

ΑΡΧΕΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Α. ΑΡΑΒΑΝΤΙΝΟΣ Καθ. Φυσικής Τ.Ε.Ι. Αθήνας

Ανοιχτά
Ακαδημαϊκά
Μαθήματα στο ΤΕΙ
Αθήνας

Περιεχόμενα

Ο ανθρώπινος οφθαλμός και η διοφθάλμια όραση.....	2
Διοφθάλμια όραση και στερεοσκοπία.....	2
Ανθρώπινος οφθαλμός	2
Το βοθρίον της ωχράς κηλίδας	3
Εστίαση οφθαλμού	4
Σχηματισμός ειδώλου	4
Οπτικά φαινόμενα στον ανθρώπινο οφθαλμό.....	5
Προσαρμογή οφθαλμού	6
Περιστροφική κίνηση του βολβού του οφθαλμού	7
Ανόμοια είδωλα	7
Διοφθάλμια παρατήρηση και απόσταση, περιοχές εστίασης του οφθαλμού.....	8
Παράγοντες διοφθάλμιας παρατήρησης.....	8
Διοφθάλμιες παρατηρήσεις σε επίπεδα.....	9
Εφαρμογή - αντιστοιχία στην στερεοσκοπική φωτογραφία	11
Αποστάσεις φακών στην στερεοσκοπική λήψη.....	13
Φωτογραφικός εξοπλισμός.....	15
(A) Η στέρεο - κάμερα (Stereo - camera)	15
(B) Κάμερα με προσαρμογή διαχωριστή δέσμης	16
(Γ) Χρήση δυο συγχρονισμένων φωτογραφικών μηχανών	17
(Δ) Διαδοχική λήψη με μια και μοναδική φωτογραφική μηχανή	17
Βασικές αρχές στέρεο - φωτογράφισης Στερεοσκοπική βάση (1 / 30)	18
Η διαδικασία της φωτογράφισης.....	19
Εστίαση, βάθος πεδίου	20
Το κριτήριο του χρόνου, ο φωτισμός του θέματος, η διαφορά της κλίμακας	20
Μέθοδοι παρουσίασης και θέασης στέρεο φωτογραφιών.....	22
Στερεοσκόπιο	22
Στερεοσκοπική προβολή μέσω πολωτικών φίλτρων	23
Βιβλιογραφία	24

Ο ανθρώπινος οφθαλμός και η διοφθάλμια όραση

Με σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας αλλά και του μηχανισμού της διοφθάλμιας όρασης σε αντιστοιχία με την στερεοσκοπική φωτογραφία είναι αναγκαίο να κατανοηθούν μερικές βασικές λειτουργίες της ανθρώπινης όρασης. Αυτό σημαίνει την γνώση όχι μόνο του πως είναι εσωτερικά δομημένος ο ανθρώπινος οφθαλμός αλλά και πως αυτός διαχειρίζεται συνεργατικά τα διάφορα επί μέρους τμήματά του. Στη συνέχεια ακολουθεί μια μικρή περιληπτική εισαγωγή σε σχέση με τον ανθρώπινο οφθαλμό αλλά και την λειτουργία του.

Διοφθάλμια όραση και στερεοσκοπία

Πριν την αναφορά στον ανθρώπινο οφθαλμό είναι αναγκαίο να διαχωριστούν έννοιες όπως διοφθάλμια όραση και στερεοσκοπία. Διοφθάλμια όραση σημαίνει η δυνατότητα της παρατήρησης φυσικών αντικειμένων με τρισδιάστατο τρόπο και σχετίζεται με τις ιδιότητες των ανθρώπινων οφθαλμών να δημιουργούν το αντίστοιχο «ανάγλυφο» ενώ προσφέρουν το φαινόμενο της προοπτικής καθώς και την εκτίμηση της απόστασης. Η στερεοσκοπία από την άλλη σχετίζεται με την τεχνητή αναπαραγωγή παρόμοιας αίσθησης με την βοήθεια κατάλληλων σχεδιαστικών διαγραμμάτων ή φωτογραφιών και συνήθως αυτό επιτυγχάνεται με οπτικές διατάξεις που συνδυάζουν ή και συγχωνεύουν τις απεικονίσεις αυτές.

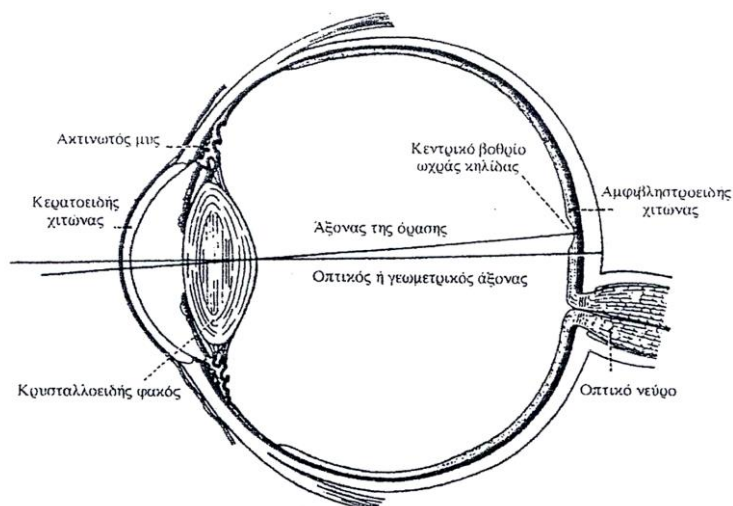
Ανθρώπινος οφθαλμός

Ο ανθρώπινος οφθαλμός θεωρείται ένα ιδιαίτερα περίπλοκο ανθρώπινο όργανο με πολύπλοκες δυνατότητες. Ο οφθαλμός όχι μόνο μπορεί να παρατηρεί με σαφήνεια κοντινά ή και μακρινά αντικείμενα αλλά διακρίνει χρώματα, παρατηρεί αντικείμενα που κινούνται σε διαφορετικές διευθύνσεις προσδιορίζοντας τις σχετικές τους αποστάσεις. Μπορεί ακόμη να μεταβάλλει το διάφραγμα (ίριδα) με σκοπό να ελέγξει την ένταση του διερχόμενου φωτός στο εσωτερικό του. Το οπτικό σύστημα του οφθαλμού μπορεί κατασκευαστικά να προσομοιαστεί με μια φωτογραφική μηχανή η οποία επίσης διαθέτει κυκλικό διάφραγμα μεταβλητού ανοίγματος. Ο φακός του ανθρώπινου οφθαλμού είναι σαφώς πιο περίπλοκος από τον αντίστοιχο φωτογραφικό ενώ στη θέση του φωτογραφικού φιλμ ή ψηφιακού αισθητήρα υπάρχει ο αμφιβληστροειδής όπου σχηματοποιείται το είδωλο του οφθαλμικού φακού.

Ο συγκλίνων μηνίσκος ονομάζεται κερατοειδής χιτώνας και είναι τοποθετημένος ακριβώς μπροστά από ένα μεταβλητό άνοιγμα κυκλικού σχήματος γνωστό και ως ίριδα. Η ίριδα είναι αδιαφανής και έγχρωμη εκτός από το κυκλικό, κεντρικό άνοιγμά της γνωστό και ως κόρη. Το άνοιγμα αυτό μπορεί κατάλληλα να μεγαλώνει ή να μικραίνει μέσω μυών εάν το φως που προσπίπτει επάνω του είναι αντίστοιχα ασθενικό ή έντονο.

Ακριβώς πίσω από τον κερατοειδή χιτώνα και την ίριδα υπάρχει ο κρυσταλλοειδής φακός που έχει ιδιαίτερα πολύπλοκη κατασκευή από επάλληλα, διαθλαστικά στρώματα (ή φλοιούς) των οποίων η πυκνότητα αυξάνει καθώς πλησιάζει κανείς από την περιφέρεια προς το κέντρο. Ο δείκτης διάθλασης των εξωτερικών στρωμάτων του φακού είναι σχεδόν ο ίδιος με αυτόν του μέσου με το οποίο περιβάλλεται και έτσι δεν υπάρχει απώλεια φωτός (λόγω σχετικής ανάκλασης) κατά την διέλευση του φωτός μέσα από τον φακό. Πίσω από

τον κρυσταλλοειδή φακό υπάρχει περιοχή που είναι πλήρης με μια διαφανή, κολλώδη ουσία γνωστή ως Υαλώδες Σώμα (Vitreous Humour), αυτή η ουσία περιορίζεται εντός μιας λεπτής, διαφανούς μεμβράνης γνωστή και ως υαλώδης μεμβράνη. Η περιοχή που είναι μεταξύ του κρυσταλλοειδή φακού και του κερατοειδή χιτώνα είναι πλήρης υγρού κυρίως νερού (το υδατοειδές υγρό).



Η περιβάλλουσα, προστατευτική εξωτερική μεμβράνη καλείται χοριοειδής μεμβράνη και περιλαμβάνει το σύνολο των τμημάτων του οφθαλμού. Η φωτοευαίσθητη επιφάνεια στην οποία σχηματίζεται το είδωλο είναι ο αμφιβληστροειδής φλοιός και αποτελεί, τρόπον τινά, την εσωτερική επένδυση της χοριοειδούς μεμβράνης. Ο αμφιβληστροειδής συνδέεται με τον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου. Είναι η δράση του φωτός, εκείνη η οποία μέσω του οπτικού νεύρου δημιουργεί την αίσθηση της όρασης. Στον ανθρώπινο αμφιβληστροειδή υπάρχουν δυο διαφορετικής κατηγορίας φωτοευαίσθητοι υποδοχείς τα ραβδία και τα κωνία.

Το βοθρίον της ωχράς κηλίδας

Υπάρχει μια μικρή περιοχή του αμφιβληστροειδή, ακριβώς επάνω από το οπτικό νεύρο, και η οποία καλείται ωχρά κηλίδα. Στη περιοχή αυτή η όραση είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, υπάρχει μεγάλο πλήθος κωνίων διατεταγμένων το ένα κοντά στο άλλο σε πάρα πολύ πυκνή διάταξη και μάλιστα σε σύνδεση (το κάθε ξεχωριστό κωνίο) με αντίστοιχο οπτικό νεύρο. Αυτή η μικροσκοπική περιοχή η οποία αποκόπτει, με γωνιακό άνοιγμα όχι μεγαλύτερο από μόλις 1° , διαθέτει την καλλίτερη δυνατή διακριτική ικανότητα από οποιαδήποτε άλλη περιοχή του ίδιου αμφιβληστροειδή. Όταν ένα αντικείμενο παρατηρείται οι οπτικοί άξονες που καταλήγουν στο βοθρίο συγκλίνουν σε κάθε επί μέρους μικροσκοπική περιοχή του αντικειμένου σχηματίζοντας έτσι ευκρινείς εικόνες στη συγκεκριμένη περιοχή του αμφιβληστροειδή. Ενώ λοιπόν στην περιοχή της ωχράς κηλίδας δεν υπάρχουν ραβδία, σε άλλες απομακρυσμένες περιοχές του αμφιβληστροειδή τα ραβδία είναι σε πλήθος πολύ περισσότερα από ότι τα κωνία. Μάλιστα θεωρείται ότι τα ερεθίσματα από τα ραβδία συνδυάζονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να αποστέλλονται «ομαδοποιημένα» προς τον εγκέφαλο μέσω ενός μόνο οπτικού νεύρου για την κάθε τέτοια ομάδα. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί και την σχετικά μικρότερη διακριτική ικανότητα που χαρακτηρίζει όλη την

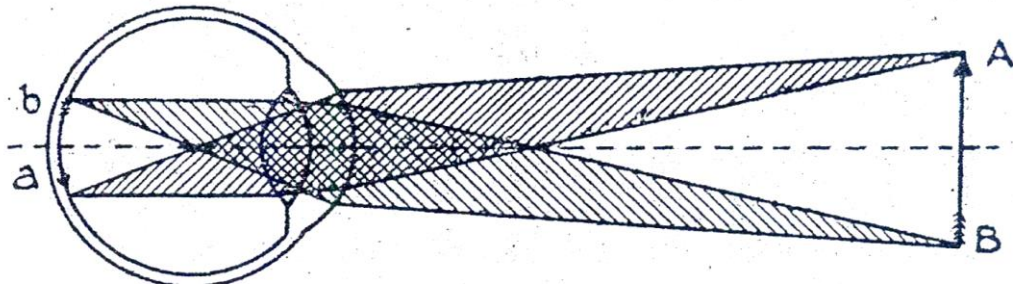
υπόλοιπη περιοχή του αμφιβληστροειδή. Ο ακριβής τρόπος με τον οποίο ο αμφιβληστροειδής ανταποκρίνεται κάθε φορά στη δράση του εισερχόμενου φωτός δεν είναι - ακόμη και σήμερα - απόλυτα κατανοητός. Βέβαια έχει πλέον πιστοποιηθεί ότι η αρχική απόκριση στα ραβδία και τα κωνία έχει φωτοχημικό χαρακτήρα. Πρόκειται δηλαδή για την στερεοχημική μετατροπή του μορίου της ρετινάλης από 11 - cis σε όλο - trans. Η μετατροπή αυτή αντιστοιχεί σε χωροταξική μετακίνηση της πλευρικής άκρης του συγκεκριμένου μορίου κατά 5 μόνο Angstroms. Τέλος, όραση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στην μικροσκοπική περιοχή του αμφιβληστροειδή που συνδέεται το οπτικό νεύρο, η μικρή αυτή περιοχή καλείται χαρακτηριστικά και τυφλό σημείο.

