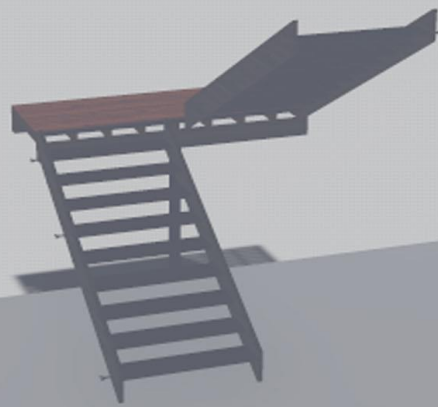


*Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.*

*Σ.Τ.ΕΦ. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.*



## *Πτυχιακή εργασία*

*Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής*

*Εκπόνηση: Αρτεμισία Γκιόκα  
Ουρανία Μηλιώνη*

*Επίβλεψη: Γεώργιος Μιχαήλ Εξαρχάκος*

*Ιούνιος 2017*



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



*Αφιερώνεται*

*Σε όσους στήριξαν αυτήν μας την προσπάθεια.*



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Μητάνη Ουρανία, του Τρηγορίου φοιτητής/τριας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών

Ημερομηνία

23/06/2017





## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Ουρανία Αρτεμισία Γκικόκα, του Παύλου φοιτητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών

Ημερομηνία

23/06/2014



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Ευχαριστίες

Για την δημιουργία αυτής της πτυχιακής εργασίας ευχαριστούμε εις βάθος τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Γεώργιο Μιχαήλ Εξαρχάκο για την έμπνευση και την γνώση που κατάφερε να μας μεταλαμπαδεύσει κατά την διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης ευχαριστούμε τους γονείς μας που πίστεψαν και στήριξαν το έργο μας μέχρι τέλους



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Πρόλογος

Η εργασία αυτή έχει σκοπό να περιγράψει την κατασκευή συσκευής τρισδιάστατης προβολής και να τεκμηριώσει την λειτουργία της. Αποτελείται από 5 κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή σε μεθόδους προβολής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε μεθόδους τρισδιάστατων προβολών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία τρισδιάστατης προβολής υπό το πρίσμα της γεωμετρίας

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται μέθοδοι εικονικής πραγματικότητας καθώς και στερεοσκοπικής προβολής.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται και τεκμηριώνεται η συσκευή προβολής και η λειτουργία της



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



## Abstract

This project purpose is to describe a holographic projection dev

This paper is intended to describe a three-dimensional projector and “presents” its operation based on descriptive geometry and other facts. It consists of 5 chapters.

In the first chapter there is a historical review of projection methods.

In the second chapter there is a reference to three-dimensional projection methods.

The third chapter describes the three-dimensional projection process under geometrical scope.

The fourth chapter describes virtual reality as well as stereoscopic viewing methods.

Finally, the fifth chapter describes and documents the projector and its operation



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>7</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b>	<b>8</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</b>	<b>10</b>
1. 1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΙΝΗΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ	10
1. 2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΡΟΒΟΛΩΝ	18
1. 3. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΒΟΛΗ	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΩΝ</b>	<b>36</b>
2. 1. ΠΡΟΟΠΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ	36
2. 1. 1. Η προοπτική σμίκρυνση	36
2. 1. 2. Η σύγκλιση των παράλληλων γραμμών	37
2. 1. 3. Η προοπτική βράχυνση	37
2. 1. 4. Γραμμική προοπτική	38
2. 1. 5. Αιθέρια προοπτική	38
2. 2. ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ	39
2. 3. ΑΥΤΟΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΑ	44
2. 3. 1. Ιστορικά στοιχεία στερεογραφίας τοιχοστρωσίας	46
2. 3. 2. Στοιχεία Λειτουργίας	47
2. 3. 3. Χάρτες βάθους	49
2. 3. 4. Τυχαία Κουκίδα	52
2. 3. 5. Κινούμενη Εικόνα	56
2. 3. 6. Μηχανισμοί θεώρησης	56
2. 3. 7. Αντίληψη τρισδιάστατου	57
2. 3. 8. Τεχνικές παρατήρησης	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ</b>	<b>70</b>
3. 1. Το φαινόμενο από άποψη γεωμετρίας	70
3. 2. Το φαινόμενο από άποψη οπτικής	73
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο ΠΡΟΒΟΛΗ ΕΙΚΟΝΑΣ</b>	<b>78</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ – ΟΛΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ</b>	<b>82</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>115</b>





## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Απεικόνιση βίσωνα σε αρχαία τοιχογραφία	11
Εικόνα 2. Το θαυματρόπιο	12
Εικόνα 3. Το φαινακιστοσκόπιο	12
Εικόνα 4. Το ζωοτρόπιο	13
Εικόνα 5. Ο μαγικός φανός	14
Εικόνα 6. Οπτικός φωνόγραφος	15
Εικόνα 7. Αζιμουθιακή προβολή (από Peter H. Dana 1995).	20
Εικόνα 8. Κυλινδρική προβολή (από Peter H. Dana 1995).	21
Εικόνα 9. Κωνική προβολή (από Peter H. Dana 1995).	21
Εικόνα 10. Αζιμουθιακή Γνωμονική Πολική προβολή. Προβάλλεται το τμήμα της γης από τον 45ο παράλληλο έως τον βόρειο πόλο. Προσέξτε ότι η «μύτη» της Γροιλανδίας βρίσκεται στον 60ο παράλληλο	22
Εικόνα 11. Αζιμουθιακή Στερεογραφική Πολική προβολή. Προβάλλεται το τμήμα της γης από τον 45ο παράλληλο έως τον βόρειο πόλο. Προσέξτε ότι η «μύτη» της Γροιλανδίας βρίσκεται στον 60ο παράλληλο	23
Εικόνα 12. Αζιμουθιακή Ορθογραφική Πολική προβολή. Προβάλλεται το τμήμα της γης από τον 45ο παράλληλο έως τον βόρειο πόλο. Προσέξτε ότι η «μύτη» της Γροιλανδίας βρίσκεται στον 60ο παράλληλο	24
Εικόνα 13. Επάλληλη τοποθέτηση των τριών προβολών των σχημάτων 4, 5 και 6. Παρατηρείται «μετακίνηση» του 60ου και 75ου παραλλήλου, εξαιτίας της διαφορετικής θέσης της φωτεινής πηγής (κέντρου της προβολής) σε κάθε μία από τις προβολές. Προσέξτε τη «μύτη» της Γροιλανδίας	25
Εικόνα 14. Η Camera Obscura	26
Εικόνα 15. Το Pepper's Ghost Effect	28
Εικόνα 16. Το Pepper's Ghost Effect - Προβολή	29
Εικόνα 17. Εφαρμογή του Pepper Ghost σε βίντεο	31
Εικόνα 18. Ολόγραμμα με την μέθοδο Ουράνιο Τόξο	35
Εικόνα 19. Η προοπτική σμίκρυνση	36
Εικόνα 20. Σύγκλιση παράλληλων γραμμών	37
Εικόνα 21. Προοπτική βράχυνση	37
Εικόνα 22. Γραμμική προοπτική	38
Εικόνα 23. Αιθέρια προοπτική	39
Εικόνα 24. Το στερεοσκόπιο του Winston, Πηγή: <a href="https://en.rem-tv.net/publ/4-1-0-43">https://en.rem-tv.net/publ/4-1-0-43</a>	41
Εικόνα 25. Το στερεοσκόπιο του Μπρούστερ	42
Εικόνα 26. Στερεοσκόπιο του Holmes	43
Εικόνα 27. Το My 3D	43
Εικόνα 28. Παράδειγμα αυτοστερεογράμματος τοιχοστρωσίας	45
Εικόνα 29. Το αυτοστερεόγραμμα	49
Εικόνα 30. Τα μαύρα, γκρι και άσπρα χρώματα στο υπόβαθρο αντιπροσωπεύουν έναν χάρτη βάθους που εμφανίζει αλλαγές κατά οριζόντιο μήκος	50
Εικόνα 31. Η εικόνα του επαναλαμβανόμενου σχεδίου	51
Εικόνα 32. Τρία υπερυψωμένα παραλληλόγραμμα εμφανίζονται σε διαφορετικό επίπεδο βάθους σε αυτό το αυτοστερεόγραμμα	53
Εικόνα 33. Κάθε εικονοστοιχείο σε ένα αυτοστερεόγραμμα υπακούει στον κανόνα του διαστήματος που ορίζεται από το χάρτη βάθους	53
Εικόνα 34. Αυτό το αυτοστερεόγραμμα τυχαίας κουκκίδας εμφανίζει έναν χαρακτήρα με μια μικρή σκίαση ψηλότερα από το επίπεδο υπόβαθρο	54



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 35. Η εικόνα του καρχαρία ζωγραφισμένη με μικρή κλίση _____	55
Εικόνα 36. Ο τρισδιάστατος χαρακτήρας στο τυχαίας κουκκίδας αυτοστερεόγραμμα έχει ένα στρωτό, στρογγυλοποιημένο σχήμα εξαιτίας του χάρτη βάθους με μικρή κλίση _____	55
Εικόνα 37. Τα δύο μάτια συγκλίνουν στο αντικείμενο προσοχής _____	57
Εικόνα 38. Ο εγκέφαλος δημιουργεί μία Κυκλώπεια εικόνα από τις δύο εικόνες που λαμβάνει από τα δυο μάτια _____	58
Εικόνα 39. Ο εγκέφαλος δίνει σε κάθε σημείο της Κυκλώπειας εικόνας μία τιμή βάθους που αντιπροσωπεύεται εδώ από τον χάρτη βάθους στην κλίμακα του γκρι _____	58
Εικόνα 40. Το μάτι προσαρμόζει τον εσωτερικό του φακό ώστε να λάβει μία σαφή, εστιασμένη εικόνα _____	59
Εικόνα 41. Τα δύο μάτια συγκλίνουν προς ένα αντικείμενο _____	59
Εικόνα 42. Προσομοιωμένη αντίληψη τρισδιάστατου _____	60
Εικόνα 43. Οι δύο μαύρες γραμμές σε αυτό το αυτοστερεόγραμμα βοηθούν τους παρατηρητές να το δουν σωστά, βλέπετε δεξιά _____	62
Εικόνα 44. Όταν ο εγκέφαλος καταφέρει τη σωστή θέση των οφθαλμών, θα δει δύο ομάδες γραμμών _____	62
Εικόνα 45. Οι κύβοι της πάνω σειράς εμφανίζονται μεγαλύτεροι _____	63
Εικόνα 46. Το κάτω μέρος αυτού του αυτοστερεογράμματος τυχαίας κουκκίδας δε δεσμεύεται από τριδιάστατες εικόνες _____	64
Εικόνα 47. Σκίτσο Johannes de Fontana από την Camera Obscura το 1420 _____	69
Εικόνα 48. Σχεδιάγραμμα επεξήγησης _____	75
Εικόνα 49. Διαφορετικές συχνότητες των διαφόρων χρωμάτων που αποτελούν το λευκό φως _____	83
Εικόνα 50. Πώς μία διέγερση προκαλεί την αυτόματη επαναφορά του ηλεκτρονίου στην προηγούμενη ευσταθέστερη κατάσταση, εκπέμποντας την πλεονάζουσα ενέργεια σαν φωτόνιο _____	84
Εικόνα 51. Αρχή λειτουργίας του λέιζερ: 1. Ενεργό υλικό του λέιζερ, 2. Προσφερόμενη ενέργεια άντλησης, 3. Υψηλής ανακλαστικότητας κάτοπτρο, 4. Διάταξη εξόδου δέσμης, 5. Δέσμη Λείζερ _____	84
Εικόνα 52. Περίθλαση κυμάτων. Όσο πιο μικρό το άνοιγμα, τόσο πιο έντονη η περίθλαση _____	85
Εικόνα 53. Συμβολή δύο κυμάτων _____	86
Εικόνα 54. Πώς δημιουργούνται οι έντονες και ασθενείς περιοχές στη συμβολή. Αριστερά ενισχυτική συμβολή όταν οι κορυφές συμπίπτουν, και δεξιά ακυρωτική συμβολή όταν η κορυφή του ενός κύματος συμπίπτει με το κοίλωμα του άλλου. _____	86
Εικόνα 55. Ένα απλό παράδειγμα διαφορετικών βαθμών συμβολής είναι οι ιριδισμοί στις φυσαλίδες των απορρυπαντικών _____	87
Εικόνα 56. Αρχή ολογραφίας _____	88
Εικόνα 57. Καταγραφή και αναπαραγωγή μιας ολογραφικής εικόνας _____	89



