότε εἶδωλον  $A'B'$  εἶναι ὀρθόν, φανταστικὸν καὶ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον. Ὑποθέτομεν ὅτι ὁ ὀφθαλμὸς εὐρίσκεται σχεδὸν εἰς ἐπαφήν μετὰ τὸν φα-



Σχ. 74. Ὁ συγκλίνων φακὸς ἀποτελεῖ ἄπλοῦν μικροσκόπιον.

κόν. Τὸ εἶδωλον  $A'B'$  εἶναι εὐκρινές, ὅταν ἡ ἀπόστασις του ἀπὸ τὸν ὀφθαλμὸν εἶναι ἴση μετὰ τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν τῆς εὐκρινοῦς ὁράσεως. Τὸ εἶδωλον  $A'B'$  φαίνεται ὑπὸ γωνίαν  $\alpha$ . Ἄρα ἡ μονὰς μήκους τοῦ ἀντικειμένου  $AB$  φαίνεται διὰ μέσου τοῦ φακοῦ ὑπὸ γωνίαν :

$$\frac{\alpha}{AB}$$

Καλεῖται ἰσχύς μικροσκοπίου ἡ γωνία, ὑπὸ τὴν ὁποίαν βλέπομεν διὰ μέσου τοῦ φακοῦ τὴν μονάδα μήκους τοῦ ἀντικειμένου.

$$\text{ἰσχύς ἀπλοῦ μικροσκοπίου : } P = \frac{\alpha}{AB} \quad (1)$$



Ἡ φαινομένη διάμετρος  $\alpha$  τοῦ εἰδώλου μετρεῖται εἰς ἀκτίνια καὶ τὸ μῆκος τοῦ ἀντικειμένου  $AB$  μετρεῖται εἰς μέτρα, ἐπομένως ἡ ἰσχὺς μετρεῖται εἰς διοπτρίας.

Ἀπὸ τὸ ὀρθογώνιον τρίγωνον  $OAB$  εὐρίσκωμεν:  $AB = OA \cdot \epsilon\phi \alpha$ . Ἐὰν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν ὅτι ἡ γωνία  $\alpha$  εἶναι πολὺ μικρὰ καὶ ὅτι ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις τοῦ φακοῦ συνήθως εἶναι πολὺ μικρὰ, τότε δυνάμεθα κατὰ μεγάλην προσέγγισιν νὰ λάβωμεν:  $AB = \phi \cdot \alpha$ . Ἐπομένως ἡ ἰσχὺς τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου κατὰ προσέγγισιν εἶναι:

$$\text{ισχύς ἀπλοῦ μικροσκοπίου: } P = \frac{1}{\phi} \quad (2)$$

**60. Μεγέθυνσις τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου.** — Δι' ὅλα τὰ ὀπτικά ὄργανα ἰσχύει ὁ ἀκόλουθος ὀρισμός:

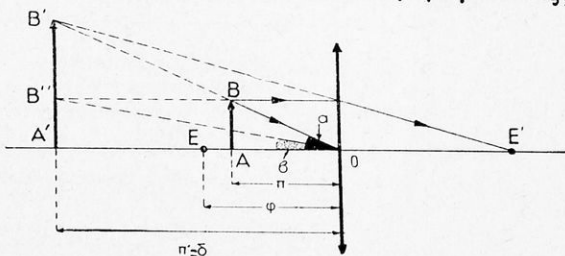
Μεγέθυνσις ἐνὸς ὀπτικοῦ ὄργανου καλεῖται ὁ λόγος τῆς γωνίας  $\alpha$ , ὑπὸ τὴν ὁποίαν βλέπομεν διὰ μέσου τοῦ ὄργανου τὸ εἶδωλον  $A'B'$ , πρὸς τὴν γωνίαν  $\beta$ , ὑπὸ τὴν ὁποίαν βλέπομεν τὸ ἀντικείμενον  $AB$  διὰ γυμνοῦ ὀφθαλμοῦ, ὅταν τοῦτο εὐρίσκεται εἰς τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν εὐκρινοῦς ὁράσεως.