Εστίαση οφθαλμού

Ας υποθέσουμε πως ο οφθαλμός είναι έτσι «προετοιμασμένος» ώστε το είδωλο ενός πολύ μακρινού αντικειμένου να είναι εστιασμένο στον αμφιβληστροειδή. Στη συνέχεια έστω ότι ο ίδιος οφθαλμός παρατηρεί ένα πιο κοντινό αντικείμενο και εστιάζει επάνω του έτσι ώστε να υπάρχει εκ νέου σαφήνεια στο είδωλο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της δράσης μυών που βρίσκονται στη περιφέρεια του φακού και ελέγχουν σχεδόν απόλυτα την μεταβολή της καμπυλότητας των διαθλαστικών επιφανειών του. Στην περίπτωση της παρατήρησης κοντινών σχετικά αντικειμένων θα πρέπει η καμπυλότητα να είναι ακόμη μεγαλύτερη. Στο αντίστοιχο φωτογραφικό ισοδύναμο θα πρέπει ο φακός (μικρής σχετικά εστιακής απόστασης) να μετατοπιστεί σε λίγο μεγαλύτερη απόσταση από το επίπεδο του φιλμ ή αισθητήρα. Το σχηματιζόμενο είδωλο στον αμφιβληστροειδή είναι αντεστραμμένο, όπως άλλωστε και στη φωτογραφική μηχανή, βέβαια στη διανοητική μας αντίληψη εκτιμάται ως ορθό. Ένας κανονικός οφθαλμός μπορεί να παρατηρεί μικρά σχετικά αντικείμενα ακόμη και από την απόσταση των περίπου 15cm όμως η καλλίτερη απόσταση παρατήρησης φαίνεται να αρχίζει από τα 25 έως και 30cm (απόσταση ευκρινούς όρασης). Εάν τα αντικείμενα είναι αρκετά πιο μακριά τα είδωλα στον αμφιβληστροειδή μικραίνουν πάρα πολύ και έτσι η σαφήνεια παρατήρησης ελαττώνεται. Στα αντικείμενα που είναι πολύ - πολύ κοντά απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια προκειμένου αυτά να παρατηρηθούν με ικανοποιητική σαφήνεια.

Σχηματισμός ειδώλου

Η εικόνα που ακολουθεί διευκρινίζει σχηματικά τον τρόπο με τον οποίο το είδωλο ab του γραμμικού αντικειμένου AB σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή. Οι φωτεινές ακτίνες εισερχόμενες στον οφθαλμό διαθλώνται αρχικά στο κερατοειδή χιτώνα και στη συνέχεια στον κρυσταλλοειδή φακό (μάλιστα όχι μόνο στην μπροστά αλλά και στην πίσω διαθλαστική επιφάνειά του). Το είδωλο του αντικειμένου θα εστιαστεί στον αμφιβληστροειδή και φαίνεται μάλιστα να έχει καμπύλο σχήμα.



Αυτό οφείλεται στη πλάγια κατεύθυνση των περιφερειακών φωτεινών ακτίνων όπως επίσης και στη σφαιρική εκτροπή που εμφανίζει ο φακός. Η καμπυλότητα του ειδώλου φαίνεται να συμπίπτει με την καμπυλότητα του αμφιβληστροειδή και έτσι η όραση πραγματοποιείται με αρκετή σαφήνεια.

Οπτικά φαινόμενα στον ανθρώπινο οφθαλμό

Αν και ο οφθαλμός θεωρείται σαν ένα από τα πιο πολύτιμα και ευαίσθητα ανθρώπινα όργανα δεν φαίνεται να είναι απαλλαγμένος από κάποια οπτικά σφάλματα. Στις πολύ κοντινές παρατηρήσεις ο οφθαλμός εμφανίζει έντονη σφαιρική εκτροπή ενώ σε μακρινές σημαντική αποδεικνύεται και η χρωματική εκτροπή. Αυτό καταδεικνύεται με το εξής πείραμα : μέσω μιας μικροσκοπικής οπής που κατασκευάστηκε σε κομμάτι από αδιαφανές χαρτί παρατηρούμε τον ανοικτό ορίζοντα του ουρανού, στη συνέχεια ανυψώνεται η μικροσκοπική οπή έτσι ώστε τώρα το φως να εισέρχεται στον οφθαλμό σχεδόν από την περιφέρεια της κόρης και όχι όπως πριν κεντρικά. Το φως του ουρανού εμφανίζεται να έχει μια κοκκινωπή απόχρωση που πριν δεν υπήρχε. Εάν πάλι παρατηρηθεί μια μικρή φλόγα από κερί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, τότε το επάνω τμήμα της θα εμφανιστεί μπλε ενώ το κάτω κόκκινο.

Όταν ο οφθαλμός παρατηρεί ένα αντικείμενο η οπτική εντύπωση παραμένει για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ακόμη και μετά την πλήρη απομάκρυνση - απουσία του αντικειμένου. Η οπτική αυτή αίσθηση διαρκεί συνήθως από 1/8 έως 1/10 sec μετά και από την απομάκρυνση του αντικειμένου. Την παραμένουσα αυτή οπτική αντίληψη αξιοποιεί επιτυχώς η κινηματογραφική τεχνική στην οποία ξεχωριστές επί μέρους εικόνες προβάλλονται με σταθερό ρυθμό 16 στιγμιότυπα το δευτερόλεπτο. Οι εικόνες αυτές γίνονται αντιληπτές να εξελίσσονται με συνεχή τρόπο στο μέτρο που η επόμενη εικόνα εμφανίζεται ενώ η οπτική αίσθηση από την προηγούμενη εξακολουθεί να υπάρχει. Η εξήγηση αυτής της οπτικής καθυστέρησης μπορεί να είναι ότι ο αμφιβληστροειδής εξακολουθεί να δημιουργεί ερεθισμούς στο οπτικό νεύρο για ένα μικρό ακόμη χρονικό διάστημα μετά και από την πλήρη εξαφάνιση του αρχικού ερεθισμού. Ένα ακόμη ενδιαφέρον φαινόμενο που σχετίζεται με τον οφθαλμό είναι η «κόπωση» του αμφιβληστροειδή. Έτσι εάν ένας παρατηρεί ένα ιδιαίτερα φωτεινό αντικείμενο π.χ. από το εσωτερικό ενός δωματίου τη θέα ενός ανοικτού παράθυρου και στη συνέχεια θελήσει να δει τον δίπλα ευρισκόμενο σκοτεινό τοίχο του δωματίου θα αντιληφθεί το προηγούμενο φωτεινό αντικείμενο να «προβάλλεται» σαν μαύρο περίγραμμα στην παρατηρούμενη επιφάνεια του τοίχου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το τμήμα του αμφιβληστροειδή που πριν ήταν εκτεθειμένο στο έντονο φως τώρα είναι λιγότερο ευαίσθητο από ότι η

υπόλοιπη περιοχή του ίδιου αμφιβληστροειδή. Το γεγονός αυτό της στιγμιαίας διαφορετικότητας στην ευαισθησία του αμφιβληστροειδή διαρκεί ελάχιστα. Στα αμέσως επόμενα δευτερόλεπτα το γεγονός που είχε παρατηρηθεί παύει να υφίσταται.

Υπάρχει ήδη προηγούμενη αναφορά στο τυφλό σημείο, πρόκειται για μικροσκοπική περιοχή όπου το οπτικό νεύρο συνδέεται με τον οφθαλμό, εκεί διαπιστώνεται η έλλειψη φωτοευαίσθητου τμήματος για τον αμφιβληστροειδή. Η ύπαρξη του τυφλού σημείου μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί πειραματικά παρατηρώντας το σχήμα που ακολουθεί. Εάν ο αριστερός οφθαλμός του αναγνώστη παραμείνει κλειστός και η προσοχή του δεξιού οφθαλμού συγκεντρωθεί στο αστέρι τότε, καθώς η σελίδα μετακινείται από σχετική απόσταση 38cm προς τον οφθαλμό ο μαύρος δίσκος που βρίσκεται δεξιά θα εξαφανιστεί προσωρινά και καθώς η σελίδα θα συνεχίζει να πλησιάζει ακόμη περισσότερο θα εμφανιστεί εκ νέου. Είναι εύκολο να προσδιοριστεί γεωμετρικά η θέση του τυφλού σημείου και φαίνεται να συμπίπτει απόλυτα με τη ακριβή θέση όπου το οπτικό νεύρο συνδέεται με περιοχή του αμφιβληστροειδή.



Προσαρμογή οφθαλμού

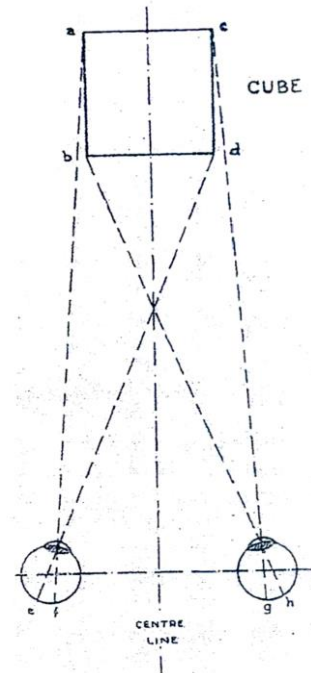
Υπάρχει ήδη προηγούμενη αναφορά στην ικανότητα που έχει ο οφθαλμός να δημιουργεί πολύ καλά εστιασμένα είδωλα για αντικείμενα που βρίσκονται σε μακρινές, ενδιάμεσες αλλά και κοντινές αποστάσεις. Η δυνατότητα αυτή του οφθαλμού να μεταβάλλει κατάλληλα τα οπτικά χαρακτηριστικά του ονομάζεται προσαρμογή και οφείλεται κυρίως στη μεταβολή της καμπυλότητας και των δυο επιφανειών του κρυσταλλοειδή φακού. Παρατηρήσεις ειδώλων από ανάκλαση μικροσκοπικών φωτεινών αντικειμένων (π.χ. φλόγα κεριού) σε ανθρώπινο οφθαλμό καταδεικνύουν πως η προσαρμογή επηρεάζεται από μια αύξηση στη καμπυλότητα της μπροστά κυρίως επιφάνειας του κρυσταλλοειδή φακού. Σχετικό οπτικό όργανο γνωστό ως Phakoscope του Helmholtz μπορεί να υπολογίζει την μεταβολή της καμπυλότητας στην εξωτερική επιφάνεια του κρυσταλλοειδή φακού καθώς αυτός προσαρμόζεται να παρατηρεί σχετικά κοντινά φωτεινά αντικείμενα. Σε σχέση με την μεταβολή της προσαρμογής καθώς η ηλικία αυξάνει έχει παρατηρηθεί ότι παιδί δυο ή και τριών χρόνων μπορεί να δει με σαφήνεια αντικείμενα που βρίσκονται οριακά σε κοντινή απόσταση ακόμη και 6cm. Καθώς όμως το παιδί μεγαλώνει η απόσταση αυτή αυξάνει μέχρις ότου ενηλικιωθεί όπου η κοντινότερη απόσταση ευκρινούς όρασης προσδιορίζεται από 25 έως 30cm. Με την περαιτέρω αύξηση της ηλικίας η προσαρμογή πραγματοποιείται με συνεχώς μεγαλύτερη δυσκολία και στις πολύ μεγάλες ηλικίες η δυνατότητα προσαρμογής σχεδόν εξαφανίζεται σαν το φυσιολογικό αποτέλεσμα διαδοχικής σκλήρυνσης από την χρόνια κόπωση στα στρώματα φλοιών του κρυσταλλοειδή φακού.