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

### 1. 1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΙΝΗΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ

[Κινηματογράφος (κίνηση+γραφή)]

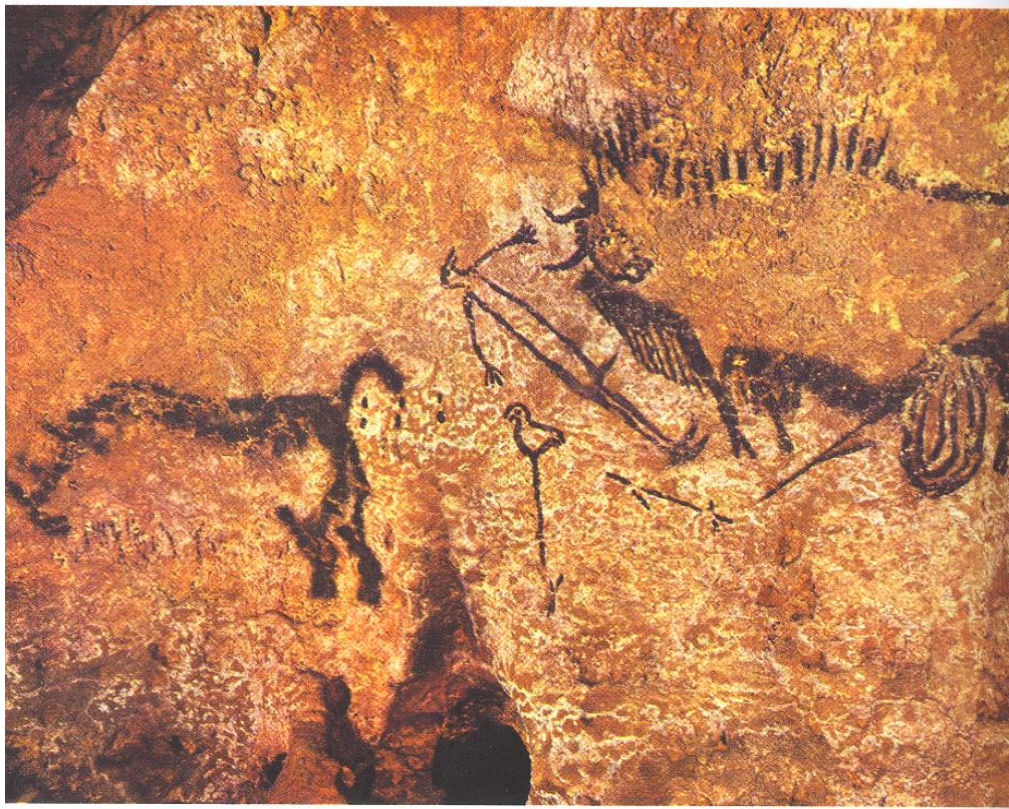
Η ύπαρξη του κινηματογράφου ξεκίνησε χάρη μετείκασμα μετείκασμα είναι η ιδιότητα του αμφιβληστροειδούς να συγκρατεί την εικόνα για 1/10 του δευτερολέπτου αφού εξαφανιστεί. Τα τρία πράγματα που αποτελούν την βάση του κινηματογράφου είναι τα εξής παρακάτω :

- Η ανάλυση της κίνησης
- Η φωτογραφία
- Η προβολή

Το 25. 000 π. Χ. έγινε η πρώτη προσπάθεια ανάλυσης και σύνθεσης κίνησης. Αυτή τη προσπάθεια συναντάμε στα σπήλαια της Αλταμίρα<sup>1</sup>. Ο προϊστορικός άνθρωπος απεικόνισε τους βίσωνες με 8 αντί για 4 πόδια σε μια προσπάθεια να αποδώσει εικαστικά-στατικά την κίνηση.

---

1 Holmes, O. W. (1859). The stereoscope and the stereograph. Atlantic Monthly, 3(20).



**Εικόνα 1. Απεικόνιση βίσωνα σε αρχαία τοιχογραφία**

Έπειτα από πολλά χρόνια το 1824 πλέον εφευρέθηκε η φωτογραφία. Ένα βήμα πιο κοντά στον κινηματογράφο. Ο Φίτον και ο Πάρις το 1825 προσπάθησαν να συνθέσουν μια αναλυμένη εικόνα με αποτέλεσμα να εφεύρουν το θαυματρόπιο<sup>2</sup>. Είναι ένα έλασμα που στις δύο όψεις του είναι ζωγραφισμένες διακεκομμένες παραστάσεις ή γράμματα. Γυρνώντας το σχηματίζονται οι εικόνες.

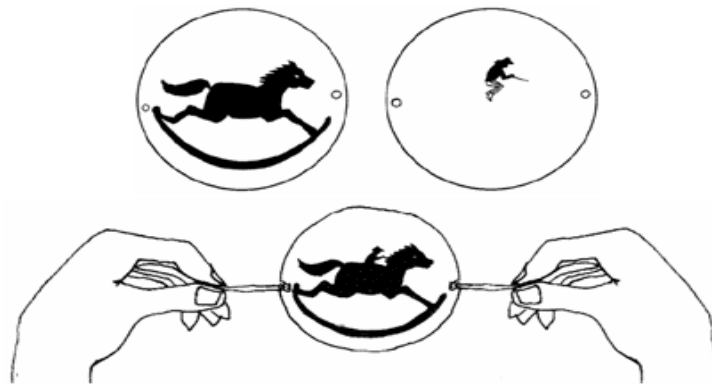
---

<sup>2</sup> Inhester, B. (2006). Stereoscopy basics for the STEREO mission. arXiv preprint astro-ph/0612649.





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 2. Το θαυματρόπιο

Ο Βέλγος φυσικός Ζοζέφ Πλατώ κατασκευάζει το 1832 το φενακιστοσκόπιο<sup>3</sup>, ένα χάρτινο δίσκο στον οποίο την περιφέρεια είναι ζωγραφισμένες φιγούρες που παριστάνουν μια στοιχειώδη κίνηση. Κάτω από κάθε φιγούρα υπάρχει μια σχισμή. Βάζουμε το δίσκο μπροστά από ένα καθρέφτη και κοιτάμε μέσα από την σχισμή. Γυρνώντας τον δίσκο σχηματίζεται ένα είδωλο στον καθρέφτη το οποίο δημιουργεί στον αμφιβληστροειδή μια εντύπωση κίνησης.



Εικόνα 3. Το φαινακιστοσκόπιο

<sup>3</sup> Wiegelmann, T. , & Inhester, B. (2006). Magnetic stereoscopy. Solar Physics, 236(1), 25-40.

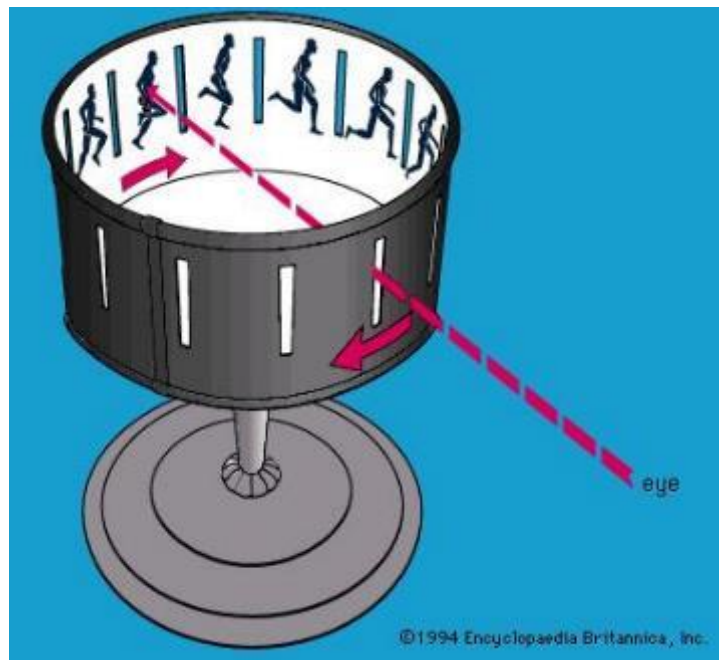




# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Το 1834 ο Άγγλος μαθηματικός Γουίλιαμ Χάρνερ κατασκευάζει το ζωοτρόπιο, μια παραλλαγή του φενακιτοσκοπίου<sup>4</sup>. Πρόκειται για ένα τύμπανο στο εσωτερικό του οποίου έχουμε ζωγραφίσει φιγούρες σε κύκλο. Αντί να βλέπουμε το είδωλο σε καθρέφτη κοιτάμε απευθείας στη σχισμή που υπάρχει απέναντι σε κάθε φιγούρα, αφού προηγουμένως περιστρέψουμε το τύμπανο γύρω από τον κάθετο άξονά του



Εικόνα 4. Το ζωοτρόπιο

Ο Αυστριακός βαρόνος φον Οχάτιους το 1850 πρόβαλε τις εικόνες του φενακιστοσκοπίου με την διαφορά πως τις μόνταρε σε γυαλί αντί χαρτιού με αποτέλεσμα να έχει την δυνατότητα να τις προβάλει με τον μαγικό φανός<sup>5</sup>. Ο μαγικός φανός (laternamagica) είναι η πρωτόγονη μορφή του σημερινού

4 Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design (pp. 109-118). ACM.

5 Wiegelmann, T. , & Inhester, B. (2006). Magnetic stereoscopy. Solar Physics, 236(1), 25-40.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



σλάντ προτζέκτορ (slideprojector), μια λάμπα που προβάλλει σε άσπρη επιφάνεια μια διαφάνεια. Η διαφάνεια του μαγικού φανού δεν είναι παρά διαφανές χαρτί.



Εικόνα 5. Ο μαγικός φανός

Το 1877 έρχεται ο Τόμας Έντισον με τον οπτικό φωνογράφο<sup>6</sup>. Είναι ο πρώτος που συνέλαβε την ιδέα κινηματοσκοπικού θεάματος το οποίο μπορούσε να παρακολουθείται από πολύ κόσμο. Είναι ο πρώτος που κατάφερε να σταθεροποιήσει την προβολή.

---

<sup>6</sup> Lee, S. , & Kim, G. J. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.