Ἡ οὕτως ὀριζομένη μεγέθυνσις εἶναι ἡ **γωνιακὴ μεγέθυνσις**, ἐνῶ ὁ λόγος τῶν γραμμικῶν διαστάσεων τοῦ εἰδώλου καὶ τοῦ ἀντικειμένου εἶναι ἡ **γραμμικὴ μεγέθυνσις**:

$$\left( \gamma = \frac{A'B'}{AB} \right).$$

Ἡ γωνία  $\alpha$  ἔχει τὴν μεγαλυτέραν τιμὴν, ὅταν τὸ εἶδωλον  $A'B'$  σχηματίζεται εἰς τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν εὐκρινοῦς ὁράσεως (σχ. 75). Ἀπὸ τὴν σχέσιν  $\frac{1}{\pi} = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{\phi}$  εὐρίσκωμεν:

$$\pi = \frac{\phi \cdot \delta}{\phi + \delta} \quad (1)$$



Σχ. 75. Διὰ τὸν ὀρισμὸν τῆς μεγέθυνσεως τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου.

Αί γωνία  $\alpha$  και  $\beta$  είναι πολύ μικρά. Έπομένως από τα ορθογώνια τρίγωνα  $OAB$  και  $OA'B''$  εύρισκομεν ότι είναι :

$$\alpha = \frac{AB}{OA} \quad \text{ήτοι} \quad \alpha = \frac{AB}{\pi}$$

$$\text{και} \quad \beta = \frac{A'B''}{OA'} \quad \text{ήτοι} \quad \beta = \frac{AB}{\delta}$$

Συμφώνως πρὸς τὸν ἀνωτέρω ὀρισμὸν ἔχομεν ὅτι ἡ μεγέθυνσις  $M$  εἶναι :

$$M = \frac{\alpha}{\beta} \quad \text{ήτοι} \quad M = \frac{\delta}{\pi} \quad (2)$$

Ἐὰν εἰς τὴν εὐρεθεῖσαν σχέσιν θέσωμεν τὴν τιμὴν τοῦ  $\pi$  ἀπὸ τὴν ἐξίσωσιν (1), εύρισκομεν ὅτι ἡ **μεγέθυνσις τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου** εἶναι :

$$\text{μεγέθυνσις ἀπλοῦ μικροσκοπίου : } M = 1 + \frac{\delta}{\varphi} \quad (3)$$

Ἐπειδὴ ἡ ἐστιακὴ ἀπόστασις  $\varphi$  τοῦ φακοῦ εἶναι συνήθως πολὺ μικρά, δυνάμεθα νὰ λάβωμεν  $\pi = \varphi$ . Τότε ἀπὸ τὴν σχέσιν (2) εύρισκομεν ὅτι :

Ἡ μεγέθυνσις ἑνὸς ἀπλοῦ μικροσκοπίου ἰσοῦται κατὰ προσέγγισιν μὲ τὸν λόγον τῆς ἐλαχίστης ἀποστάσεως εὐκρινοῦς ὁράσεως τοῦ παρατηρητοῦ πρὸς τὴν ἐστιακὴν ἀπόστασιν τοῦ φακοῦ.

$$\text{μεγέθυνσις ἀπλοῦ μικροσκοπίου : } M = \frac{\delta}{\varphi} \quad (4)$$

(κατὰ προσέγγισιν)

Ἐὰν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν ὅτι κατὰ προσέγγισιν ἡ ἰσχὺς τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου εἶναι  $P = 1/\varphi$ , τότε ἡ ἀνωτέρω σχέσις (4) φανερώνει ὅτι :

Ἡ μεγέθυνσις τοῦ ἀπλοῦ μικροσκοπίου ἰσοῦται μὲ τὸ γινόμενον τῆς ἰσχύος τοῦ φακοῦ ἐπὶ τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν εὐκρινοῦς ὁράσεως τοῦ παρατηρητοῦ.

$$\text{μεγέθυνσις ἀπλοῦ μικροσκοπίου : } M = P \cdot \delta \quad (5)$$

**Π α ρ ἄ δ ε ι γ μ α .** Παρατηρητὴς ἔχων ἐλαχίστην ἀπόστασιν εὐκρινοῦς ὁράσεως 25 cm παρατηρεῖ διὰ μέσου συγκλίνοντος φακοῦ ἐστιακῆς ἀποστάσεως 2 cm μικρὸν ἀντικείμενον μήκους 2 mm.