Περιστροφική κίνηση του βολβού του οφθαλμού

Εκτός από την προσαρμογή των οφθαλμών οι δυο σφαιρικού σχήματος βολβοί που περιέχουν τον κερατοειδή χιτώνα αλλά και τον κρυσταλλοειδή φακό μπορούν να περιστρέφονται εντός των κοιλοτήτων τους έτσι ώστε οι οπτικοί άξονες των δυο οφθαλμών να κατευθύνονται προς κάθε διεύθυνση και να τέμνονται σε οποιαδήποτε απόσταση. Η κατεύθυνση των οφθαλμών σε συγκεκριμένη περιοχή πραγματοποιείται μέσω μυϊκών δράσεων που εμφανίζονται να λειτουργούν συνεργατικά έτσι ώστε οι δυο οφθαλμοί να την παρατηρούν άκοπα. Σε αντιστοίχιση με την φωτογραφική στερεοσκοπία το ανθρώπινο διοφθάλμιο σύστημα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα ζεύγος συγκλινόντων φακών σταθερής εστιακής απόστασης που σχηματίζουν είδωλα σε καμπύλη επιφάνεια (ο αμφιβληστροειδής του κάθε οφθαλμού).

Ανόμοια είδωλα

Όταν ένα στερεό, τρισδιάστατο σώμα παρατηρείται τότε ο αριστερός οφθαλμός που βρίσκεται στα πλάγια του κεντρικού άξονα συμμετρίας βλέπει περισσότερο αντικείμενο από αυτό που θα έβλεπε εάν βρισκόταν ακριβώς στον προηγούμενο άξονα. Όμοια ο δεξιός οφθαλμός θα δει περισσότερο τμήμα από την άλλη όμως πλευρά του ίδιου αντικειμένου. Στο δίπλα σχήμα παρουσιάζεται η περίπτωση της παρατήρησης ενός κύβου. Προφανώς ο αριστερός οφθαλμός βλέπει τις πλευρές ab και bd ενώ δεν μπορεί να δει την πλευρά cd. Όμοια ο δεξιός οφθαλμός παρατηρεί τις πλευρές cd και bd αλλά όχι την ab. Το γραμμικό είδωλο ef που σχηματίζεται στον αριστερό αμφιβληστροειδή είναι ελαφρώς διαφορετικό από αυτό που σχηματίζεται στον αντίστοιχο δεξιό, τα δυο αυτά είδωλα παρουσιάζονται στο δίπλα σχήμα. Ο εγκέφαλος συνδυάζει αυτές τις ελαφρώς ανόμοιες εικόνες σε μια ενιαία και το τελικό αποτέλεσμα είναι η τρισδιάστατη εμφάνιση δηλαδή η δημιουργία της τρίτης διάστασης (ύπαρξη βάθους στη παρατήρηση). Ο βαθμός της δημιουργούμενης αναγλυφικότητας εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου αλλά και την απόσταση παρατήρησης.

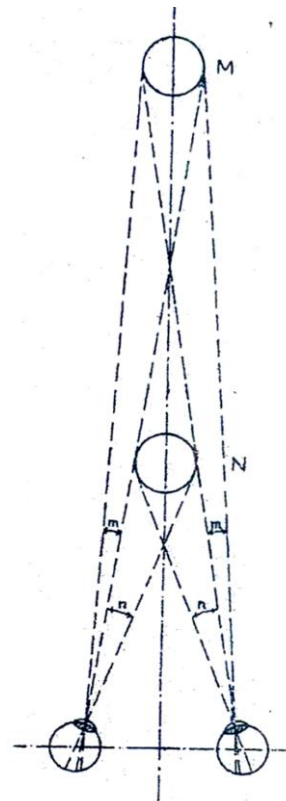


Έτσι ένα αντικείμενο μεγάλων διαστάσεων τοποθετημένο σχετικά κοντά θα εμφανίζει μεγαλύτερο βαθμό αναγλυφικότητας από ότι ένα μικρό αντικείμενο σε μεγαλύτερη μάλιστα απόσταση. Αυτή εξάλλου είναι και η αιτία γιατί μακρινά τοπία ή ακόμη και σύννεφα στον ουρανό εμφανίζονται σχεδόν επίπεδα. Τα αντίστοιχα είδωλα στους δυο οφθαλμούς είναι πρακτικά ακριβώς τα ίδια καθ' ότι οι φωτεινές ακτίνες από τα μακρινά αυτά αντικείμενα προσπίπτουν σχεδόν παράλληλα. Είναι έτσι προφανές ότι εάν μια επίπεδη επιφάνεια π.χ. η πλευρά bd του προηγούμενου κύβου παρατηρηθεί κάθετα τα δυο είδωλά της είναι επίσης απολύτως ταυτόσημα και καμία αναγλυφικότητα δεν πρόκειται να παρουσιαστεί.

Διοφθάλμια παρατήρηση και απόσταση, περιοχές εστίασης του οφθαλμού

Η σχετική αναπαράσταση δίπλα βοηθάει στην κατανόηση του πως η διοφθάλμια παρατήρηση ελαττώνεται με την αύξηση της απόστασης. Το αντικείμενο M είναι σε μεγαλύτερη απόσταση από ότι το ακριβώς ίδιο στη θέση N. Οι γωνίες (m) είναι αρκετά μικρότερες από ότι οι αντίστοιχες (n) και οι φωτεινές ακτίνες από το M είναι λιγότερο συγκλίνουσες από ότι από το N και για τους δυο οφθαλμούς.

Προφανώς όταν το M μετακινηθεί ακόμη μακρύτερα οι ακτίνες θα καταστούν σχεδόν παράλληλες με αποτέλεσμα τα δυο είδωλα στον αμφιβληστροειδή να είναι τώρα ακριβώς τα ίδια. Ο οφθαλμός έχει την δυνατότητα να εστιάσει μόνο εκείνα τα αντικείμενα που βρίσκονται σε συγκεκριμένη απόσταση ή καλλίτερα σε συγκεκριμένο επίπεδο, όλα τα άλλα αντικείμενα θεωρούνται εκτός εστίασης και έτσι δεν απεικονίζονται με την προηγούμενη σαφήνεια. Έστω ότι στο δίπλα σχήμα η εστίαση των οφθαλμών συμβαίνει για το αντικείμενο M, τα είδωλα του αντικειμένου N όχι μόνο δεν απεικονίζονται με σαφήνεια αλλά τοποθετούνται σε πλευρικές περιοχές στον αμφιβληστροειδή με αποτέλεσμα το αντικείμενο N να εμφανίζεται «διπλό» σε μια τέτοια παρατήρηση.



Αυτό το φαινόμενο μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί τοποθετώντας κατακόρυφα ένα μολύβι (ή ακόμη και το δάκτυλό μας) μπροστά από την μύτη και σε απόσταση περίπου 25cm από τους οφθαλμούς μας.

Εστιάζοντας την ματιά μας σε μια μακρινή θεματολογία θα εμφανιστούν δυο ξεχωριστά είδωλα του μολυβιού (ή του δάκτυλου). Εάν αντίστοιχα οι οφθαλμοί μας εστιαστούν στο μολύβι τότε η μακρινή θεματολογία θα εμφανιστεί (στο φόντο) απροσδόκητα διπλή, δηλαδή ένα είδωλο στον κάθε αμφιβληστροειδή.

Παράγοντες διοφθάλμιας παρατήρησης

Από τις προηγούμενες αναφορές είναι προφανές ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το παρατηρούμενο στέρεο - ανάγλυφο είναι:

- 1) Η προσαρμογή του οφθαλμού: Η δυνατότητα δηλαδή να ρυθμιστεί η εστίαση έτσι ώστε αντικείμενα από την μικρότερη δυνατή απόσταση παρατήρησης μέχρι και το άπειρο να μπορεί να απεικονιστούν στον αμφιβληστροειδή.

- 2) Η σύγκλιση των οπτικών αξόνων όπου η μικροσκοπική περιοχή παρατήρησης βρίσκεται κάθε φορά στην τομή τους, και τέλος
- 3) Η διακορική απόσταση, δηλαδή η απόσταση ανάμεσα στα οπτικά κέντρα των δυο οφθαλμών, καθορίζει τον βαθμό της στερεοσκοπικής απεικόνισης. Βέβαια στο μέτρο όπου η απόσταση αυτή είναι συνήθως δεδομένη δεν χρειάζεται να αναφερθεί η μεταβολή που προκαλεί η όποια «τεχνητή» αλλαγή της τιμής της.

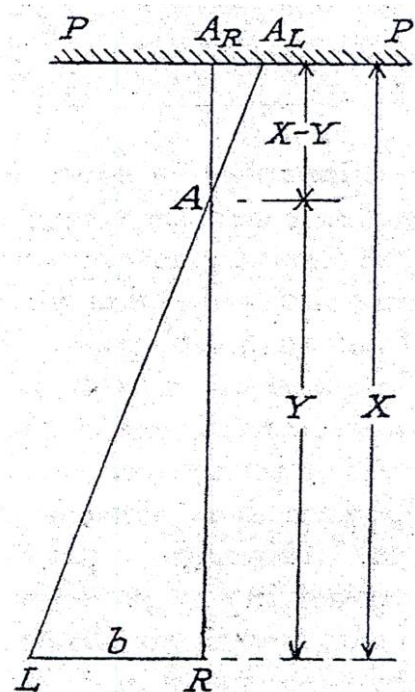
Στις στερεοσκοπικές φωτογραφικές μηχανές ή ακόμη και σε όργανα που λειτουργούν με στερεοσκοπικές τεχνικές η απόσταση μεταξύ των ισοδύναμων φακών έχει πολύ μεγάλη σημασία. Στη περίπτωση όπου ένα μακρινό, παρατηρούμενο αντικείμενο πλησιάζει, οι οφθαλμοί του παρατηρητή όχι μόνο χρειάζεται να προσαρμοστούν στις νέες θέσεις αλλά και οι οπτικοί τους άξονες ταυτόχρονα συγκλίνουν τεμνόμενοι πάντοτε ακριβώς στη περιοχή που βρίσκεται το αντικείμενο.

Είναι προφανές ότι σε μια τέτοια κίνηση πλησιάζματος η γωνία σύγκλισης των αξόνων αυξάνει με τον χρόνο. Είναι όμως δυνατόν η μεταβολή των αξόνων (σύγκλιση) να πραγματοποιηθεί εντελώς ανεξάρτητα της προσαρμογής. Βέβαια κάτι τέτοιο προϋποθέτει κάποια εξάσκηση ή και την χρήση οπτικών οργάνων όπως : πρίσματα, φακοί ή και κάτοπτρα. Η δημιουργία στερεοσκοπικής αντίληψης χωρίς οπτικά βοηθήματα σημαίνει την ταυτόχρονη παρατήρηση δυο κατάλληλων, ανεξάρτητων εικόνων (δεξιά - αριστερά) και στη συνέχεια την στερεοσκοπική σύνθεσή τους.

Διοφθάλμιες παρατηρήσεις σε επίπεδα

Είναι σημαντικό σε συνδυασμό με τις παρουσιάσεις στερεοσκοπικών φωτογραφιών να υπολογιστούν αναλυτικά οι σχέσεις μεταξύ των αποστάσεων των οφθαλμών ενός παρατηρητή και των μακρινών αντικειμένων όπως και των επιπέδων αναφοράς. Έτσι μπορεί να προσδιοριστούν οι περιοχές της διοφθάλμιας παρατήρησης καθώς και τα σχετικά όρια στις περιπτώσεις πολύ μακρινών αντικειμένων.

Το δίπλα σχήμα παρουσιάζει το μικροσκοπικό αντικείμενο A να παρατηρείται από τους οφθαλμούς (αριστερά) L και (δεξιά) R ενώ πίσω από το αντικείμενο βρίσκεται το επίπεδο αναφοράς PP' . Εάν ο αριστερός οφθαλμός κλείσει τότε ο δεξιά παρατηρεί το είδωλο του αντικειμένου A να «προβάλλεται» στο επίπεδο PP' στη θέση A_R . Όμοια εάν κλείσει προσωρινά ο δεξιά οφθαλμός τότε ο αριστερός αντιλαμβάνεται το είδωλο του αντικειμένου A να «προβάλλεται» στη θέση A_L στο ίδιο με πριν επίπεδο. Η διαφορετικότητα στη σχετική θέση των δυο μικροσκοπικών περιοχών A_R και A_L είναι που δημιουργεί την εντύπωση της διοφθάλμιας παρατήρησης ότι το αντικείμενο A πρέπει να βρίσκεται μπροστά από το επίπεδο αναφοράς. Όταν ο παρατηρητής πλησιάζει το αντικείμενο (η απόσταση Y ελαττώνεται) οι περιοχές A_R και A_L



απομακρύνονται αμοιβαία μεταξύ τους ενώ όταν ο ίδιος παρατηρητής τώρα απομακρύνεται (το Υ αυξάνει) η απόσταση μεταξύ των A_R και A_L μειώνεται.