Εικόνα 6. Οπτικός φωνόγραφος

Ο Μάιμπριτζ με την βοήθεια του μηχανικού Τζων Ίσαακς προσπάθησαν να αποδείξουν με την φωτογραφία ότι το άλογο όταν καλπάζει μένει μετέωρο για μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου. Για να το πετύχουν έστησαν κατά μήκος του διαδρόμου που έτρεχε ένα άλογο, 30 φωτογραφικές μηχανές, μετά ένωσαν τα καρέ και κατάφεραν να δημιουργήσουν την πρώτη ταινία διάρκειας δύο λεπτών το 1878. Τρία χρόνια μετά ο ζελατινοβρωμιούχος άργυρος βοηθά την αποτύπωση του ειδώλου στη φωτογραφία<sup>7</sup>

Ο Ετιέν Ζιλ Μαρτέ κατασκευάζει το χρονοφωτογραφο<sup>8</sup>. Συνίσταται στο φαινόμενο της καταγραφής της κίνησης πάνω σε μια πλάκα όπου το είδωλο σέρνεται και δημιουργεί περιγράμματα ασαφώς καθορισμένα. Ύστερα ο Τζων Ίστμαν θέτει στο εμπόριο το φιλμ από σελλιόνιτ. Μέχρι τότε οι φωτογραφικές πλάκες ήταν από χαρτί ή γυαλί. Έπρεπε να δημιουργηθεί το φωτογραφικό ρολό για να

---

7 Lee, S. , & Kim, G. J. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.

8 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. *CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR*, 76, 168-191.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



γίνει δυνατή η προβολή. Την 28η Δεκεμβρίου του 1895 γίνεται η πρώτη δημόσια προβολή του κινηματογράφου Λουμιέρστο Γκραν καφέ στο Παρίσι<sup>9</sup>.

Η μετέπειτα ιστορία του κινηματογράφου στηρίζεται στη γέννηση του φιλμ. Ξεκινά το 1902 ο Ζορζ Μελιές ο οποίος ασκούσε την τέχνη του ταχυδακτυλουργού και θεωρούσε τον κινηματογράφο ένα ψυχαγωγικό νούμερο που μπορούσε να πάρει μέρος στο θέατρό του. Πολλές οι ταινίες στο ιστορικό του με πιο δημοφιλής της ταινίες φαντασίας αλλά και τις κωμικές.

Μια νέα τεχνική γεννάτε το 1915 μέσα από την ταινία του Ντέιβιντ Γουόρκ Γκρίφιθ (David Work Griffith) «Η γέννηση ενός έθνους»<sup>10</sup>. Η ταινία αυτή σηματοδότησε μια νέα εποχή στην ιστορία του κινηματογράφου. Ο Γκρίφιθ πειραματίστηκε με τα κοντινά πλάνα και πιο συγκεκριμένα με το κρος κάτιν, την εναλλαγή πλάνων όπου υπάρχει δράση σε διαφορετικά σημεία. Δύο χρόνια μετά δημιουργείται στην Γερμανία η UFA μια εταιρία που άνηκε κατά το ένα τρίτο στο κράτος με σκοπό την κρατική προπαγάνδα μέσω του θεσμού του κινηματογράφου. Η Γερμανική βιομηχανία είχε την μοναδική ευκαιρία να παράγει ευρωπαϊκά φιλμ για παγκόσμια κατανάλωση.

Παράλληλα ο Κουλεσόφ με το εργαστήριο του στην Σοβιετική Ένωση ξεκινά να εργάζεται πάνω στις δυνατότητες του μοντάζ. Το 1918 ο γνωστός παγκοσμίως, Σαρλώ στρατιώτης του Τσάρλι Τσάπλιν, εκπρόσωπος του βωβού Αμερικάνικου κινηματογράφου. Άλλοι υποδειγματικοί εκπρόσωποι αυτής της τάσης είναι οι: ο αγέλαστος Μπάστερ Κίτον, ο Χάρι Λάγκτον, ο Χάρολντ Λόιντ και ο «γκάγκερ» Μακ Σένετ. Το 1919 ιδρύεται η UnitedArtists. Ονόματα μεγάλων ηθοποιών κατακτούν την κινηματογραφική βιομηχανία

Η δεκαετία του 20 ήταν επηρεασμένη από το ρεύμα του εξπρεσιονισμού στις τέχνες. Αντιστοίχως και η ταινία του Γερμανού Ρόμπερτ Βινέ «Το εργαστήριο του Δόκτορος Καλιγκάρι» ήταν το ξεκίνημα

---

9 Kunita, Y. , Ogawa, N. , Sakuma, A. , Inami, M. , Maeda, T. , & Tachi, S. (2001, March). Immersive autostereoscopic display for mutual teleexistence: TWISTER I (Teleexistence Wide-angle Immersive STEReoscope model I). In *Virtual Reality, 2001. Proceedings. IEEE* (pp. 31-36). IEEE.

10 Chon, S. , Lee, H. , & Yoon, J. (2011). 3D architectural projection, Light Wall.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



του Γερμανικού εξπρεσιονιστικού κινήματος το οποίο χαρακτηρίζεται έντονα από την εμφανισιακή υπερβολή των ηθοποιών, τη βαρύτητα στα σκηνογραφικά στοιχεία και την φωτογραφική απεικόνιση<sup>11</sup>.

Έπειτα ανά δεκαετίες καθιερώθηκαν ποίκιλα κινηματογραφικά ρεύματα ανάλογα της ανάγκης της εποχής και των σκηνοθετών.

---

11 Kädig, S. , & Melzer, A. (2006). Three-dimensional stereoscopy of Yukawa (Coulomb) balls in dusty plasmas. *Physics of Plasmas* (1994-present), 13(9), 090701.





## 1. 2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΡΟΒΟΛΩΝ

Προβολή η [λόγ. < αρχ. προβολή `ρίξιμο σημεδ. γαλλ. & αγγλ. projection]

Με τον όρο προβολή στην φυσική εννοούμε τον σχηματισμό(σε μεγέθυνση) φωτεινών ειδώλων μέσω κατάλληλων οπτικών διατάξεων (φακών- προβολέων) πάνω σε οθόνη η σε κατάλληλη επιφάνεια. Αντίστοιχα στην γεωμετρία προβολή ορίζεται η αντιστοίχιση ενός σημείου, μιας γραμμής ή ενός σχήματος προς ένα άλλο επίπεδο ή μια γραμμή, με μια διαδικασία γεωμετρικά καθορισμένη.

Οι γεωμετρικοί τύποι προβολών είναι οι εξής:

- Ορθή προβολή, η προβολή του τρισδιάστατου χώρου σε επίπεδο μέσω ευθειών καθέτων στο επίπεδο προβολής
- Κεντρική προβολή, η προβολή του τρισδιάστατου χώρου σε άλλον τρισδιάστατο χώρο μέσω ευθειών που διέρχονται από το κέντρο προβολής (η κεντρική προβολή είναι προοπτική προβολή)
- Πλάγια ή προοπτική προβολή, η κεντρική προβολή του τρισδιάστατου χώρου σε επίπεδο προβολής
- Αξονομετρική προβολή

Γεωμετρική μέθοδος απεικόνισης χαρτογραφικών προβολών αποτελεί η Αζιμουθιακή προβολή. Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της σφαιρικής (ή ελλειψοειδούς) επιφάνειας της Γης σε μία αναπτυσσόμενη επιφάνεια, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ένα επίπεδο που εφάπτεται σ' ένα σημείο της Γης. Η προβολή θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως εκφυλισμένη κωνική προβολή, με μηδενικό ύψος κώνου. Η ονομασία της προέρχεται από την κύρια ιδιότητα της να απεικονίζει τη διόπτευση (ή αλλιώς το αζιμούθιο) οποιουδήποτε σημείου από το σημείο επαφής ως ευθεία γραμμή. Η απλούστερη και αρκετά συνηθισμένη περίπτωση αζιμουθιακής προβολής είναι εκείνη κατά την οποία το επίπεδο εφάπτεται σ' έναν από τους Πόλους της Γης. Οι μεσημβρινοί στους χάρτες αυτών των προβολών απεικονίζονται ως ευθείες γραμμές που συναντώνται στον Πόλο, Βόρειο ή Νότιο, ενώ οι παράλληλοι ως ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο τον Πόλο. Οι αποστάσεις των ομόκεντρων κύκλων ποικίλουν αναλόγως του είδους της αζιμουθιακής προβολής.



Είδη αζιμουθιακών προβολών :

- Γνωμονική αζιμουθιακή προβολή
- Στερεογραφική αζιμουθιακή προβολη
- Ορθογραφική αζιμουθιακή προβολή
- Ισαπέχουσα αζιμουθιακή προβολή

Ένα από τα δυσκολότερα, και στην ουσία άλυτο, πρόβλημα είναι ο απόλυτα σωστός τρόπος μεταφοράς της γήινης επιφάνειας σε ένα επίπεδο. Το πρόβλημα αυτό παραμένει άλυτο γιατί ουσιαστικά προσπαθούμε να μεταφέρουμε (να προβάλουμε) μία καμπύλη επιφάνεια (τη σφαίρα της γης) σε μία επίπεδη επιφάνεια (χάρτη).

Επειδή αυτό είναι αδύνατο να γίνει κατά απόλυτο τρόπο, δηλαδή η προβολή να δώσει ένα τέλειο αποτέλεσμα, η προσπάθεια επικεντρώνεται στο να γίνει μία όσο το δυνατόν πιο σωστή προβολή

Η απόδοση της γήινης επιφάνειας πάνω στην υδρόγειο είναι η μοναδική σωστή προβολή γιατί αποδίδονται σωστά οι αποστάσεις μεταξύ των τόπων (ηπείρων), η έκταση, η διεύθυνση και το σχήμα των ηπείρων. Αντίθετα, σε οποιαδήποτε άλλη προβολή, είναι αδύνατο να υπάρχει σωστή απόδοση και των τεσσάρων αυτών χαρακτηριστικών. Έτσι, κάθε χάρτης, ο οποίος αποτελεί προβολή ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας πάνω σε ένα επίπεδο, θα αποδίδει σωστά το πολύ τρία από αυτά τα χαρακτηριστικά και το τέταρτο λάθος, ή θα αποδίδει και τα τέσσερα χαρακτηριστικά όσο το δυνατόν πιο σωστά, χωρίς όμως κάποιο από αυτά να είναι απόλυτα σωστό.

Στην προσπάθειά του αυτή, ο άνθρωπος έχει κατασκευάσει διαφόρων ειδών τεχνικές, που με μία λέξη ονομάζονται προβολές, με τις οποίες προσπαθεί να ξεπεράσει το εμπόδιο της καμπύλης επιφάνειας της γης. Οι προβολές αυτές, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους διακρίνονται σε:

*α) Γνήσιες: όταν η κατασκευή τους βασίζεται σε γεωμετρική κατασκευή και β) Μη γνήσιες: όταν η κατασκευή τους βασίζεται σε μαθηματικές εξισώσεις.*

*Οι προβολές αυτές (γνήσιες ή μη γνήσιες) κατασκευάζονται πάνω σε μία επιφάνεια προβολής. Ανάλογα με το είδος της επιφάνειας διακρίνονται σε:*



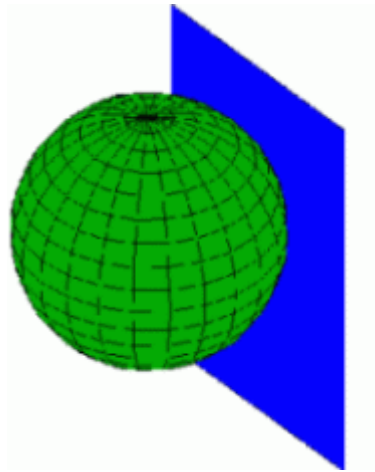
# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



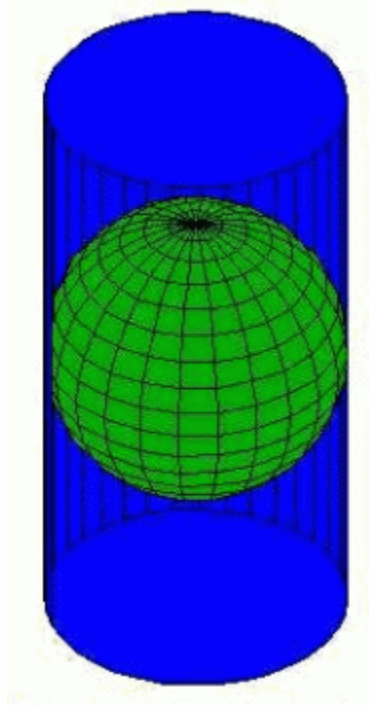
α) Αζιμουθιακές: όταν η επιφάνεια προβολής είναι επίπεδο (σχ. 1)

β) Κυλινδρικές: όταν η επιφάνεια προβολής είναι το εσωτερικό τμήμα ενός κυλίνδρου που περιβάλλει ή τέμνει τη γήινη σφαίρα (σχ. 2) και

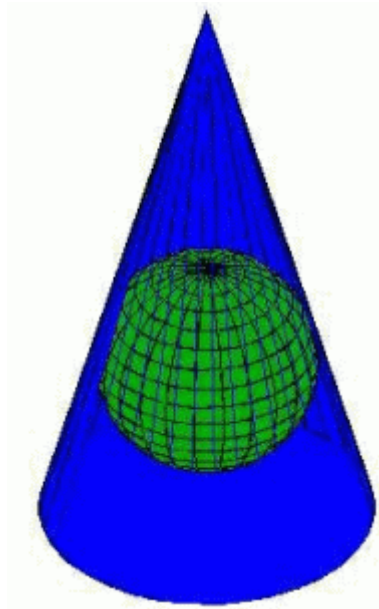
γ) Κωνικές: όταν η επιφάνεια προβολής είναι το εσωτερικό τμήμα ενός κώνου που περιβάλλει ή τέμνει τη γήινη σφαίρα (σχ. 3).