Ἡ ἰσχὺς τοῦ χρησιμοποιουμένου ἀπλοῦ μικροσκοπίου εἶναι:

$$P = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ διοπτραὶ}$$

Ἡ ἐπιτυγχανομένη μεγέθυνσις εἶναι:

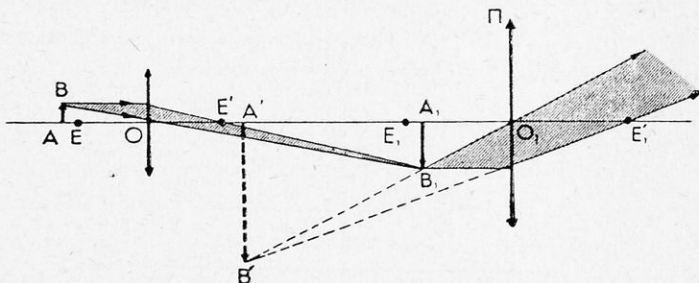
$$M = \frac{\delta}{\varphi} = \frac{25}{2} = 12,5$$

Ἡ φαινομένη διάμετρος τοῦ εἰδώλου εἶναι:

$$\alpha = P \cdot AB = 50 \cdot 0,002 = 0,1 \text{ rad} \quad \eta \quad \alpha = 5,7^\circ$$

**61. Σύνθετον μικροσκόπιον.** — Τὸ **σύνθετον μικροσκόπιον** ἢ ἀπλῶς **μικροσκόπιον** χρησιμοποιεῖται διὰ τὴν παρατήρησιν πολλῶν μικρῶν ἀντικειμένων. Τὸ μικροσκόπιον ἀποτελεῖται ἀπὸ σύστημα δύο συγκλινόντων φακῶν, οἱ ὅποιοι εἶναι καταλλήλως στερεωμένοι εἰς τὰ δύο ἄκρα σωληῆνος.

Ὁ ἀντικείμενικὸς φακὸς ἔχει πολὺ μικρὰν ἐστιακὴν ἀπόστασιν, ὀλίγον δὲ πέραν τῆς κυρίας ἐστίας του τοποθετεῖται τὸ πολὺ μικρὸν ἀντικείμενον AB (σχ. 76). Οὕτως ὁ ἀντικείμενικὸς φακὸς δίδει τὸ π ρ α γ



Σχ. 76. Πορεία τῶν ἀκτίνων εἰς τὸ σύνθετον μικροσκόπιον.

μ α τ ι κ ὸ ν εἶδωλον  $A_1B_1$ , τὸ ὅποῖον εἶναι ἀνεστραμμένον καὶ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον. Ὁ **προσοφθάλμιος** φακὸς λειτουργεῖ ὡς ἀπλοῦν μικροσκόπιον καὶ χρησιμεύει διὰ τὴν παρατήρησιν τοῦ πραγματικοῦ εἰδώλου  $A_1B_1$ · τοῦτο σχηματίζεται ἰμεταξὺ τοῦ προσοφθαλμικοῦ φακοῦ καὶ τῆς κυρίας ἐστίας του. Οὕτως ὁ ὀφθαλμὸς βλέπει τὸ φ α ν τ α σ τ ι κ ὸ ν εἶδωλον  $A'B'$ , τὸ ὅποῖον, διὰ νὰ εἶναι εὐκρινές, πρέπει νὰ σχηματίζεται εἰς τὴν ἐλαχίστην ἀπόστασιν εὐκρινοῦς ὁράσεως τοῦ παρατηρητοῦ. Τὸ ἀντικείμενον φωτίζεται ἰκἀτάωθεν πολὺ ἰσχυρῶς μετὰ τὴν βοήθειαν κατόπτρου, ὥστε τὸ τελικὸν εἶδωλον, τὸ ὅποῖον εἶναι πολὺ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ ἀντικείμενον, νὰ εἶναι φωτεινόν.