Προφανώς εάν το αντικείμενο βρίσκεται πολύ μακριά σε σχέση με τον παρατηρητή τότε τα A_R και A_L βρίσκονται τόσο κοντά μεταξύ τους ώστε πρακτικά να θεωρείται ότι συμπίπτουν. Στην περίπτωση αυτή δεν φαίνεται να υπάρχει σύγκλιση των οπτικών αξόνων και έτσι αυτοί καθίστανται πρακτικά παράλληλοι.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό πως ο σαφής διαχωρισμός των A_R και A_L είναι ένδειξη του βαθμού επιτυχίας της δημιουργίας διοφθάλμιας, στερεοσκοπικής αντίληψης. Για σχετικά κοντινά αντικείμενα η απόσταση A_R A_L είναι μεγάλη με συνέπεια την έντονη αναγλυφικότητα, όσο το ίδιο αντικείμενο απομακρύνεται τόσο η αναγλυφικότητα μειώνεται ενώ όταν η απόσταση A_R A_L πρακτικά μηδενιστεί τότε το αντικείμενο A εμφανίζεται να αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του επιπέδου PP' και έτσι η προηγούμενη αναγλυφικότητα εξαφανίζεται.

Εάν a είναι η απόσταση A_R A_L , b η διακορική απόσταση, X η απόσταση του παρατηρητή από το επίπεδο αναφοράς PP' και Y η απόσταση του αντικειμένου A από τον παρατηρητή τότε εύκολα αποδεικνύεται γεωμετρικά ότι ισχύει:

$$a / b = (X / Y) - 1$$

Τώρα διότι η ελάχιστη γωνία οράσεως μεταξύ δυο σημειακών αντικειμένων ώστε αυτά οριακά να διακριθούν ως ξεχωριστά είναι (για τον ανθρώπινο οφθαλμό) $1'$ αυτό σημαίνει ότι η απόσταση a μεταξύ των A_R και A_L δεν πρέπει (ή δεν μπορεί) να έχει τιμή μικρότερη αυτής που αντιστοιχεί σε γωνία οράσεως $1'$ από την απόσταση παρατήρησης X . Βέβαια στην περίπτωση αυτή προσεγγιστικά θα ισχύει:

$$\tan 1' = a / X \text{ και έτσι: } a = X / 3430$$

Παρατηρείται επίσης ότι η ελαχιστοποίηση του a (για διακορική απόσταση $b = 63\text{mm}$) σημαίνει μεγιστοποίηση της απόστασης Y μεταξύ αντικειμένου A και παρατηρητή. Με την αντικατάσταση των τιμών για τα b και a υπολογίζεται αναλυτικά η μέγιστη τιμή Y_{\max} (οι τιμές των αποστάσεων σε m) ως εξής:

$$Y_{\max} = X / (1 + 0.0046 X)^1$$

Η τελευταία αυτή σχέση υπολογίζει (με δεδομένη την απόσταση X , παρατηρητή - επιπέδου αναφοράς) τη ΜΕΓΙΣΤΗ απόσταση παρατηρητή - αντικειμένου A προκειμένου αυτό να δημιουργεί αναγλυφικότητα κατά την σχετική παρατήρηση. Για παράδειγμα σε απόσταση επιπέδου αναφοράς τα $10m$ το αντικείμενο μπορεί να απέχει μέχρι και $9.5m$ ενώ όταν τα μέτρα γίνουν 100 η αντίστοιχη απόσταση μειώνεται στα $67m$. Βέβαια σε πρακτικά άπειρη απόσταση ($X = \infty$) το Y_{\max} υπολογίζεται σε περίπου $200m$ δηλαδή το αντικείμενο A δεν μπορεί να βρίσκεται μακρύτερα από 200 μέτρα από τον παρατηρητή όταν θέλουμε αυτός να το παρατηρεί στερεοσκοπικά.

¹ $0.0046 = \tan 1' / (63 \cdot 10^{-3}) = 0.00029 / (63 \cdot 10^{-3})$

Προκειμένου να μελετηθεί το πώς η διοφθάλμια οπτική αντίληψη μιας θεματολογίας αλλάζει με την απόσταση από τον παρατηρητή υπολογίζεται η διαφορά $X - Y_{\max}$. Υπενθυμίζεται ότι X είναι η απόσταση παρατηρητή - επιπέδου αναφοράς ενώ Y_{\max} είναι η μέγιστη απόσταση όπου υπάρχει η δυνατότητα για διοφθάλμια παρατήρηση. Έτσι γίνεται φανερό ότι η απόσταση $X - Y_{\max}$ αντιστοιχεί στην περιοχή όπου δεν μπορεί να υπάρχει πραγματική διοφθάλμια παρατήρηση.

Μάλιστα, το αντίστροφό της, δηλαδή το πηλίκο: $1 / (X - Y_{\max})$ καλείται στη σχετική βιβλιογραφία και στερεοσκοπική ισχύς. Σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις για το Y_{\max} η στερεοσκοπική ισχύς υπολογίζεται σε:

$$1 / (X - Y_{\max}) = (1 - 0.0046 Y_{\max}) / 0.0046 Y_{\max}^2$$

Η εφαρμογή της προηγούμενης αναλυτικής σχέσης δίνει την μέγιστη τιμή της στερεοσκοπικής ισχύος για την απόσταση των 25cm (τιμή : 3500). Πρακτικά η τιμή της ισχύος μηδενίζεται για την απόσταση των 200m.

Σημειώνεται ότι η ισχύς μειώνεται σημαντικά με την μέγιστη απόσταση, μάλιστα για σχετικά μεγάλες τέτοιες αποστάσεις το προηγούμενο πηλίκο μετατρέπεται απλοποιημένα στο :

$$1/(X - Y_{\max}) = 1 / (0.0046 Y_{\max}^2)$$

Πρόκειται για μια σχέση που χρησιμοποιείται στην πράξη και που δηλώνει πως η δυνατότητα για στερεοσκοπική παρατήρηση μιας θεματολογίας ελαττώνεται με το τετράγωνο της απόστασης για την παρατηρούμενη θεματολογία.

Η απόσταση των 200 μέτρων όπου στην ουσία σταματάει η στερεοσκοπική παρατήρηση ισχύει για την απ' ευθείας διοφθάλμια παρατήρηση όπου η διακορική απόσταση b είναι 63mm. Αποδεικνύεται ότι εάν η απόσταση αυτή b αυξηθεί (τεχνητά) η το πλήθος φορές με την βοήθεια ειδικών οπτικών διατάξεων (π.χ. συστήματα φακών ή και κατόπτρων) μέσω δηλαδή οργάνων που χαρακτηρίζονται από μεγέθυνση m τότε η απόσταση διοφθάλμιας παρατήρησης αυξάνει κατά το γινόμενο ($m \times b$) φορές. Για παράδειγμα εάν η διακορική απόσταση αυξηθεί κατά 10 φορές και χρησιμοποιηθούν τηλεσκοπικά συστήματα με μεγεθύνσεις ($\times 30$) τότε η νέα περιοχή στερεοσκοπικής παρατήρησης αυξάνει κατά $10 \times 30 = 300$ φορές. Βέβαια αυτό σημαίνει ότι ενώ σε απ' ευθείας παρατήρηση η στερεοσκοπία σταματάει ουσιαστικά στα 200μέτρα μέσω του προηγούμενου στερεοσκοπικού τηλεσκοπίου η ίδια απόσταση αυξάνεται σε περίπου 60 χιλιόμετρα.

Εφαρμογή - αντιστοιχία στην στερεοσκοπική φωτογραφία

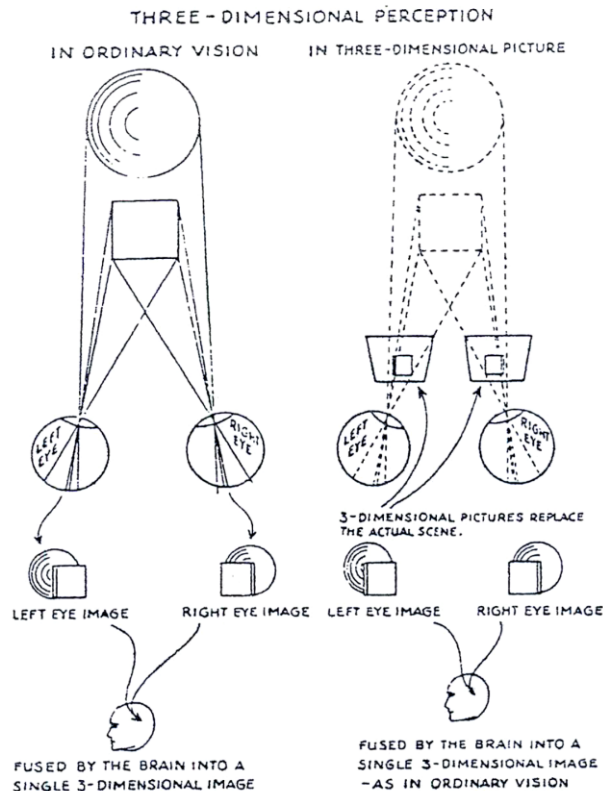
Ενώ οι προηγούμενοι υπολογισμοί των στερεοσκοπικών φαινομένων στη διοφθάλμια παρατήρηση έγιναν επί τη βάση των ανθρώπινων οφθαλμών τα αποτελέσματα έχουν παρόμοια εφαρμογή και στις στερεοσκοπικές φωτογραφίες όπου η φωτογραφική μηχανή λήψης διαθέτει δυο όμοιους φακούς σε απόσταση περίπου 63mm μεταξύ τους. Τα στερεοσκοπικά ζεύγη των φωτογραφιών παρατηρούνται μέσω συστήματος φακών ίδιας γωνίας οράσεως με αυτούς της φωτογραφικής μηχανής.

Οι σχέσεις υπολογισμών ισχύουν όπως αναφέρθηκαν και προηγούμενα αν και υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στους ανθρώπινους οφθαλμούς και τους φωτογραφικούς φακούς. Χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως προσαρμογή και σύγκλιση δεν εφαρμόζονται τώρα επακριβώς και μάλιστα η περιστροφή των οφθαλμικών βολβών για να δημιουργηθεί η σύγκλιση των οπτικών αξόνων δεν ισχύει στην περίπτωση της στερεοσκοπικής κάμερας. Οι φωτογραφικοί φακοί έχουν τους οπτικούς άξονες ακλόνητους, σταθερά παράλληλους μεταξύ τους χωρίς την παραμικρή δυνατότητα ίδιο - περιστροφής.

Όταν μια στερεοφωτογραφική μηχανή φωτογραφίζει μια θεματολογία που μπορεί (και πρέπει) να περιέχει αντικείμενα σε διαφορετικές αποστάσεις ο καθένας από τους δυο φακούς της σχηματίζει τα ξεχωριστά είδωλα (πραγματικά και αντεστραμμένα) τα οποία όμως δεν είναι ακριβώς τα ίδια. Η διαφορετικότητα αυτή οφείλεται στο ότι οι δύο φακοί βρίσκονται σε διαφορετική γεωμετρική θέση στο σώμα της ίδιας μηχανής.

Το σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει μια τέτοια φωτογράφιση όπου τα είδωλα στο φιλμ του αριστερού (L) φακού έχουν άλλη διαφορετική διάταξη από τα αντίστοιχα είδωλα του δεξιού (R) φακού. Μετά την εμφάνιση και την εκτύπωση του ζεύγους των δυο φωτογραφιών αυτές τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε αφ' ενός μεν να διατηρείται η συνθήκη δεξιός φωτογραφικός φακός - δεξιός οφθαλμός για παρατήρηση, αριστερός φωτογραφικός φακός - αριστερός οφθαλμός και αφ' ετέρου τα απεικονιζόμενα αντικείμενα που αντιστοιχούν σε κοντινές περιοχές να βρίσκονται πιο κεντρικά από ότι τα άλλα που απεικονίζουν τις πιο απομακρυσμένες περιοχές.