Εικόνα 7. Αζιμουθιακή προβολή (από Peter H. Dana 1995).



Εικόνα 8. Κυλινδρική προβολή (από Peter H. Dana 1995).



Εικόνα 9. Κωνική προβολή (από Peter H. Dana 1995).



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



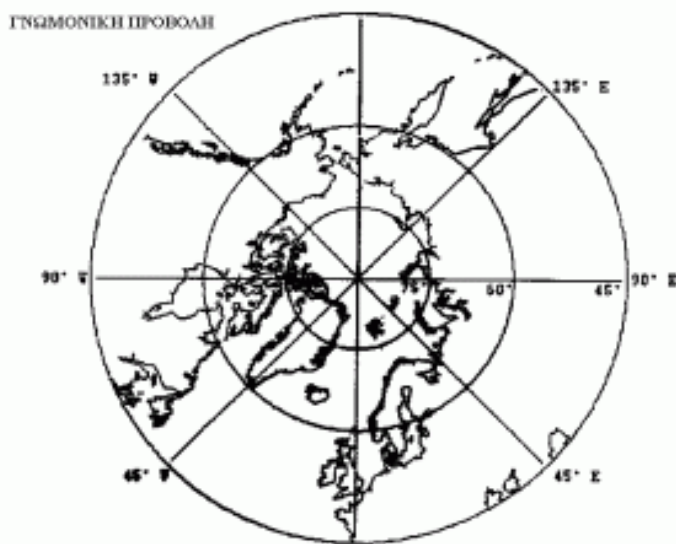
Επίσης, οι προβολές διακρίνονται, ανάλογα με το πού βρίσκεται το κέντρο της προβολής (ή αλλιώς η φωτεινή πηγή) στις εξής κατηγορίες:

α) *γωνιωματική (σχ. 4): όταν η φωτεινή πηγή βρίσκεται στο κέντρο της γης*

β) *στερεογραφική (σχ. 5): όταν η φωτεινή πηγή βρίσκεται στο αντιδιαμετρικό σημείο του σημείου όπου εφάπτεται το επίπεδο προβολής και*

γ) *ορθογραφική (σχ. 6): όταν η φωτεινή πηγή βρίσκεται στο άπειρο.*

Για να γίνει πιο σαφής η έννοια της φωτεινής πηγής (και επομένως του κέντρου της προβολής) θα πρέπει να έχει κανείς υπόψη του εκείνες τις υδρόγειες σφαίρες που έχουν στο εσωτερικό τους μία λάμπα. Η λάμπα αυτή μπορεί να βρίσκεται είτε στο κέντρο της υδρογείου, είτε στο νότιο πόλο. Επίσης, το επίπεδο προβολής μπορεί κανείς να το φανταστεί σαν ένα κομμάτι πλάκας φιλμ, το οποίο εφάπτεται σε κάποιο σημείο πάνω στην υδρόγειο. Αν ξαφνικά ανάψει η λάμπα τότε, η επιφάνεια της υδρογείου θα αποτυπωθεί πάνω σ' αυτό το φιλμ και έτσι, θα προβληθεί πάνω στο φιλμ όλο εκείνο το τμήμα της υδρογείου που φωτίστηκε από την λάμπα.

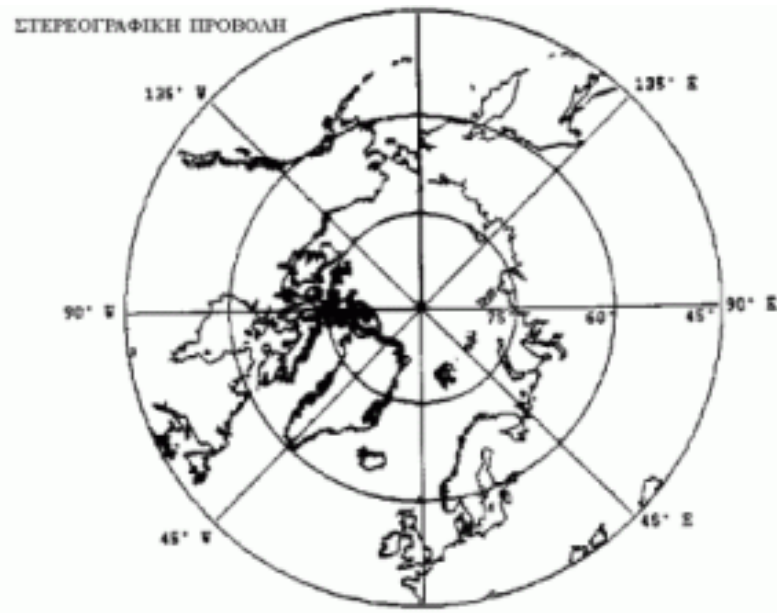


**Εικόνα 10. Αξιμουθιακή Γνωμονική Πολική προβολή. Προβάλλεται το τμήμα της γης από τον 45ο παράλληλο έως τον βόρειο πόλο. Προσέξτε ότι η «μύτη» της Γροιλανδίας βρίσκεται στον 60ο παράλληλο**





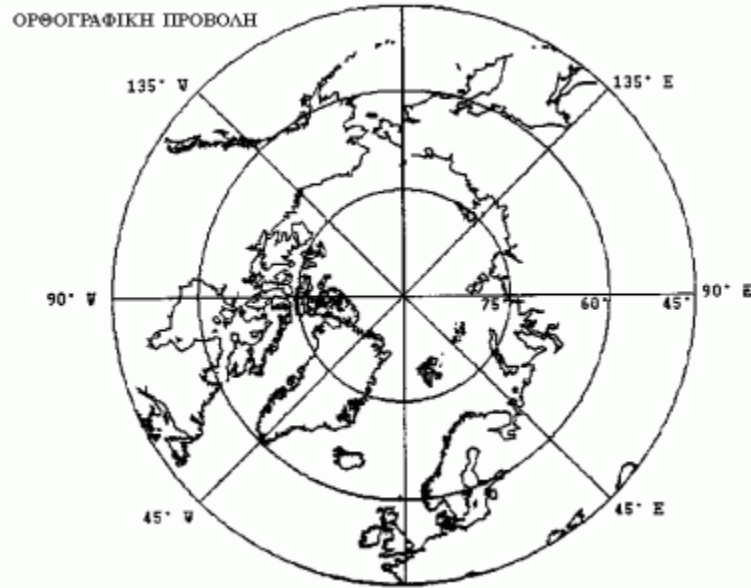
# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 11. Αξιμουθιακή Στερεογραφική Πολική προβολή. Προβάλλεται το τμήμα της γης από τον 45ο παράλληλο έως τον βόρειο πόλο. Προσέξτε ότι η «μύτη» της Γροιλανδίας βρίσκεται στον 60ο παράλληλο

Τέλος, ανάλογα με το σημείο στο οποίο εφάπτεται το επίπεδο πάνω στην υδρόγειο διακρίνονται σε:

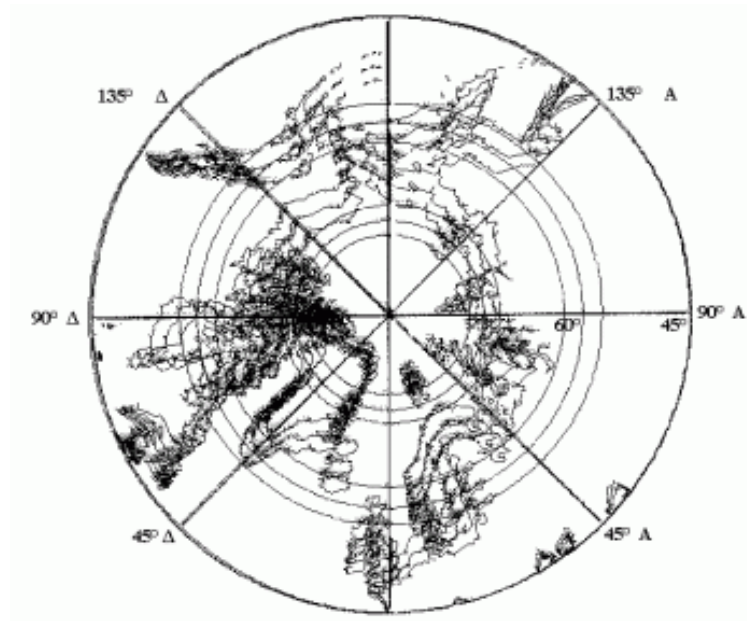
- α) Πολικές: όταν το σημείο επαφής είναι κάποιος από τους δύο πόλους
- β) Ισημερινές: όταν το σημείο επαφής είναι κάποιο σημείο του Ισημερινού
- γ) Πλάγιες: όταν το σημείο επαφής είναι κάποιο άλλο σημείο πάνω στην επιφάνεια της γης



**Εικόνα 12.** Αζιμουθιακή Ορθογραφική Πολική προβολή. Προβάλλεται το τμήμα της γης από τον 45ο παράλληλο έως τον βόρειο πόλο. Προσέξτε ότι η «μύτη» της Γροιλανδίας βρίσκεται στον 60ο παράλληλο

Παρατηρώντας τις τρεις προηγούμενες προβολές μπορεί κανείς να πει ότι δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Πράγματι, με μια πρώτη ματιά φαίνονται ίδιες μεταξύ τους. Αν όμως τοποθετήσει κανείς τις τρεις αυτές προβολές τη μία πάνω στην άλλη (σχ. 7) τότε, θα διαπιστώσει ότι οι παράλληλοι των 60° και των 75° διαφέρουν μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική θέση της φωτεινής πηγής σε κάθε μία προβολή και όχι στο ότι δεν παρουσιάζεται σωστά η επιφάνεια της γης. Η διαφορά αυτή γίνεται εμφανής στην περίπτωση της Γροιλανδίας όπου, η άκρη της χερσονήσου («μύτη») είναι και στους τρεις χάρτες στις 60° και παρόλα αυτά δεν συμπίπτει όταν τοποθετήσουμε τον ένα χάρτη πάνω στον άλλο

Από αυτό το παράδειγμα θα πρέπει να τονιστεί η σημασία που πρέπει να δίνεται στην ακριβή γνώση της προβολής με την οποία είναι κατασκευασμένος κάθε χάρτης, ιδιαίτερα όταν σκοπεύει κανείς να πάρει στοιχεία από τον ένα και να τα μεταφέρει στον άλλο. Μία τέτοια κίνηση θα δώσει σωστά αποτελέσματα μόνον όταν οι δύο χάρτες είναι κατασκευασμένοι με την ίδια προβολική μέθοδο. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να μετατρέψει ο χρήστης κάποια από τις δύο προβολές στη μορφή της προβολής του άλλου χάρτη. Έτσι, από τη στιγμή που και οι δύο χάρτες θα έχουν την ίδια προβολή θα μπορεί να γίνει οποιαδήποτε μεταφορά στοιχείων από τον ένα χάρτη στον άλλο δίχως να υπάρχει περίπτωση να προκύψει λάθος στην τοποθέτηση.



**Εικόνα 13. Επάλληλη τοποθέτηση των τριών προβολών των σχημάτων 4, 5 και 6. Παρατηρείται «μετακίνηση» του 60ου και 75ου παραλλήλου, εξαιτίας της διαφορετικής θέσης της φωτεινής πηγής (κέντρου της προβολής) σε κάθε μία από τις προβολές. Προσέξτε τη «μύτη» της Γροιλανδίας**

Από τις απλούστερες φυσικές προβολές είναι να σχηματίσεις μια σκιά με τα χέρια σε ένα φωτισμένο τοίχο, ένα παιχνίδι που απαιτεί φαντασία και δημιουργικότητα κάτι που συμπαθούν τα παιδιά.

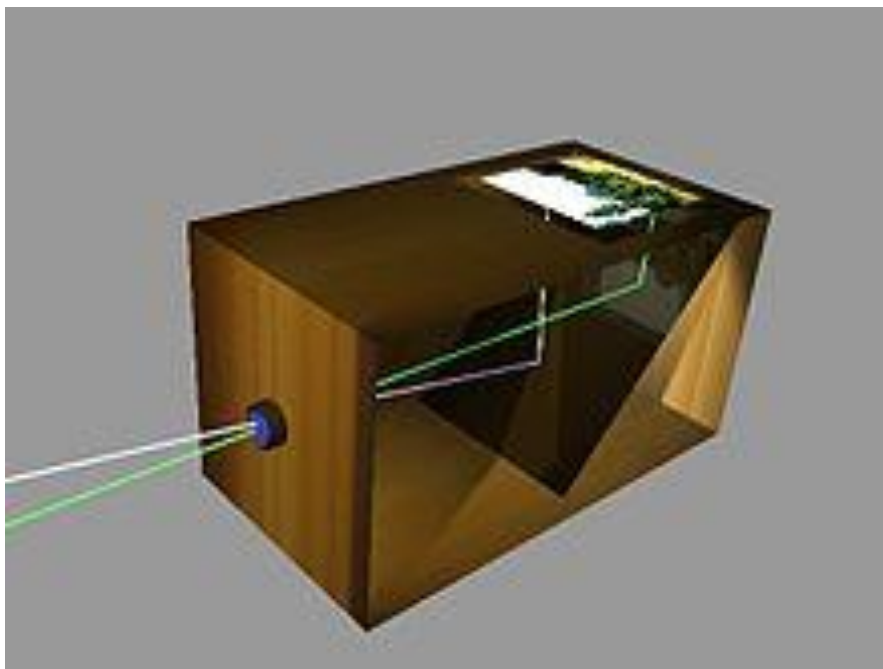
Και δεν είναι η μόνη μορφή προβολής που τα παιδιά αρέσκονται να παρακολουθούν αν αναλογιστούμε τον παιδικό μας ήρωα τον «Καραγκιόζη». Ένα πανί και ένα φως που ρίχνετε πάνω του αποτελούσαν τα τεχνικά μέσα της προβολής. Οι φιγούρες είχαν σχεδόν μηδενική απόσταση από το πανί με αποτέλεσμα το μέγεθος της σκιάς να είναι ίσο με το μέγεθος της φιγούρας. Η τεχνική αυτή με την οθόνη και τις φιγούρες που εφαρμόζουν επάνω τους και φωτίζονται από πίσω είναι κοινή από την Μεσόγειο έως την Ινδοκίνα.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Τον 16ο αιώνα ο Ναπολιτάνος λόγιος και επιστήμονας Giambattista della Porta ο οποίος είναι γνωστός για ένα πλήθος επιστημονικών καινοτομιών, όπως η Camera Obscura<sup>12</sup> (σκοτεινό θάλαμο) ένα κουτί που στη μία άκρη διαθέτει μια γυαλιστερή επιφάνεια και στην απέναντι άκρη μία πολύ μικρή οπή, οι ακτίνες του φωτός διαδίδονται μέσα από την οπή και σχηματίζουν πάνω στην επιφάνεια ένα είδωλο των αντικειμένων έξω από το δωμάτιο ή κουτί. Ο Αριστοτέλης είναι ο πρώτος που περιγράφει τον τρόπο που λειτουργεί η απλούστερη φωτογραφική μηχανή, η γνωστή ως camera obscura. Το 1584 το έργο του Magia Naturalis (Natural Magic) περιέχει μια περιγραφή από οφθαλμαπάτες με τίτλο «Πως μπορούμε να δούμε σε θάλαμο πράγματα που δεν υπάρχουν». Αυτή είναι η πρώτη γνωστή περιγραφή του φαινομένου Pepper's Ghost Effect.



Εικόνα 14. Η Camera Obscura

12 Aguilar, M. M. , Galina, C. S. , Merchant, H. , Montiel, F. , Canseco, R. , & Marquez, Y. C. (2002). Comparison of stereoscopy, light microscopy and ultrastructural methods for evaluation of bovine embryos. Reproduction in domestic animals, 37(6), 341-346.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Το Βασιλικό Πολυτεχνικό Ινστιτούτο του Λονδίνου το οποίο ήταν ένα Ινστιτούτο στον τομέα των επιστημών ιδρύθηκε το 1838. Ο Τζον Χένρι Πέπερ (JohnHenryPepper) με πτυχίο στην χημεία ξεκίνησε να εργάζεται στο Ινστιτούτο ως λέκτορας το 1848<sup>13</sup>. Το Ινστιτούτο του απένειμε τον τίτλο του καθηγητή. Το 1854 έγινε ο διευθυντής και μοναδικός μισθωτής του Πολυτεχνικού Ινστιτούτου. Το 1862 ο εφευρέτης Χένρυ Ντίρξ (HenryDircks) ανέπτυξε την Ντιρξιανή Φαντασμαγορία (DircksianPhantasmagoria)<sup>14</sup>, την δική του εκδοχή της μεθόδου phantasmagoria, η οποία αποτελούσε μέθοδο προβολής κυρίως τρομακτικών εικόνων όπως:

- Σκελετούς
- Δαιμόνια
- Φαντάσματα
- Σε τοίχους με την χρήση της λατέρνα μάτζικα.

Η εξελιγμένη τεχνική μπορούσε να προβάλλει ένα φάντασμα επί σκηνής. Ο Ντίρξ προσπάθησε ανεπιτυχώς να πουλήσει αυτή του την ιδέα στο θέατρο. Απέτυχε διότι το θέατρο απαιτούσε τεχνική ανακατασκευή για να μπορέσει να υποστηρίξει την καινοτόμα ιδέα με μεγάλο κόστος. Κατόπιν αποφάσισε να στήσει ένα εκθεσιακό περίπτερο εντός του Ινστιτούτου το οποίο επέβλεπε ο Τζον Πέπερ. Ο Πέπερ συνειδητοποίησε πως η μέθοδος θα μπορούσε να τροποποιηθεί έτσι ώστε να είναι εύκολο να ενσωματωθεί σε ήδη υπάρχουσα θέατρα. Αρχικά παρουσίασε τη μέθοδο κατά την διάρκεια μιας σκηνής του «Στοιχειωμένου Ανθρώπου» του Κάρολου Ντίκενς με επιτυχία. Αυτή η παρέμβαση του Πέπερ σύνδεσε το όνομα του με την μέθοδο μόνιμα παρότι προσπάθησε αρκετές φορές να δώσει τα εύσημα στον Ντιρξ ο τίτλος “Pepper’sGhostEffect” παρέμεινε. Η σχέση μεταξύ του Πέπερ και του Ντιρξ αναφέρετε περιληπτικά στο παρακάτω άρθρο του 1863 :

---

13 Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design (pp. 109-118). ACM.

14 Mountney, P. , Stoyanov, D. , Davison, A. , & Yang, G. Z. (2006). Simultaneous stereoscope localization and soft-tissue mapping for minimal invasive surgery. In Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2006 (pp. 347-354). Springer Berlin Heidelberg.



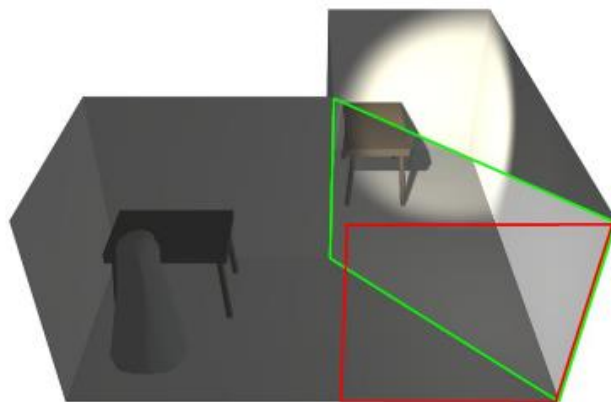


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



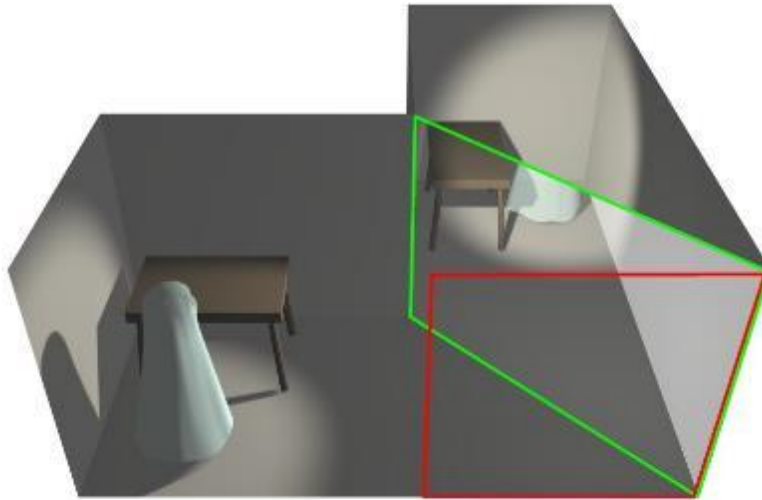
«Αυτό το θαυμαστό 'φάντασμα' αποτέλεσε την άνοιξη για τους δύο πατέρες, Χενρι Ντριξ μέλος της κοινότητας των Πολιτικών Μηχανικών και Τζον Πέπερ καθηγητή του Πολυτεχνικού Ινστιτούτου. Στον κύριο Ντριξ ανήκει η τιμή της εφεύρεσης του, ή όπως οι κλάδοι του Χέγκελ θα εξέφραζαν εξελίχθηκε πέρα από τα βάθη της δικής του συνειδήσεως ενώ ο καθηγητής Πέπερ έχει το πλεονέκτημα της σημαντικής βελτίωσης του, ένταξης του στην κοινωνία και ακόμα για τον εκπαιδευτικό του ρόλο».