Τώρα η παρατήρηση του ζεύγους των στερεοσκοπικών εικόνων δημιουργεί στον κάθε οφθαλμό ένα είδωλο σχεδόν πανομοιότυπο με αυτό που θα έβλεπε ο φωτογράφος εάν παρατηρούσε απ' ευθείας την ίδια θεματολογία κατά την στιγμή της φωτογράφισης. Προφανώς τα δύο αυτά είδωλα (ένα για τον κάθε οφθαλμό) είναι ελαφρώς διαφορετικά. Μάλιστα αυτά λειτουργούν συνδυασμένα και δίνουν τέτοια οπτικά ερεθίσματα στον εγκέφαλο ώστε να δημιουργείται η σχετική οπτική αντίληψη της στερεοσκοπικής απεικόνισης.



Αποστάσεις φακών στην στερεοσκοπική λήψη

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η διακορική απόσταση επηρεάζει την μέγιστη απόσταση παρατηρήτη - θεματολογίας Y_{max} προκειμένου να δημιουργηθεί τρισδιάστατη απεικόνιση. Μάλιστα όσο αυξάνει η διακορική απόσταση παρατήρησης τόσο αυξάνει αναλογικά και η απόσταση Y_{max} . Βέβαια στη γενική περίπτωση της στέρεο φωτογράφισης μιας θεματολογίας είναι σημαντική η γνώση της απόστασης ανάμεσα στους φωτογραφικούς φακούς έτσι ώστε να επιτευχθεί κατά την διαδικασία της παρατήρησης των εκτυπωμένων φωτογραφιών η τρισδιάστατη προοπτική.

Εάν B είναι η απόσταση μεταξύ των φωτογραφικών φακών κατά την στέρεο φωτογράφιση και D η απόσταση ανάμεσα στη φωτογραφική και το κοντινότερο επίπεδο εστίασης αποδεικνύεται ότι ισχύει : $B = D / 30$. Η απλή αυτή υπολογιστική σχέση είναι πρακτικά γνωστή και ως «ο νόμος του 1/30» και αποδεικνύεται με την βοήθεια των υπερεστιακών σημείων. Υπερεστιακό σημείο στην φωτογράφιση ονομάζεται το κοντινότερο εκείνο σημείο του χώρου που απεικονίζεται με ευκρίνεια όταν ο φωτογραφικός φακός είναι εστιασμένος στο άπειρο. Είναι λοιπόν προφανές ότι οτιδήποτε υπάρχει ανάμεσα στο υπερεστιακό σημείο μέχρι και το άπειρο θα αποτυπωθεί απόλυτα εστιασμένο στο φωτογραφικό φιλμ. Τελείως αντίστοιχα στον ανθρώπινο οφθαλμό που ατενίζει το άπειρο υπάρχει επίσης ένα υπερεστιακό επίπεδο όπου από αυτό έως και το άπειρο όλα είναι πολύ καλά εστιασμένα στον αμφιβληστροειδή. Η απόσταση ανάμεσα στον οφθαλμό και το επίπεδο αυτό ονομάζεται υπερεστιακή απόσταση. Ένας φυσιολογικός οφθαλμός που χωρίς προσαρμογή παρατηρεί κάτι πολύ μακρινό (εστίαση στο άπειρο) μπορεί και αντιλαμβάνεται αντικείμενα καλά εστιασμένα τα οποία οριακά βρίσκονται στην απόσταση των 2m ή και μακρύτερα.

Δηλαδή, η υπερεστιακή απόσταση για τον μέσο ανθρώπινο οφθαλμό φαίνεται να είναι τα 2m. Έτσι λοιπόν ισχύει η αναλογία:

$$B / D = b / d$$

όπου b η ανθρώπινη διακορική απόσταση (63mm) και d η υπερεστιακή απόσταση (2m) οπότε και ισχύει : $B / D = 0.063 / 2 = 1 / 30$, δηλαδή ο νόμος του 1/30 στην στερεοσκοπική φωτογράφιση. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι σε μια φωτογράφιση στερεοσκοπικού χαρακτήρα εάν το πιο κοντινό επίπεδο που χρειάζεται να απεικονιστεί εστιασμένο είναι σε απόσταση (για παράδειγμα) 6m τότε η απόσταση B ανάμεσα στους δυο φωτογραφικούς φακούς θα πρέπει να είναι: $6 / 30 = 0.2m = 20cm$. Εάν το πρώτο πλάνο πλησιάσει στα 3m τότε και η στερεοσκοπική βάση φωτογράφισης ελαττώνεται τώρα στα $3 / 30 = 0.1m = 10cm$.

Η στερεοσκοπική φωτογραφία σχεδόν αναπαράγει το υπό φωτογράφιση θέμα, υποκαθιστώντας τα πραγματικά αντικείμενα με φωτογραφικά είδωλα, που μπορούν αργότερα να παρατηρηθούν σε τρισδιάστατη μορφή. Το είδος αυτής της φωτογράφισης αποτελεί ουσιαστικά ένα τεχνητό ανάλογο της φυσικής στερεοσκοπικής όρασης. Η τεχνητή αναπαράσταση της τρίτης διάστασης απαιτεί όμως δυο λειτουργίες που δεν φαίνεται να χρειάζονται στη συνηθισμένη δισδιάστατη φωτογραφία. Οι λειτουργίες αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια.

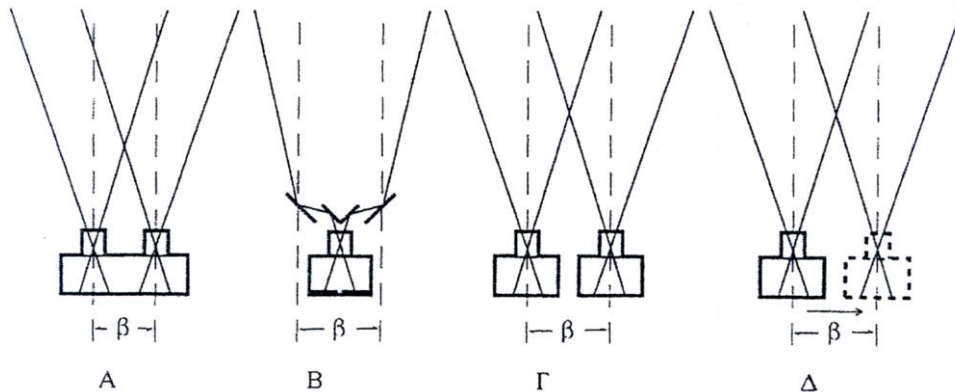
A. Η καταγραφή ζεύγους εικόνων, δηλαδή να φωτογραφηθεί το θέμα στερεοσκοπικά. Αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας με κατάλληλο τρόπο δυο όψεις της θεματολογίας από διαφορετικά σημεία του χώρου, που απέχουν συνήθως όσο η μέση διακορική απόσταση των οφθαλμών. Το αποτέλεσμα είναι δυο ελαφρά διαφορετικές εικόνες της ίδιας σκηνής, ανάλογες με εκείνες που αντιλαμβάνονται οι ανθρώπινοι οφθαλμοί. Οι εικόνες μπορούν να αποτυπωθούν σε αρνητικό φιλμ, οπότε για την στερεοσκοπική εξέταση χρησιμοποιούνται οι τυπωμένες φωτογραφίες, ή σε θετικό φιλμ οπότε και οι διαφάνειες θα αξιοποιηθούν με κατάλληλη προβολή.

B. Η παρουσίαση του στέρεο - ζεύγους στον θεατή με κατάλληλο τρόπο (συνήθως με την χρήση του ειδικού οπτικού οργάνου, π.χ. στερεοσκόπιο), έτσι ώστε κάθε οφθαλμός να βλέπει αποκλειστικά και μόνο την εικόνα που αντιστοιχεί σε αυτόν. Είναι απαραίτητο δηλαδή, ο αριστερός οφθαλμός να «βλέπει» μόνο την φωτογραφία που ελήφθη από το αριστερό σημείο λήψης και αντιστοιχεί στον αριστερό οφθαλμό του παρατηρητή της πραγματικής σκηνής. Όμοια, ο δεξιός οφθαλμός πρέπει να βλέπει μόνο την φωτογραφία που πάρθηκε από το δεξί σημείο λήψης. Σημαντικό επίσης παραμένει το γεγονός η παρουσίαση του στέρεο - ζεύγους θα πρέπει να γίνει κάτω από συνθήκες εναρμονισμένες με τον τρόπο θέασης, έτσι ώστε να είναι δυνατόν οι δυο εικόνες να «συγχωνευτούν» στον εγκέφαλο σε μια. Στην ιδανική περίπτωση η φωτογραφική καταγραφή παρουσιάζεται πιστή και απόλυτα ρεαλιστική.

Ένα αντικείμενο έχει αναπαραχθεί στερεοσκοπικά σωστά όταν όλες του οι διαστάσεις απεικονίζονται αρμονικά, είναι δηλαδή ανάλογες με τις πραγματικές του διαστάσεις. Στη περίπτωση αυτή η τελική εικόνα παρατηρείται άκοπα και είναι όμοια με εκείνη που ο φωτογράφος έβλεπε ρεαλιστικά και τρισδιάστατα (με τους δυο οφθαλμούς του), πριν και μετά την λήψη.

Φωτογραφικός εξοπλισμός

Οι δυο απαιτούμενες ελαφρά διαφορετικές στερεοσκοπικές απόψεις ενός θέματος μπορούν να αναπαραχθούν φωτογραφικά με πολλούς, διαφορετικούς τρόπους. Οι επιστημονικές εφαρμογές της στερεοσκοπίας απαιτούν σχετικά εξειδικευμένο φωτογραφικό εξοπλισμό. Όμως, για στέρεο - φωτογραφίες γενικότερης χρήσης οι βασικοί τύποι φωτογραφικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι σχηματικά, οι ακόλουθοι τέσσερις:

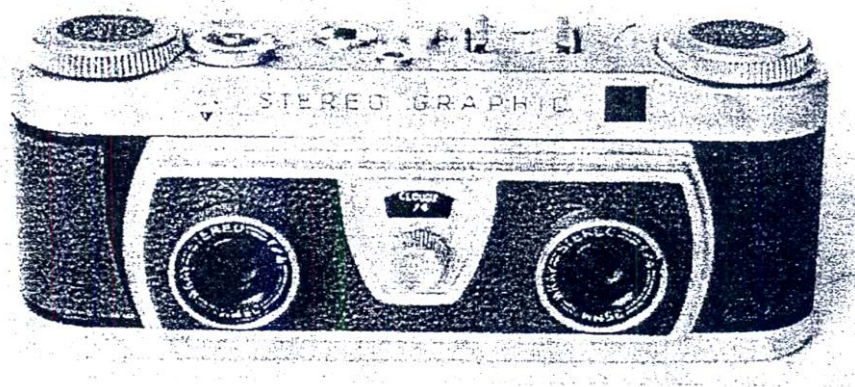


Πρόκειται για την στέρεο - κάμερα (Α), Κάμερα με διαχωριστή δέσμης (Β), Χρήση δυο συγχρονισμένων, ανεξάρτητων φωτογραφικών μηχανών (Γ) και Διαδοχική λήψη με μια μόνο φωτογραφική μηχανή (Δ). Η γνώση των βασικών λειτουργιών και ιδιοτήτων του κάθε τύπου, διευκολύνει την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού ανάλογα με τις γενικότερες ανάγκες και τις όποιες ιδιαιτερότητες της θεματολογίας.

(Α) Η στέρεο - κάμερα (Stereo - camera)

Πρόκειται για μια προσπάθεια απομίμησης του συνδυασμού : οφθαλμικός φακός - αμφιβληστροειδής. Η ενιαία φωτογραφική μηχανή διαθέτει δυο όμοιους φακούς που αντικαθιστούν τους οφθαλμούς αφού αποτυπώνουν απλά και ταυτόχρονα τις δυο στερεοσκοπικές απόψεις του θέματος οι οποίες αποθηκεύονται σε διαφορετικές θέσεις του ίδιου φιλμ για να παρατηρηθούν αργότερα μετά την σχετική επεξεργασία.

Η στέρεο - κάμερα, εάν δεν έχει ενιαίο σκοτεινό θάλαμο, μπορεί να αποτελείται και από ζεύγος όμοιων, σύγχρονων φωτογραφικών μηχανών συνδεδεμένων όμως σταθερά και ακλόνητα, δίπλα - δίπλα. Οι φωτογραφικοί φακοί θα πρέπει να έχουν τους οπτικούς τους άξονες παράλληλους με σταθερή απόσταση μεταξύ τους από 65 - 70mm. Έτσι η στερεοσκοπική βάση είναι κατά προσέγγιση ίση με την μέση διακορική απόσταση των ανθρώπινων οφθαλμών.