Για να καταφέρει τεχνικά να υποστηριχτεί αυτή η μέθοδος απαιτείται μία σκηνή η οποία «ειδικά» τοποθετείται σε δυο χώρους, έναν στον οποίον το κοινό έχει οπτική πρόσβαση, η κυρίως σκηνή και έναν δεύτερο χώρο ο οποίος παραμένει κρυφός ο λεγόμενος blueroom (μπλε δωμάτιο). Μια πλάκα από γυαλί τοποθετείται τον κύριο χώρο της σκηνής υπό γωνία έτσι ώστε να αντικατοπτρίζεται το θέαμα από το μπλε δωμάτιο απευθείας στο κοινό. Ειδικότερα το γυαλί τοποθετείτε επάνω στην σκηνή υπό κλίση 45 μοιρών στον κατακόρυφο άξονα και με το μπλε δωμάτιο προς τη μία πλευρά της σκηνής. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην τοποθέτηση του γυαλιού επί της σκηνής ώστε να μην είναι ορατό στους θεατές κρύβοντας την χαμηλότερη πλευρά του γυαλιού κοντά στο πάτωμα και εξασφαλίζοντας πως το φως δεν αντικατοπτρίζετε. Όταν ο κυρίως χώρος φωτίζεται ενώ το μπλε δωμάτιο είναι σκοτεινό τότε η ανακλώμενη εικόνα δεν φαίνεται.



Εικόνα 15. To Pepper's Ghost Effect

Όταν ο φωτισμός στο μπλε δωμάτιο αυξάνεται, αντίστοιχα με τον φωτισμό του κυρίου ο οποίος εξασθενεί ώστε το αποτέλεσμα να γίνει πιο έντονο, ο αντικατοπτρισμός γίνεται ορατός και τα αντικείμενα στο μπλε δωμάτιο αρχίζουν να παρουσιάζονται στον αέρα.



Εικόνα 16. Το Pepper's Ghost Effect - Προβολή

Μια εναλλαγή χρησιμοποιεί δύο μπλε δωμάτια, το ένα πίσω από το γυαλί και ένα μπροστά το οποίο μπορεί να είναι ορατό η μη με την εναλλαγή του φωτός.

Το κρυμμένο δωμάτιο πρέπει να είναι το ταυτόσημο είδωλο της σκηνής έτσι ώστε να αντικατοπτρίζετε η εικόνα που ταιριάζει στο κύριο χώρο. Αυτή η προσέγγιση είναι χρήσιμη στο να εμφανίζει και να εξαφανίζει αντικείμενα. Αυτή η ψευδαίσθηση μπορεί να φανεί χρήσιμη στο να μορφοποιήσει το ανακλώμενο αντικείμενο η άτομο σε κάποιο άλλο και αντιστρόφως. Αυτή την τεχνική εφάρμοσαν ώστε να πετύχουν την αλλαγή της κοπέλας σε γορίλα στην ταινία του James Bond: «Diamonds are forever»<sup>15</sup>. Κάλιστα το κρυμμένο δωμάτιο θα μπορούσε να βαφτεί όλο σε μαύρο χρώμα με μόνο ανοιχτόχρωμα αντικείμενα στο εσωτερικό του. Στην περίπτωση αυτή όταν το φως πέσει πάνω στο δωμάτιο μόνο τα αντικείμενα ανοιχτού χρώματος θα αντικατοπτριστούν και θα προβληθούν στο ορατό δωμάτιο ως εικόνες ημιδιάφανων φαντασμάτων. Με αυτή την διαδικασία καταφέρνουμε τεχνικά να αιωρούμαι αντικείμενα στον χώρο. Στο «στοιχειωμένο» αρχοντικό στην Ντίσνειλαντ το γυαλί είναι κάθετο προς τον θεατή σε με την κανονική γωνιακή του θέση, αντανακλώντας σκηνικά κινούμενων σχεδίων πάνω και κάτω από τον θεατή που δημιουργούν την

15 Quevedo, R. , & Aguilera, J. M. (2010). Computer vision and stereoscopy for estimating firmness in the salmon (Salmon salar) fillets. Food and Bioprocess Technology, 3(4), 561-567.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



αίσθηση του τρισδιάστατου. Τα κινούμενα σχέδια εμφανίζονται και εξαφανίζονται όταν το φως που πέφτει επάνω τους αντίστοιχα ανοίγει ή κλείνει.

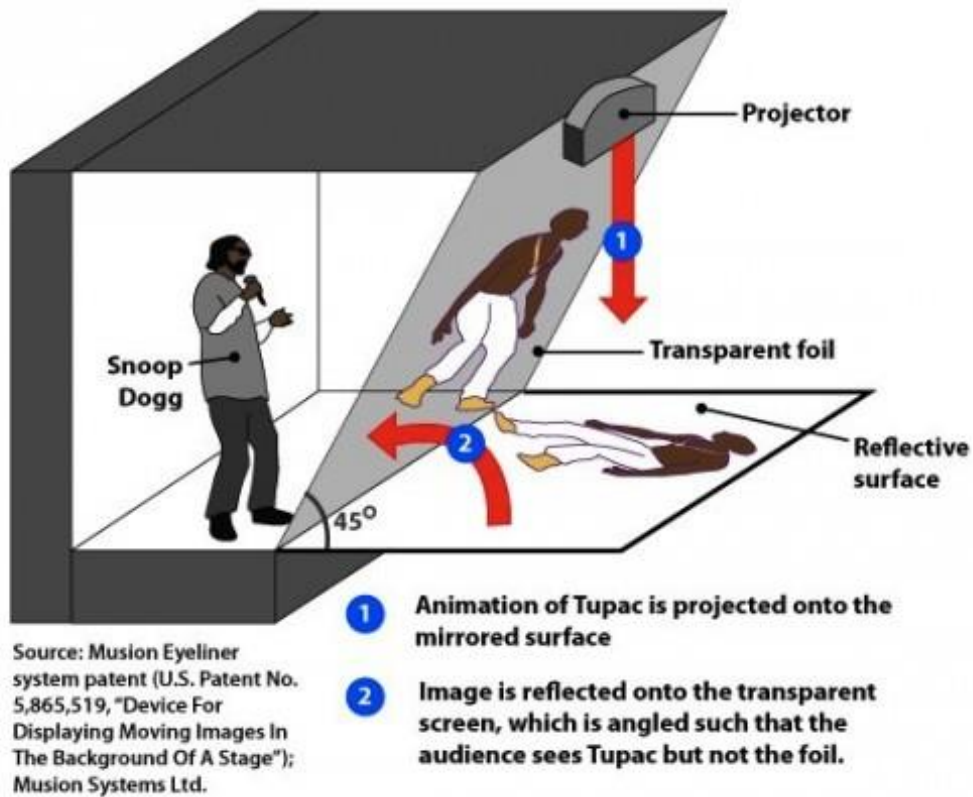
Στις μέρες μας η χρήση του συνεχίζει να υφίσταται και μάλιστα έχει βρει εφαρμογή σε ποικίλα μέσα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πολιτικός λόγος του Ναρέντρα Μόντι, υπουργό του Γκουτζαράτ, ο οποίος καταγράφηκε ως παγκόσμιο ρεκόρ Γκίνες για τις περισσότερες ταυτόχρονες προβολές του Πέπερ γκούουστ από τους RajKasuReddy και ManiShankar στην εκπομπή τους όπου έγινε ζωντανή αναμετάδοση της πενήντα πεντάλεπτης ομιλίας του υπουργού σε πενήντα τρεις τοποθεσίες στις 10 Δεκεμβρίου του 2010 κατά τη διάρκεια της εκλογικής συνέλευσης. Τον Απρίλιο του 2014 έσπασε το ήδη υπάρχον ρεκόρ του αφού εμφανίστηκε πάλι σε 88 περιοχές της Ινδίας.

Πολύ συχνά συναντάμε το εφέ αυτό σε θεματικά πάρκα και μουσεία. Όπως προαναφέραμε το στοιχειωμένο αρχοντικό της Ντίσνευλαντ είναι ένα από αυτά. Το Επιστημονικό Μουσείο του Λονδίνου στα μέσα του 1970 χρησιμοποίησε το εφέ. Πιο μοντέρνα παραδείγματα συναντάμε σε διάφορα μουσεία του Ενωμένου Βασιλείου και της Ευρώπης όπως και σε διάφορα «σόου» της τηλεόρασης. Ακόμα συναντάμε την τεχνική αυτή σε ζωντανά κονσέρτα και συναυλίες όπου οι καλλιτέχνες δεν βρίσκονται επάνω στην σκηνή όμως φαίνονται να είναι εκεί. Με πρωτεργάτη τα βραβεία «Grammy Awards» το 2006 να παρουσιάζουν την Μαντόνα επί σκηνής με τα εικονικά μέλη του συγκροτήματος Gorillaz. Αυτό το σύστημα αποτελείται από ένα προβολέα ή μια οθόνη LED, με ανάλυση 1280x1024 τουλάχιστον και φωτεινότητα τουλάχιστο 5000 λούμενς (lumens-μονάδα φωτισμού), ένα βίντεο υψηλής ευκρίνειας, μια τεντωμένη μεμβράνη μεταξύ του κοινού και του πεδίου δράσης επίσης ένα τρισδιάστατο σύνολο που να περικλείει τρεις πλευρές καθώς και φωτισμό ήχο και τον έλεγχο αυτών. Μετέπειτα το 2012 στο φεστιβάλ τέχνης και μουσικής Coachella παρουσιάζοντας τον θρύλο της Χιπ Χοπ μουσικής Τούπακ ο οποίος δεν βρισκόταν εν ζωή να τραγουδάει επί της σκηνής συντροφιά με τον αληθινό ράπερ Σνουπ Ντογκ.

Στις 18 Μαΐου 2014 κατά την διάρκεια των μουσικών βραβείων Billboard εμφανίστηκε η φιγούρα του αποθανόντος Μάικλ Τζάκσον μαζί με χορευτές όπου ολόκληρο το σκηνικό προβαλλόταν στην σκηνή για να παρουσιαστεί το τραγούδι Slavetotherhythm από τον μεταθανάτιο δίσκο του.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 17. Εφαρμογή του Pepper Ghost σε βίντεο



## 1.3. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΒΟΛΗ

Διάσταση ονομάζεται η απόσταση μεταξύ δυο οριακών σημείων και συνεκδοχικά η οποιαδήποτε ενάντια θέση. Η λέξη προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα "δίστημα" που σημαίνει τοποθετούμαι χωριστά, στέκομαι ενάντια, διαχωρίζομαι.

Στη γεωμετρία η διαστάσεις αφορούν τα μετρήσιμα μεγέθη του χώρου που καταλαμβάνει ένα γεωμετρικό σχήμα. Υπό αυτή την έννοια υπάρχει η διάσταση του μήκους, που είναι η απόσταση σημείου από σημείο, του πλάτους, που είναι κάθετη απόσταση στο μήκος και δίδεται έτσι η έννοια του επιπέδου καθώς και του ύψους, που είναι η κάθετη απόσταση σε επίπεδο και προσδιορίζεται ως τρίτη διάσταση των στερεών και του χώρου. Εξ αυτών θεωρείται ότι γενικά ο χώρος έχει τρεις διαστάσεις: το μήκος, το πλάτος και το ύψος. Συνεπώς όταν σε έναν τρισδιάστατο χώρο προβάλλουμε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο προκύπτει μια τρισδιάστατη προβολή.

Η ολογραφία αποτελεί μια τεχνική τρισδιάστατης προβολής στην οποία θα αναφερθούμε ευθείς αμέσως.

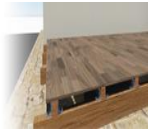
ΟΛΟΓΡΑΦΙΑ (Όλο + Γραφή) η ετυμολογία της λέξης είναι ελληνικής καταγωγής και έχει υιοθετηθεί και από την ξένη ορολογία. Επί της ουσίας ολογραφία είναι η πιο εξελιγμένη μέθοδος φωτογραφίας η οποία ξεπερνά πλέον τα στενά όρια της δισδιάστατης απεικόνισης και αποκτά και τις τρεις διαστάσεις του υλικού χώρου. Η τεχνική της ολογραφίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οπτικού τύπου αποθήκευση, ανάκλαση και επεξεργασία πληροφοριών. Ένα ολόγραμμα διατηρεί την μορφή του όπως και αν τοποθετηθεί, μπορεί να είναι ομοίως ορατό ακόμα και με το ένα μάτι τέλος μπορεί να έχει τη δυνατότητα πολλών χρωμάτων. Η τέχνη της ολογραφίας εφευρέθηκε από τον φυσικό, Ουγγρικής καταγωγής, Denis Gabor (Ντένις Γκέμπορ). Για την εφεύρεσή του αυτή ο ίδιος τιμήθηκε με Νόμπελ φυσικής το 1971 και όπως ανέφερε η ανακάλυψη έγινε κατά την διάρκεια της έρευνας για την βελτίωση των μικροσκοπίων ηλεκτρονίων. Τα πρώτα διαγράμματα που αποθήκευαν τρισδιάστατα αντικείμενα δημιουργήθηκαν από μελετητές στις Η. Π. Α και στην Σοβιετική Ένωση.

Σημαντικοί σταθμοί στην ιστορία των ολογραμμάτων αποτέλεσαν οι εξής περιπτώσεις:





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



1948-9 Ο Denis Garbor δημοσιεύει τα δημιουργικά έγγραφα για την αναδημιουργία κυματομορφής και έτσι γεννιέται η ολογραφία, παρόλα αυτά το λέιζερ δεν είναι ακόμα διαθέσιμο<sup>16</sup>.

1960 Ο Theodore Maiman δημιουργεί το πρώτο ορατό λέιζερ κόκκινου φωτός<sup>17</sup>.

1962 Οι Leith & Upatnieks αναπτύσσουν την εκτός άξονα ολογραφία μετάδοσης βασισμένη στην δευτερεύουσα –ανίχνευση του ραντάρ. Την ίδια χρονιά ο Denisuk παράγει το πρώτο ολόγραμμα ορατό στο λευκό φως<sup>18</sup>.

1967 Αναπτύσσεται η διαδικασία DCG για την ολογραφία<sup>19</sup>.

1967 Ο Larry Siebert κάνει το πρώτο ολόγραμμα ενός προσώπου<sup>20</sup>.

1971 Ανοίγει σχολή ολογραφίας στο Σαν Φρανσίσκο, την ίδια χρονιά ο Dennis Garbor τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ για την ολογραφία<sup>21</sup>.

1988 Η ταινία Photopolymer αναπτύσσεται από Polaroid. Επιτρέπει στα πολύ φωτεινά ολογράμματα αντανάκλασης να είναι μαζικά παραγόμενα<sup>22</sup>.

---

16 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.

17 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.

18 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.

19 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.

20 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.

21 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.

22 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Η σύντομη ιστορική αναδρομή έλαβε τέλος και έρχονται να την διαδεχτούν τα στοιχεία μεθόδων δημιουργίας ολογραμματικής προβολής.

Υπάρχουν αρκετοί τύποι ολογραμμάτων όμως σε όλα τους διατηρείται η αρχή απεικόνισης των φωτεινών και σκιερών σημείων του αντικειμένου και η αρχή αποτύπωσης τους πάνω στην πλάκα. Τα πρώτα από αυτά είναι τα «Transmission Holograms» (Ολογράμματα Μετάδοσης) ή αλλιώς «Rainbow Transmission» (ουράνιο τόξο)<sup>23</sup>. Ο πρώτος τύπος ολογράμματος μπορεί να γίνει ορατός μόνο αν φωτιστεί με ακτίνα λέιζερ ενώ ο δεύτερος, ως εξέλιξη του πρώτου, μπορεί να γίνει ορατός ακόμα και στο λευκό φως. Ουσιαστικά αποτυπώνεται το εξωτερικό ανάγλυφο του αντικειμένου σε μια λεπτή πλαστική επιφάνεια μαζί με μια ιριδίζουσα επικάλυψη που προέρχεται από το φως το οποίο κατευθύνεται από πίσω από το αντικείμενο και προς την πλάκα

---

23 Mendiburu, B. , Pupulin, Y. , & Schklair, S. (2011). 3d TV and 3d cinema: tools and processes for creative stereoscopy. Taylor & Francis.



Εικόνα 18. Ολόγραμμα με την μέθοδο Ουράνιο Τόξο

Ακόμα μία μέθοδος δημιουργίας ολογράμματος είναι η επονομαζόμενη “Denisyuk hologram” η οποία είναι η πραγματική μέθοδος με λευκό φως το οποίο κατευθύνεται από την ίδια πλευρά του ολογράμματος όπως το βλέπει και ο θεατής. Η μέθοδος αυτή πήρε το όνομα της χάρη στον Ρωσικής καταγωγής φυσικό επιστήμονα Yuri Nikolaevich Denisyuk (Γιούρι Νικολάεβιτς Ντενισγιουκ) ο οποίος ήταν μέλος της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών από το 1970 έως το 1992 επίσης υπήρξε διδάκτορας των φυσικών και μαθηματικών επιστημών από το 1964 έως το 1971 καθώς και καθηγητής το 1980.

Αναλυτικότερα το 1992 ο Διδάκτωρ ανακάλυψε την μέθοδο του να καταγράφει εικόνες σε τρισδιάστατο περιβάλλον επιτρέποντας την αποθήκευση πληροφοριών σε φασματικό πλάτος και στη φασματική δομή του κύματος που προέρχεται από το αντικείμενο. Πλέον τα ανακλώμενα ολογράμματα μπορούν να αναπαραχθούν κάτω υπό την παραδοσιακή λευκή δέσμη φωτός. Για αυτό του το επιστημονικό επίτευγμα ο ίδιος βραβεύτηκε με ποικίλα βραβεία μεταξύ των οποίων είναι και το “Lenin Prize” (Λένιν Πράιζ).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΩΝ

### 2. 1. ΠΡΟΟΠΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ

Προοπτική είναι η τέχνη της προβολής μιας τρισδιάστατης εικόνας και της δημιουργίας της αίσθησης του βάθους σε μια επίπεδη επιφάνεια. Έχουμε τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε πολλά προοπτικά σχέδια του ίδιου αντικειμένου, όπως ακριβώς μπορούμε να το φωτογραφίσουμε από διαφορετικές θέσεις

Όπως στην περίπτωση της φωτογραφίας η θέση και η οπτική γωνία του φακού της μηχανής ως προς το αντικείμενο προσδιορίζει το αποτέλεσμα, έτσι ακριβώς και στο προοπτικό σχέδιο η μορφή (της εικόνας) καθορίζεται από τη θέση και την οπτική γωνία ενός "παρατηρητή". Το προοπτικό σχέδιο ενός αντικειμένου είναι από την άποψη της Γεωμετρίας μια κεντρική προβολή του σε ένα επίπεδο.

#### 2. 1. 1. Η προοπτική σμίκρυνση

Κάθε μέγεθος στο προοπτικό σχέδιο παρουσιάζεται μικρότερο όσο απομακρύνεται, ενώ μεγαλώνει όσο πλησιέστερα βρίσκεται στον παρατηρητή.

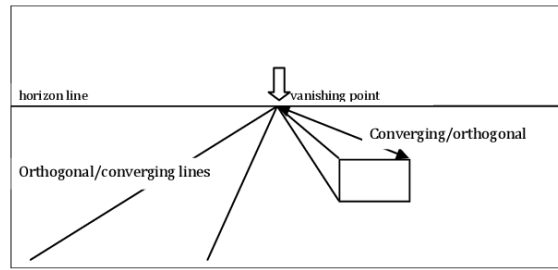


Εικόνα 19. Η προοπτική σμίκρυνση



## 2. 1. 2. Η σύγκλιση των παράλληλων γραμμών

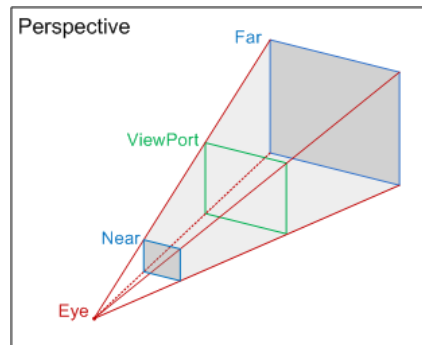
Όλες οι γραμμές οι οποίες στο χώρο είναι παράλληλες στο προοπτικό σχέδιο συγκλίνουν σε ένα κάθε φορά σημείο, το οποίο ονομάζεται σημείο φυγής αυτών των παράλληλων γραμμών. Από αυτές παράλληλες παραμένουν μόνο οι γραμμές οι οποίες βρίσκονται σε μετωπικά επίπεδα, δηλαδή σε επίπεδα παράλληλα προς τον πίνακα όπως, π. χ. , οι κατακόρυφες.



Εικόνα 20. Σύγκλιση παράλληλων γραμμών

## 2. 1. 3. Η προοπτική βράχυνση

Σε ένα προοπτικό σχέδιο είναι δυνατόν ορισμένα σχήματα (ή ευθείες) να προβάλλονται με ελάχιστο μέγεθος ή ακόμη και να "εκφυλίζονται" σε γραμμές (ή σε σημεία) ανάλογα με τη θέση τους σε σχέση με τον παρατηρητή (το οπτικό κέντρο)<sup>24</sup>



Εικόνα 21. Προοπτική βράχυνση

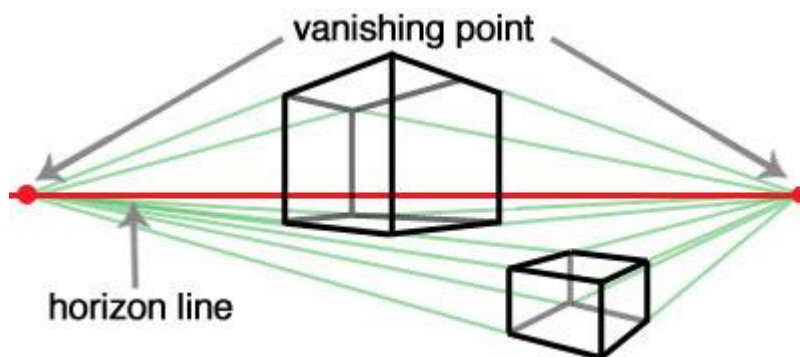
24 Qi, L. , Wang, Q. , Luo, J. , Wang, A. , & Liang, D. (2012). Autostereoscopic 3D projection display based on two lenticular sheets. Chinese Optics Letters, 10(1), 011101.





## 2. 1. 4. Γραμμική προοπτική

Η γραμμική προοπτική είναι μια γεωμετρική τεχνική, η οποία χρησιμοποιεί ευθείες γραμμές που δείχνουν το πώς φαίνονται τα αντικείμενα με βάση την απόστασή τους από το κοντινότερο προς το θεατή πλάνο του πίνακα. Όλες οι ευθείες που είναι κάθετες στο επίπεδο της εικόνας συγκλίνουν σ' ένα μοναδικό «σημείο φυγής». Ο Φιλίππο Μπρουνελέσκι εισήγαγε μια τεχνική για την απεικόνιση αντικειμένων καθώς αυτά «ξεμακραίνουν» προς το σημείο φυγής, και ο Λεόνε Μπατίστα Αλμπέρτι, στο «Ντε Πικτούρα» (1435), διαμόρφωσε μια ακριβή μέθοδο προοπτικής κατασκευής, που γρήγορα υιοθετήθηκε από τους Φλωρεντινούς καλλιτέχνες του 15ου αιώνα. Αν και η γραμμική προοπτική ταιριάζει θαυμάσια στην απεικόνιση αρχιτεκτονημάτων, είναι λιγότερο εφαρμόσιμη στην τοπιογραφία, εκτός αν η σύνθεση γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτή να προσαρμόζεται, όπως στο «Κυνήγι» (Ασμολεανό Μουσείο, Οξφόρδη), ένα ύστερο έργο του Πάολο Ουτσέλο (1397-1475).<sup>25</sup>



Εικόνα 22. Γραμμική προοπτική

## 2. 1. 5. Αιθέρια προοπτική

Ο όρος αιθέρια προοπτική επινοήθηκε από το Λεονάρντο ντα Βίντσι και περιγράφει την υποδήλωση της απόστασης με τη βαθμιαία διαμόρφωση του χρωματικού τόνου. Τα αντικείμενα που βρίσκονται στο βάθος, «μακριά» από το θεατή, ζωγραφίζονται με πιο ανοιχτά χρώματα, όπως ακριβώς

<sup>25</sup> Käding, S. , & Melzer, A. (2006). Three-dimensional stereoscopy of Yukawa (Coulomb) balls in dusty plasmas. *Physics of Plasmas* (1994-present), 13(9), 090701.