Η εστιακή απόσταση των φακών είναι σταθερή και ανάλογη με τις διαστάσεις της φωτοευαίσθητης επιφάνειας που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, οι φακοί έχουν εστιακή απόσταση 35mm για διαστάσεις φιλμ από 23x24mm ή και 24x28mm. Η ρύθμιση της εστίασης, του διαφράγματος, της ταχύτητας καθώς και η απελευθέρωση του κλείστρου έχουν κατάλληλα συζευχθεί ώστε να λειτουργούν ισότιμα και ταυτόχρονα. Ο χειρισμός της κάθε λήψης θα πρέπει να γίνεται με μια μόνο κίνηση (κοινό ντε κλασέρ) που ενεργοποιεί ταυτόχρονα τις δυο φωτογραφικές μηχανές.

Οι στερεοσκοπικές φωτογραφίες που προκύπτουν, όταν παρατηρούνται με ένα κανονικό στερεοσκόπιο, δίνουν τη σωστή αίσθηση της τρίτης διάστασης για τα αντικείμενα που απέχουν 2m ή και περισσότερο. Έτσι το σοβαρότερο μειονέκτημα μια στέρεο κάμερας, είναι ότι, λόγω της σταθερής στερεοσκοπικής βάσης, προορίζεται μόνο για λήψη θεμάτων σε συγκεκριμένες αποστάσεις (από τα 2m έως το άπειρο). Επίσης οι στέρεο κάμερες γενικής χρήσης δεν παρέχουν την δυνατότητα εναλλαγής φακών με διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. άλλη τιμή εστιακής απόστασης).

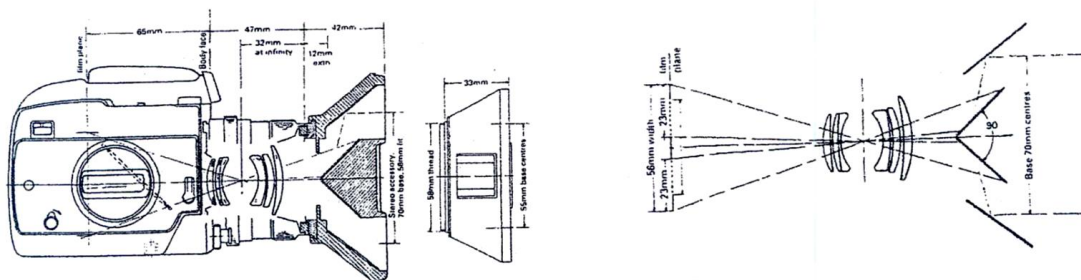
Ωστόσο η στέρεο κάμερα είναι ο δημοφιλέστερος τύπος φωτογραφικού εξοπλισμού ιδιαίτερα ανάμεσα στους ερασιτέχνες της στερεοσκοπίας, διότι η φωτογράφιση των περισσότερων θεμάτων γίνεται εξίσου απλά, όπως άλλωστε και η λήψη των συμβατικών φωτογραφιών.

(B) Κάμερα με προσαρμογή διαχωριστή δέσμης

Με την προσάρτηση μιας συσκευής διαχωρισμού δέσμης μπροστά από τον φακό μιας συνηθισμένης, κανονικής φωτογραφικής μηχανής, είναι δυνατή η στερεοσκοπική λήψη των δυο απόψεων ενός θέματος ταυτόχρονα και απλά με το πάτημα ενός μόνο κουμπιού. Ο διαχωριστής δέσμης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές φωτογραφικές μηχανές και καταγράφει σε ένα μόνο φωτογραφικό καρέ, δυο ανεξάρτητες εικόνες διαστάσεων π.χ. 24x17mm η κάθε μια (για φωτογραφική αναλογική μηχανή 35mm).

Ο διαχωριστής δέσμης είναι κατασκευασμένος από κάτοπτρα ή πρίσματα (ή κατάλληλο συνδυασμό και των δυο). Αυτά είναι έτσι τοποθετημένα ώστε να κατευθύνουν προς την ίδια φωτοευαίσθητη επιφάνεια δυο διαφορετικές και με σταθερή απόσταση μεταξύ τους φωτεινές δέσμες που όμως προέρχονται από την ίδια θεματολογία. Συνεπώς το θέμα καταγράφεται απεικονιστικά σε δυο ανεξάρτητες περιοχές που η απόσταση τους προκαθορίζεται από την στερεοσκοπική βάση του συγκεκριμένου διαχωριστή. Το

μειονέκτημα μιας τέτοιας στέρεο φωτογράφισης είναι και πάλι ότι αναφέρεται σε δεδομένη τιμή βάσης. Επίσης κάθε διαχωριστής δέσμης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φωτογραφικό φακό με συγκεκριμένη εστιακή απόσταση (π.χ. 50 - 55mm) και διάμετρο (π.χ. 52mm), για φωτογράφιση με συγκεκριμένο διάφραγμα (π.χ. 5.6 ή και 8) και απόσταση θέματος από 3 - 20m. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας διαχωριστής δέσμης για την σύγχρονη φωτογραφική μηχανή Mamiya M645 καθώς και οι πορείες των ακτίνων που δημιουργούν το σχετικό ζεύγος των στερεοσκοπικών εικόνων.



Ελαττώματα του διαχωριστή δέσμης θεωρούνται: το στενόμακρο, συνήθως κατακόρυφο σχήμα της κάθε εικόνας, το πολύ μικρό μέγεθος της απεικόνισης καθώς και άλλα προβλήματα όπως: η μείωση της φωτεινότητας στα άκρα που δίνουν συχνά εκτυπωμένες φωτογραφίες μέτριας ποιότητας. Παρόλα αυτά οι διαχωριστές δέσμης χρησιμοποιούνται από πολλούς ερασιτέχνες ως η απλούστερη και σχετικά φθηνή λύση για την προσωπική τους πρώτη γνωριμία με την στερεοσκοπική φωτογραφία.

(Γ) Χρήση δυο συγχρονισμένων φωτογραφικών μηχανών

Η σύζευξη (σε απόσταση) δυο απλών, σύγχρονων φωτογραφικών μηχανών μπορεί επίσης να αποτελέσει μια στερεοσκοπική διάταξη για την φωτογραφική αποτύπωση των δυο απόψεων του θέματος. Θα πρέπει, εάν είναι δυνατόν, να γίνει χρήση πανομοιότυπων μηχανών, ειδάλλως είναι σημαντικό τουλάχιστον οι φακοί και τα κλείστρα να είναι όμοια. Επίσης είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν φακοί ίδιου τύπου και εστιακής απόστασης, τα κλείστρα να έχουν συνδεθεί κατάλληλα έτσι ώστε να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, ιδιαίτερα μάλιστα στην φωτογράφιση κινούμενων θεμάτων. Στην στέρεο φωτογράφιση με τις δυο ανεξάρτητες μηχανές θα πρέπει επίσης η εστίαση καθώς και η έκθεση να είναι ακριβώς ίδιες, να απευθύνονται στο ίδιας κατηγορίας (αναλογικό) φιλμ το οποίο μάλιστα θα πρέπει να υποστεί και την ίδια ακριβώς τελική επεξεργασία.

Οι δυο μηχανές μπορούν να συνδεθούν σε κοινή, σταθερή βάση δίπλα - δίπλα έτσι ώστε οι οπτικοί τους άξονες να είναι αυστηρά παράλληλοι και να βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Η στερεοσκοπική βάση μπορεί τώρα να μεταβάλλεται ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα χωρίς όμως και πάλι να υπάρχει η δυνατότητα επιλογής πολύ - πολύ μικρών τιμών βάσης (η ελάχιστη τιμή βάσης προφανώς αντιστοιχεί στην απόλυτη επαφή των φωτογραφικών μηχανών).

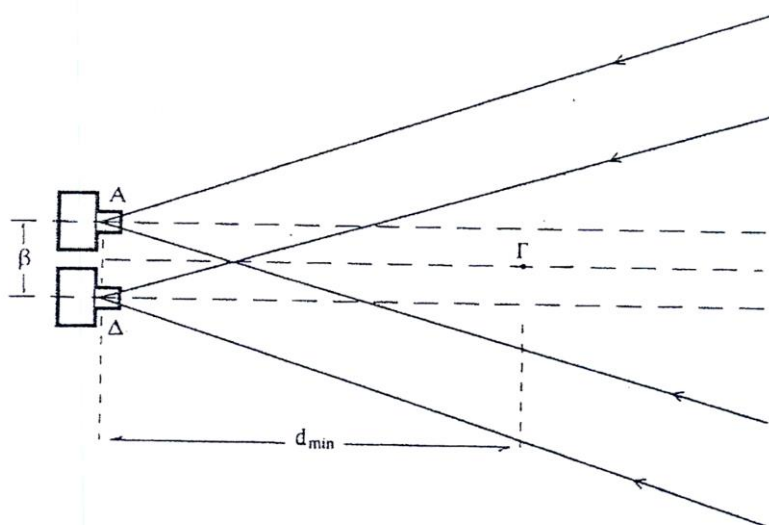
(Δ) Διαδοχική λήψη με μια και μοναδική φωτογραφική μηχανή

Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε φωτογραφική μηχανή μπορεί μόνη της να δημιουργήσει τα στέρεο ζεύγη ενός θέματος, μετακινούμενη κατάλληλα μεταξύ δυο διαδοχικών λήψεων. Μια ράβδος στήριξης και μεταφοράς βοηθάει στην όλη διαδικασία και έτσι διασφαλίζει την

ακρίβεια της επιθυμητής, απόλυτα πλευρικής μετατόπισης. Αυτή η μέθοδος της φωτογράφισης επιτρέπει μεγαλύτερη σχετική ευελιξία στη λήψη των στερεοφωτογραφιών διότι έτσι επιτρέπεται η επιλογή διαφορετικών τιμών στερεοσκοπικής βάσης χωρίς κανένα περιορισμό και χωρίς αλλαγή του εξοπλισμού ή και της διαδικασίας. Μπορεί επίσης να γίνει εναλλαγή φακών με διαφορετική εστιακή απόσταση έτσι ώστε να επιλεγθεί η καλλίτερη δυνατή λύση για την δεδομένη θεματολογία. Είναι ωστόσο προφανές ότι δεν θα πρέπει να μετακινηθεί το θέμα κατά την διάρκεια αλλά και στο μεσοδιάστημα των δυο λήψεων όπως επίσης και να μην μεταβληθεί η εστίαση καθώς και οι υπόλοιπες ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής από πόζα σε πόζα.

Βασικές αρχές στέρεο - φωτογράφισης - Στερεοσκοπική βάση (1 / 30)

Η καταγραφή του στέρεο - ζεύγους των φωτογραφιών επιτυγχάνεται με την πλάγια μετατόπιση της φωτογραφικής μηχανής ανάμεσα στις δυο διαδοχικές λήψεις, βλέπε περίπτωση (Δ) του προηγούμενου κεφαλαίου. Το διάστημα της μετατόπισης ονομάζεται στερεοσκοπική βάση ή βάση στέρεο - φωτογράφισης ή στέρεο - βάση, συμβολίζεται με το γράμμα β και ισούται με τον οριζόντιο διαχωρισμό των οπτικών κέντρων ή και αξόνων των φακών, στις δυο διαδοχικές θέσεις φωτογράφισης.



Η τιμή της στερεοσκοπικής βάσης πρέπει να είναι (κατά προσέγγιση) ίση με το $1 / 30$ της απόστασης d_{min} του πλησιέστερου στη φωτογραφική μηχανή σημείου του θέματος, δηλαδή θα πρέπει να ισχύει: $\beta = d_{min} / 30$ (νόμος του $1 / 30$). Ο νόμος του $1 / 30$ αποτελεί μια γενική εμπειρική αρχή που συχνά στην βιβλιογραφία της στερεοσκοπίας μπορεί να αναφέρεται και σαν νόμος του $1 / 50$ ή του $1 / 70$. Στις περισσότερες περιπτώσεις προσφέρει απλά την σωστότερη δυνατή τιμή βάσης με αποτέλεσμα την χωρίς κόπο στερεοσκοπική παρατήρηση των τελικών εικόνων.

Το μέγεθος της στερεοσκοπικής βάσης έχει άμεση επίδραση στο μέγεθος και το σχήμα του ειδώλου καθώς επίσης και στην κλίμακα του αναπαραγόμενου βάθους. Όσο μεγαλώνει η τιμή της βάσης, τόσο αυξάνονται τα χαρακτηριστικά του βάθους. Τότε τα απεικονιζόμενα

αντικείμενα φαίνονται μακρύτερα κατά την τρίτη τους διάσταση και αλλάζει ανάλογα ο όγκος και το σχήμα τους, ενώ παρουσιάζονται μεγαλύτερες οι αποστάσεις κατά τον εγκάρσιο άξονα του θέματος. Με μειωμένη την τιμή της βάσης ελαττώνεται ανάλογα και η εντύπωση του βάθους. Σημειώνεται ότι οι αυξομειώσεις στην τιμή της βάσης δεν μπορεί να είναι απεριόριστες διότι μετά από κάποιο όριο δημιουργείται σημαντικό πρόβλημα στην σωστή θέαση των εικόνων.

Η κατάλληλη τιμή στην επιλογή της βάσης εξαρτάται κυρίως από : την ελάχιστη απόσταση του θέματος, τον τρόπο παρουσίασης και θέασης των στέρεο - ζευγών, την διάσταση της φωτοευαίσθητης επιφάνειας, την εστιακή απόσταση του φακού και τέλος από τις επί μέρους ιδιότητες του θέματος.

Η αναπαραγωγή του βάθους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο θέασης των στέρεο - φωτογραφιών. Για παράδειγμα, η μεγέθυνση των τελικών εικόνων που απαιτείται για κάθε διαφορετικό τρόπο θέασης, παίζει σημαντικό ρόλο. Αυτό συμβαίνει διότι με την μεγέθυνση, στη στερεοσκοπική φωτογραφία, η εντύπωση της τρίτης διάστασης αλλάζει ανεξάρτητα από τις άλλες δυο (πλάτος, ύψος) των απεικονιζόμενων αντικειμένων γεγονός το οποίο δεν συμβαίνει στην συμβατική φωτογράφιση. Είναι συνεπώς απαραίτητο ο τρόπος θέασης να είναι από πριν γνωστός έτσι ώστε και η λήψη να προσαρμοστεί ανάλογα. Εμπειρικά λοιπόν θα έλεγε κανείς ότι θα πρέπει να επιλέγεται λίγο μικρότερη τιμή βάσης από αυτή που ο νόμος $1/30$ υπολογίζει και σε εξαιρετικές μόνο περιπτώσεις λίγο μεγαλύτερη. Τέλεια αποτελέσματα είναι δυνατόν να επιτευχθούν μόνο μετά από σειρά πειραματικών λήψεων δοκιμαστικού χαρακτήρα. Σημειώνεται επίσης ότι η φωτογράφιση θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν σωστότερα διότι η εκ των υστέρων διόρθωση κάποιας αβλεψίας μέσω σχετικής επεξεργασίας σπάνια φέρνει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Ο άνθρωπος στην καθημερινότητά του έχει την δυνατότητα να παρατηρεί και να αντιλαμβάνεται την τρίτη διάσταση μέσα από την συγκεκριμένη στερεοσκοπική βάση, δηλαδή την διακορική απόσταση των οφθαλμών του και έχει συνηθίσει μέσω αυτής να κρίνει και να συγκρίνει όγκους, μεγέθη και αποστάσεις. Έτσι, όταν εφαρμόζεται στη στερεοσκοπική λήψη η τιμή βάσης των 65mm το τελικό αποτέλεσμα του φαίνεται οικείο και ρεαλιστικό. Η τιμή αυτή της στερεοσκοπικής βάσης ονομάζεται «κανονική» στερεοσκοπική βάση. Εφαρμόζοντας τον νόμο του $1 / 30$ για $\beta = 65\text{mm}$ προκύπτει η ελάχιστη απόσταση στερεοσκοπικής παρατήρησης τα 2m γεγονός που σημαίνει ότι το πλησιέστερο σημείο του θέματος που φωτογραφίζεται δεν μπορεί να είναι σε κοντινότερη απόσταση από την απόσταση αυτή.

Η διαδικασία της φωτογράφισης

Προσδιορίζεται το θέμα και με την φωτογραφική μηχανή σταθερά στηριγμένη σε τρίποδο εντοπίζεται το πλησιέστερο σημείο του θέματος να απέχει απόσταση π.χ. 2.4m. Η βάση που αντιστοιχεί σε αυτή την απόσταση είναι περίπου $(240 : 30) = 8\text{cm}$. Επιλέγεται η σωστή έκθεση (ταχύτητα, διάφραγμα) και πραγματοποιείται η λήψη της αριστερά φωτογραφίας. Αμέσως προωθείται το (αναλογικό) φιλμ, μετατοπίζεται παράλληλα η φωτογραφική μηχανή κατά 8cm προς τα δεξιά και λαμβάνεται τώρα η δεξιά φωτογραφία. Απαραίτητη προϋπόθεση για την λήψη σωστών στέρεο φωτογραφιών είναι ο οπτικός άξονας του φακού να παραμένει πάντα παράλληλος κατά την οριζόντια μετατόπιση και κάθετος στη βάση

στήριξης. Έτσι, δεν δημιουργούνται κατακόρυφες παραλλάξεις που μόνο ανεπιθύμητη σύγχυση προκαλούν στην μετέπειτα προσπάθεια παρατήρησής των. Το γεγονός αυτό συμβαίνει διότι ο άνθρωπος λόγω της οριζόντιας διάταξης των οφθαλμών του μπορεί να παρατηρήσει εικόνες με περιορισμένο εύρος διαφοροποιήσεων - παραλλάξεων και αυστηρά μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση.

Εστίαση, βάθος πεδίου

Μια ακόμη ιδιαιτερότητα της στερεοσκοπικής φωτογραφίας είναι **ότι το απεικονιζόμενο θέμα πρέπει να φαίνεται εστιασμένο σε όλο του το εύρος**, δηλαδή από το πρώτο πλάνο μέχρι και το φόντο. Για αυτό και επιβάλλεται ο απόλυτος έλεγχος στο βάθος πεδίου με επιλογή όσο το δυνατόν κλειστών διαφραγμάτων κατά την φωτογράφιση η ακόμη και την χρησιμοποίηση κυρίως ευρυγώνιων φακών.

Κάθε άνθρωπος προσπαθεί να δει, μέσω της εστίασης και προσαρμογής, τα αντικείμενα γύρω του όσο πιο «καθαρά γίνεται», διαφορετικά αισθάνεται άβολα. Βλέποντας δισδιάστατες εικόνες, όσο ανεστίαστες ή θολές και εάν είναι αυτές, ο οφθαλμός έχει την δυνατότητα να εστιάζει στην υφή του χαρτιού, στον κόκκο της φωτογραφίας ή και στο ράστερ εάν πρόκειται για εκτύπωση. Στην τρισδιάστατη όμως απεικόνιση το σύστημα οφθαλμός - εγκέφαλος πρέπει όχι μόνο απλά να εστιάζει αλλά και να συγχωνεύσει τα δυο είδωλα επιδιώκοντας την αντίληψη ενός ενιαίου χώρου. Όταν τα στερεοσκοπικά ζευγάρια είναι ανεστίαστες φωτογραφίες τότε απουσιάζουν οι σαφείς, καθαρές γραμμές επάνω στις οποίες γίνεται η εστίαση οπότε και ο εγκέφαλος αποτυγχάνει στην προσπάθεια του. Το τελικό αποτέλεσμα είναι να προκαλείται σύντομα κόπωση των οφθαλμών καθώς και μια γενικότερη δυσφορία.

Ένας άλλος λόγος που δικαιολογεί την απαίτηση για εστιασμένη εικόνα είναι ότι η τρισδιάστατη απεικόνιση δείχνει πολύ ρεαλιστική. Ο άνθρωπος έχει συνηθίσει στην καθημερινή του ζωή να βλέπει πάντα εστιασμένη την περιοχή που θέλει να παρατηρεί. Βλέποντας έτσι κάποια αντικείμενα θολά όταν εξετάζει μια κατά τα άλλα πολύ ρεαλιστική, τρισδιάστατη φωτογραφία, έχει αρνητικά συναισθήματα που υπονομεύουν την ψευδαίσθηση του ρεαλισμού και καθιστούν τελικά την εικόνα μη ικανοποιητική και αναξιόπιστη.

Το κριτήριο του χρόνου, ο φωτισμός του θέματος, η διαφορά της κλίμακας

Οι δυο απόψεις ενός συγκεκριμένου θέματος συνεργάζονται για να εξασφαλίσουν μια στερεοφωτογραφία. Έτσι όλα τα απεικονιζόμενα αντικείμενα θα πρέπει να κατέχουν την ίδια ακριβώς ακλόνητη θέση κατά την διάρκεια λήψης της αριστερής και δεξιάς εικόνας. Χρησιμοποιώντας μια μόνο φωτογραφική μηχανή για διαδοχική λήψη, το θέμα επιβάλλεται να είναι εντελώς ακίνητο. Σε αντίθετη περίπτωση (π.χ. θεματολογίες όπως : σύννεφα, φύλλα δένδρων, αυτοκίνητα ή και άνθρωποι που κινούνται) θα αποτυπωθούν στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια σε διαφορετική θέση στην κάθε επί μέρους φωτογραφία. Το αποτέλεσμα θα είναι η εμφάνιση κάποιου διπλού ειδώλου με συνέπεια την δύσκολη ή και προβληματική θέασή του. Τελικά τα κινούμενα αντικείμενα (με αυτή την τεχνική) δεν φαίνονται τρισδιάστατα. Το πρόβλημα που μόλις αναφέρθηκε αποφεύγεται εάν η λήψη γίνει ταυτόχρονα με δυο κατάλληλα συγχρονισμένες, ανεξάρτητες φωτογραφικές μηχανές.

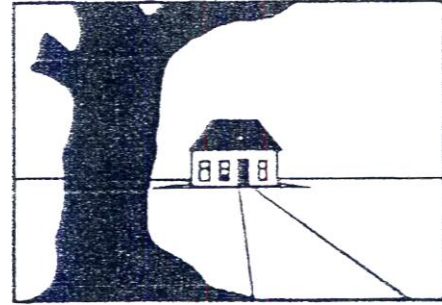
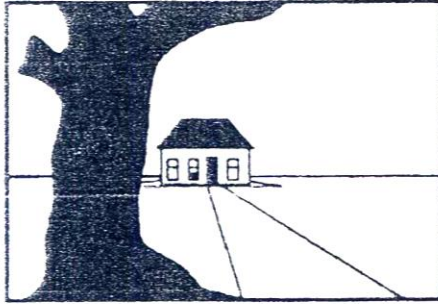
Στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μέχρι και τη λήψη της δεύτερης, έστω υπαίθριας, φωτογραφίας, οι φωτεινές και σκιερές περιοχές των αντικειμένων που φωτίζονται από τον ήλιο έχουν αλλάξει ελαφρώς σχήμα, λόγω της περιστροφής της γης γύρω από αυτόν, αλλά και λόγω της πιθανής αλλαγής της θέσης κάποιου σύννεφου. Όσο μεγαλύτερο το χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται ανάμεσα στις δυο διαδοχικές λήψεις τόσο πιο πιθανολογικά εμφανής γίνεται αυτή η μεταβολή. Αρκεί η καθυστέρηση λίγων μόλις δευτερολέπτων για να παρατηρηθούν μικρές έστω αλλά ανεπιθύμητες αλλοιώσεις στο σχήμα των ειδώλων των αντικειμένων. Προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί και στην χρήση των φλας, για τους λόγους που ήδη αναλύθηκαν το φλας ή οποιαδήποτε άλλη τεχνητή, φωτιστική πηγή πρέπει να έχει σταθερή θέση κατά την διάρκεια της φωτογράφισης. Η επιδίωξη είναι οι σκιερές και οι φωτεινές περιοχές να μην αλλάξουν σχήμα, είναι προφανές ότι η στήριξη του φλας επάνω στην (μετακινούμενη) φωτογραφική μηχανή θα δημιουργούσε σίγουρα πρόβλημα.

Ιδιαίτερη προσοχή είναι αναγκαίο να δίνεται στην απόσταση του θέματος από την φωτογραφική μηχανή. Η απόσταση αυτή πρέπει να είναι ακριβώς ίδια και για τις δυο θέσεις φωτογράφισης ώστε τα μεγέθη των αντίστοιχων ειδώλων να είναι ακριβώς ίσα. Η ύπαρξη διαφοράς στην κλίμακα προκαλεί δυσκολία στην θέαση της τρισδιάστατης εικόνας διότι τα ομόλογα σημεία των δυο φωτογραφιών δεν βρίσκονται, όπως πρέπει, στην ίδια ακριβώς οριζόντια ευθεία.

Συνοπτικά λοιπόν οι αρχές της στέρεο φωτογράφισης είναι:

- 1) Η στερεοσκοπική βάση είναι προσεγγιστικά ίση με το 1/30 της ελάχιστης απόστασης του θέματος από την φωτογραφική μηχανή.
- 2) Οι δυο εικόνες είναι σημαντικό να ληφθούν με τους οπτικούς άξονες των φωτογραφικών φακών παράλληλους μεταξύ τους.
- 3) Η φωτογραφική μηχανή θα πρέπει να μετακινείται απόλυτα οριζόντια για να μην προκύψει ανεπιθύμητη κατακόρυφη παράλλαξη.
- 4) Η εικόνα θα πρέπει να φαίνεται εστιασμένη σε όλο της το εύρος από το πρώτο μέχρι και το τελευταίο πλάνο (φόντο).
- 5) Με χρήση μιας φωτογραφικής μηχανής και δυο, διαδοχικών λήψεων το θέμα επιβάλλεται να παραμείνει εντελώς ακίνητο.
- 6) Η απόσταση της μηχανής από το αντικείμενο πρέπει να είναι ακριβώς η ίδια και στις δυο λήψεις έτσι ώστε να μην προκύψει διαφορά κλίμακας μεταξύ των δυο εικόνων.

Με την όσο το δυνατόν καλλίτερη εφαρμογή των παραπάνω αρχών δημιουργούνται τελικά τα ζευγάρια των στερεοσκοπικών εικόνων που αντιστοιχούν στις δυο ξεχωριστές θέσεις φωτογράφισης. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται σχηματικά δυο τέτοιες εικόνες που απεικονίζουν ένα σπίτι στην εξοχή. Παρά το γεγονός ότι οι απεικονιζόμενες θεματολογίες φαίνονται σχεδόν ίδιες εύκολα διαπιστώνεται η μικρή διαφορά της σχετικής απόστασης σπίτι - δεξιάς πλευράς κορμού δέντρου της αριστερής από την δεξιά εικόνα.



Πράγματι, για τον αριστερό οφθαλμό η απόσταση αυτή φαίνεται να είναι σαφώς μικρότερη από ότι αυτή που αντιστοιχεί στον δεξιό οφθαλμό. Ο εγκέφαλος συνδυάζει αυτές τις διαφορές προοπτικής και έτσι δημιουργεί την στερεοσκοπική απεικόνιση.

Μέθοδοι παρουσίασης και θέασης στέρεο φωτογραφιών

Όπως ήδη προαναφέρθηκε για την δημιουργία στερεοσκοπικής αντίληψης μιας στέρεο φωτογραφίας ή και κινούμενης στέρεο - εικόνας είναι απαραίτητο οι δυο απόψεις του φωτογραφημένου θέματος να παρουσιαστούν ταυτόχρονα αλλά ανεξάρτητα στους οφθαλμούς του παρατηρητή. Δηλαδή οι ακτίνες του φωτός που προέρχονται από την αριστερή φωτογραφία πρέπει να καταλήγουν μόνο στον αριστερό οφθαλμό και αντίστοιχα ο δεξιός οφθαλμός θα πρέπει να βλέπει αποκλειστικά και μόνο την δεξιά φωτογραφία. Έτσι, δυο επίπεδες εικόνες μπορούν να δώσουν συνδυαστικά τρισδιάστατη εντύπωση. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται είναι:

(α) στερεοσκοπική προβολή ή χρωματισμένο ανάγλυφο όπου γίνεται φυσική επιλογή της έγχρωμης δέσμης του φωτός που προέρχεται από κάθε εικόνα του στέρεο ζεύγους και

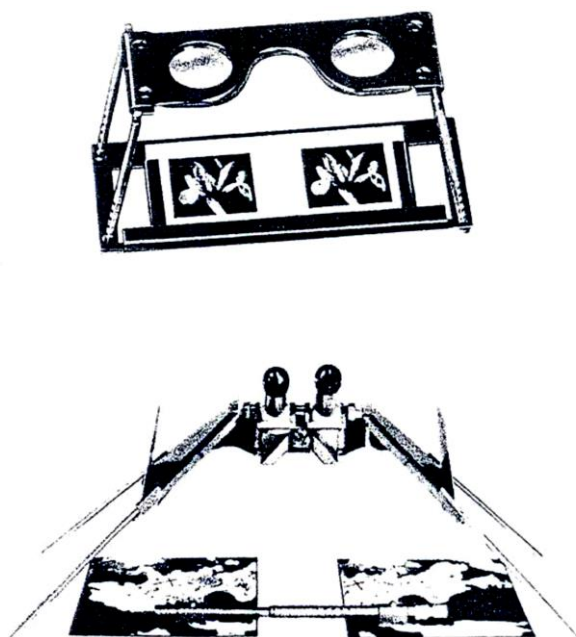
(β) ελεύθερη στερεοσκοπική παρατήρηση ή χρήση στερεοσκοπίου που βασίζονται στην γεωμετρική επιλογή της συγκεκριμένης, κάθε φορά, φωτεινής δέσμης.

Από την ανακάλυψη - αναβίωση της στερεοσκοπίας (1850) μέχρι και σήμερα έχουν γίνει διάφορες επιτυχημένες απόπειρες και έχουν εφευρεθεί πολλές ακόμη μέθοδοι στερεοσκοπικής παρατήρησης και θέασης.

Στερεοσκόπιο

Η πλέον απλή, εύχρηστη αλλά και συνηθισμένη μέθοδος παρατήρησης στερεοφωτογραφιών εφαρμόζεται με τη χρήση του στερεοσκοπίου. Το στερεοσκόπιο είναι συσκευή, οπτικής διάταξης με την οποία παρατηρώντας συγχρόνως ένα στερεοσκοπικό ζεύγος φωτογραφιών του ίδιου θέματος, παρέχεται στον θεατή η δυνατότητα να αντιληφθεί τρισδιάστατα το φωτογραφημένο θέμα. Πρόκειται για τον πλέον κλασικό τρόπο θέασης ασπρόμαυρων ή και έγχρωμων τυπωμένων στέρεο φωτογραφιών. Ωστόσο, μέσω αυτού είναι δυνατόν να παρατηρηθούν και στέρεο ζεύγη διαφανειών μετά από τον κατάλληλο συνδυασμό τους και με τον απαιτούμενο φωτισμό. Αν και όλα τα στερεοσκόπια λειτουργούν κατά τον ίδιο σχεδόν τρόπο, αυτά διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους: τα στερεοσκόπια φακών ή διαθλαστικά και τα

κατοπτρικά στερεοσκόπια ή ανακλαστικά. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικά ένα στερεοσκόπιο από την κάθε τέτοια κατηγορία.



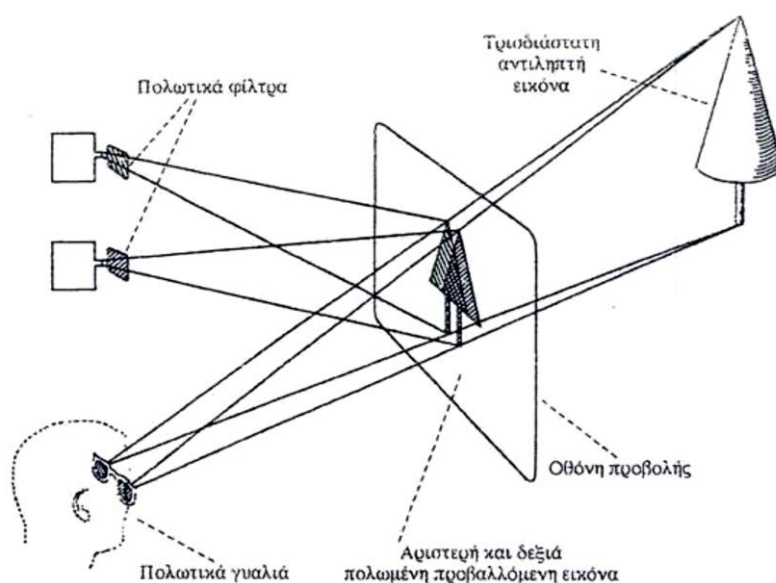
Στερεοσκοπική προβολή μέσω πολωτικών φίλτρων

Η προβολή είναι ίσως ο πιο άνετος και απολαυστικότερος (μέχρι σήμερα) τρόπος στερεοσκοπικής παρατήρησης, με την προϋπόθεση βέβαια ότι έχουν διασφαλιστεί οι παράμετροι εκείνοι για μια σωστή παρουσίαση, διαφορετικά η όλη διαδικασία μετατρέπεται σε μια κοπιαστική δοκιμασία για τον μέσο θεατή.

Η στέρεο - προβολή έγχρωμων διαφανειών (slides) βασίζεται συνήθως στις αρχές της πόλωσης του φωτός. Χρησιμοποιούνται δυο ανεξάρτητες συσκευές προβολής διαφανειών (slide projectors) όπου ο καθένας προβάλλει από μια εικόνα του στέρεο ζεύγους με κατάλληλο τρόπο και υπέρθεση επάνω στην ίδια ειδική επίπεδη οθόνη. Όλοι οι θεατές φορούν ειδικής κατασκευής γυαλιά εφοδιασμένα με πολωτικά φίλτρα. Αναλυτικά η προβολική συσκευή Α προβάλλει την αριστερή διαφάνεια μέσω πολωτικού φίλτρου με επιλεγμένη διεύθυνση πόλωσης τις -45° . Το πολωτικό φίλτρο μπροστά από τον αριστερό οφθαλμό του κάθε θεατή έχει επίσης διεύθυνση πόλωσης -45° . Αντίστοιχα η προβολική συσκευή Β, προβάλλει την δεξιά διαφάνεια μέσω πολωτικού φίλτρου με διεύθυνση πόλωσης $+45^\circ$ και το πολωτικό φίλτρο του δεξιού οφθαλμού έχει αντίστοιχη διεύθυνση πόλωσης $+45^\circ$.

Με αυτή την διάταξη ο κάθε οφθαλμός μπορεί ελεύθερα να παρατηρήσει την προβαλλόμενη εικόνα που προορίζεται αποκλειστικά για εκείνον, διότι τα πολωτικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένη πορεία του φωτός έχουν παράλληλες διευθύνσεις πόλωσης. Ταυτόχρονα ο ίδιος οφθαλμός εμποδίζεται από την «παρασιτική» θέαση της αντίθετης εικόνας διότι τα πολωτικά φίλτρα τους έχουν κάθετες τις μεταξύ τους διευθύνσεις πόλωσης. Έτσι κάθε οφθαλμός μπορεί να «βλέπει» μόνο την διαφάνεια που

αντιστοιχεί σε αυτόν, με αποτέλεσμα να γίνεται αντιληπτή συνδυαστικά η στερεοσκοπική εικόνα.



Η οθόνη που χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό πρέπει να διαθέτει επιφάνεια που να διατηρεί αμετάβλητο το προσπίπτον επίπεδο πόλωσης. Για παράδειγμα η κοινή, λευκή οθόνη είναι σχεδόν ακατάλληλη για στερεοσκοπική προβολή. Η μόνη οθόνη που ενδείκνυται είναι εκείνη που έχει επιφάνεια με ασημόχρωμη, μεταλλική, αντιπολωτική επίστρωση.

Για την άνετη και ευχάριστη παρακολούθηση μιας προβολής διαφανειών είναι σημαντικό να βλέπουν όλοι οι θεατές ταυτόχρονα ολόκληρη την προβαλλόμενη εικόνα, χωρίς να χρειάζεται να γέρνουν το κεφάλι τους ή να μετακινούνται από την αρχική τους θέση. Ειδικά στην στερεοσκοπική προβολή, εάν αυτό συμβαίνει, επιφέρει δυσάρεστο τελικό αποτέλεσμα. Έτσι η επίπεδη επιφάνεια της οθόνης ίσως χρειαστεί να βρίσκεται σε υπερυψωμένη θέση αλλά πάντοτε κάθετη στην δέσμη της προβολής.

Βιβλιογραφία

STEREOSCOPIC PHOTOGRAPHY, Its Application to Science, Industry and Education by Arthur W. Judge, 3rd Edition revised, Chapman & Hall LTD, London 1950.

MAGICAL IMAGES , A Handbook of Stereo Photography by G. R. Ogram, 1st Edition 2001, Stafford, UK.

SCIENTIFIC PHOTOGRAPHY AND APPLIED IMAGING by Sidney F. Ray, Focal Press, Oxford 1999

ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ, Βασιλική Χερουβείμ (Πτυχιακή Εργασία Τμήματος Φωτογραφίας, ΤΕΙ Αθήνας), 2000.

STEREO PHOTOGRAPHY, Tutorial 1998 - 2001, by George A. Themelis, Ohio Stereo Photographic Society, USA.

PHOTOGRAPHING IN 3 - D by David Burder FRPS, Pat Whitehouse FRPS.