συμβαίνει όταν κάποιος παρατηρεί ένα μακρινό σημείο του ορίζοντα σε μια μέρα με αρκετή υγρασία στην ατμόσφαιρα.<sup>26</sup>



Εικόνα 23. Αιθέρια προοπτική

## 2. 2. ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ

Η στερεοσκοπία είναι μια τεχνική που δημιουργεί την ψευδαίσθηση του βάθους σε μια εικόνα. Στηρίζεται στο ότι η τρισδιάστατη φυσική όραση πραγματοποιείται διότι κάθε μάτι βλέπει το ίδιο αντικείμενο από σχετικά μικρή, αλλά διαφορετική οπτική γωνία, με αποτέλεσμα την ίδια στιγμή ο εγκέφαλος να παραλαμβάνει δύο ελαφρά διαφοροποιημένες εικόνες του ίδιου αντικειμένου. Η διαφοροποίηση αυτή ονομάζεται παράλλαξη. Ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί αυτές τις οπτικές πληροφορίες από τις διάφορες παραλλάξεις, για να προσδιορίσει τη σχετική θέση των αντικειμένων μεταξύ τους και τις αποστάσεις των αντικειμένων από τον παρατηρητή. Είναι πολύ μικρό το ποσοστό των ανθρώπων -μόνο 8%- που δεν μπορούν να δουν στερεοσκοπικά<sup>27</sup>.

---

26 Lee, S. , & Kim, G. J. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.

27 Ogino, S. (2004). U. S. Patent No. 6,762,794. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



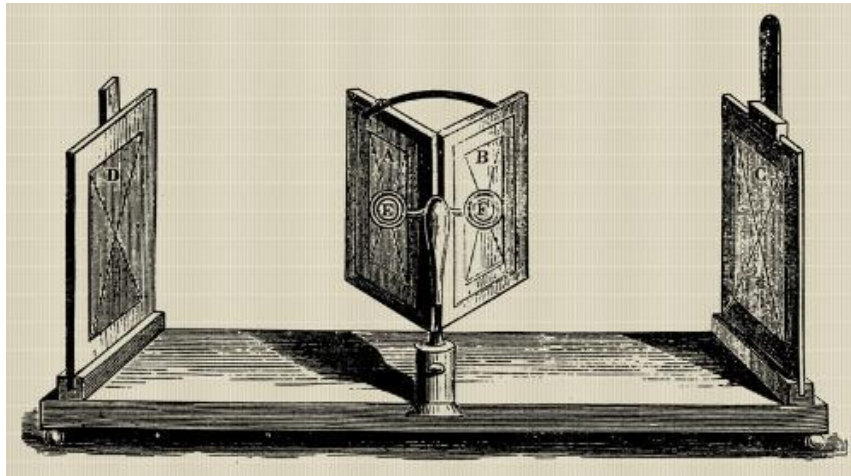
Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές της στερεοσκοπίας. Δυο ξεχωριστές εικόνες εκτυπώνονται γειτονικά ή μία δίπλα στην άλλη. Η προβολή τους χωρίς στερεοσκόπιο αναγκάζει το βλέμμα του θεατή να επικεντρωθεί σε ένα νοητό σταυρό στο κέντρο των δύο εικόνων και με αυτόν τον τρόπο οι δύο εικόνες παρουσιάζονται ως τρεις στα μάτια του θεατή. Έπειτα καθώς κάθε μάτι αντιλαμβάνεται διαφορετική εικόνα, η επίδραση του βάθους επιτυγχάνεται στην κεντρική εικόνα των τριών.

Ο πρώτος που ανέπτυξε τη θεωρία της στερεοσκοπικής όρασης ήταν ο Sir Charles Wheatstone—Σερ Τσαρλς Γουίτστον - (1802 – 1875), Άγγλος φυσικός που έζησε στην Βικτωριανή εποχή, το έτος 1838. Ο Wheatstone παρουσίασε στη Royal Scottish Academy of Arts μια συσκευή, για την οποία είπε: «Προτείνω να ονομαστεί στερεοσκόπιο, για να δηλώσει την ικανότητά του να παρουσιάζει συμπαγή σχήματα»<sup>28</sup>. Η συσκευή αυτή αποτελούταν από ένα ζευγάρι καθρέφτες υπό γωνία σαράντα πέντε μοιρών τοποθετημένος έκαστος στα μάτια του θεατή. Κάθε καθρέφτης αντικατόπτριζε και μια εικόνα. Παρουσίασε με αυτό τον τρόπο την σημαντικότητα της διοπτρικής αντίληψης του βάθους, αποδεικνύοντας ότι όταν δύο εικόνες του ίδιου αντικειμένου προσομοιώνονται στη θέα του αριστερού και του δεξιού ματιού τότε κάθε μάτι βλέπει μόνο τη εικόνα που έχει σχεδιαστεί για αυτό, όμως ο εγκέφαλος στην ίδια θέση συγχωνεύει αυτές τις δύο εικόνες και τις αποδέχεται ως μια θέα ενός συμπαγή τρισδιάστατου αντικειμένου. Το στερεοσκόπιο του Wheatstone έκανε την εμφάνιση του ένα χρόνο πρώτου γίνει διαθέσιμη πρακτικά η πρώτη φωτογραφική διαδικασία. Αυτός ο τύπος στερεοσκοπίου είχε το πλεονέκτημα πως οι δυο του εικόνες θα μπορούσαν να είναι οποιουδήποτε μεγέθους ήταν επιθυμητό<sup>29</sup>.

---

28 Hsu, F. H. (2008). U. S. Patent No. 7,425,070. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.

29 Inhester, B. (2006). Stereoscopy basics for the STEREO mission. arXiv preprint astro-ph/0612649.



Εικόνα 24. Το στερεοσκόπιο του Winston, Πηγή: <https://en.rem-tv.net/publ/4-1-0-43>

Αντίθετα με την κοινή γνώμη, ο David Brewster (Ντέιβιντ Μπρούστερ) δεν εφηύρε το στερεοσκόπιο ως και ο ίδιος έκανε σαφές. Ακόμα επιβεβαιώνει την εφεύρεση της συσκευής του στερεοσκοπίο από τον κυρίου Έλιοτ (mr. Elliot) αντίπαλο του Wheatstone ο οποίος ήταν δάσκαλος μαθηματικών από το Εδιμβούργο και σύμφωνα με τον Brewster συνέλαβε την ιδέα νωρίτερα του 1823 και το 1839 κατασκεύασε την συσκευή σε απλή μορφή χωρίς φακούς η κάτοπτρα η οποία αποτελούντο από Βρετανία την πρώτη παγκοσμίως έκθεση που έλαβε χώρα στο Λονδίνο με θέμα τον πολιτισμό και την βιομηχανία και εντυπωσίασε φανερά την Βασίλισσα Βικτωρία. ένα ξύλινο κουτί μήκους 18 ιντσών (περίπου 46εκ. ) πλάτους 7 ιντσών (περίπου 18 εκ. ) και ύψους 4 ιντσών (περίπου 10 εκ. ). Η συσκευή αυτή χρησιμοποιήθηκε για να προβάλλει διαφάνειες τοπίου πριν η φωτογραφία εφευρεθεί<sup>30</sup>. Η προσωπική συμβολή του Μπρούστερ ήταν η πρόταση χρήσης φακών για την συνένωση ανόμοιων εικόνων το έτος 1849 με αποτέλεσμα το φακοειδές στερεοσκόπιο να μπορεί εύλογα να θεωρηθεί δική του εφεύρεση. Αυτή του η εφεύρεση επέτρεψε την μείωση του μεγέθους και κατ' επέκταση την δημιουργία φορητών συσκευών διαδεδομένες ως στερεοσκόπια Μπρούστερ. Είχε την τιμή να παρουσιαστεί ανάμεσα στα υπόλοιπα εκθέματα της έκθεσης του 1851 στην Μεγάλη Βρετανία.

30 Banks, M. S. , Read, J. C. , Allison, R. S. , & Watt, S. J. (2012). Stereoscopia and the human visual system. Motion Imaging Journal, SMPTE, 121(4), 24-43.



Εικόνα 25. Το στερεοσκόπιο του Μπρούστερ

Για τον Μπρούστερ ήταν αδύνατο να βρει έναν οργανοποιό ικανό να δημιουργήσει το σχέδιο για το στερεοσκόπιο του. Το μετέφερε λοιπόν στη Γαλλία όπου δέχτηκε βελτίωση από τον Τζουλις Ντούμποσκ (Jules Duboscq) ο οποίος εφάρμοζε στερεοσκοπική δαγερτυπία<sup>31</sup> καθώς ήταν και ο δημιουργός του διάσημου πίνακα της Βασίλισσας Βικτωρίας ο οποίος εκτίθετο στην Σπουδαία Έκθεση του Λονδίνου το 1851. Σχεδόν εν μια νυκτί η βιομηχανία ανέπτυξε την τρισδιάστατη προβολή και παρήχθησαν 250. 000 στερεοσκόπια<sup>32</sup>

Μια δεκαετία μετά το 1861 ο Όλιβερ Γουέντελ Χόλμς (Oliver Wendell Holmes) δημιούργησε και σκοπίμως δεν πατένταρε μια νέα βελτιωμένη, απλοποιημένη στη χρήση, φορητή καθώς και πιο οικονομική ως προς τον θεατή στερεοσκοπική συσκευή με την μορφή των σημερινών διόπτρων. Αναλυτικότερα αποτελούνται από δυο πρισματικούς φακούς τους οποίους περιέθαλπε μια ξύλινη κατασκευή ώστε να σταθεροποιείτε η κάρτα. Αυτός ο τύπος στερεοσκοπίου παρέμεινε στην παραγωγή για έναν αιώνα και ακόμα εξακολουθούν κάποιες εταιρίες να παράγουν έναν περιορισμένο αριθμό αντίτυπων. Αν και είναι Αμερικάνικης προέλευσης συνηθίζουν να το αποκαλούν Μεξικάνικο στερεοσκόπιο.

---

31 δαγερτυπία : Δαγερτυπία η daguerreotypie από το όνομα του εφευρέτη Daguerre – είναι η πρώτη μέθοδος φωτογράφισης, που επινοήθηκε από το Γάλλο Daguerre και παρέχει απευθείας θετική εικόνα, που δεν μπορούμε όμως να πάρουμε αντίγραφο της. Η φωτογραφία αποτυπώνεται πάνω σε μια λεία μεταλλική πλάκα.

32 Σχεδόν εν μια νυκτί η βιομηχανία ανέπτυξε την τρισδιάστατη προβολή και παρήχθησαν 250. 000 στερεοσκόπια





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 26. Στερεοσκόπιο του Holmes

Στα μέσα του 20ου αιώνα το στερεοσκόπιο ViewMaster κατασκευασμένο από δυο περιστρεφόμενους χαρτονένιους δίσκους οι οποίοι περιείχαν ζεύγη εικόνων. Το viewmaster αποτέλεσε σταθμό στην ιστορία ως τον πρώτο εικονικό τουρισμό και έπειτα ως παιχνίδι. Το 2010 η Hasbro (Χάσμπρο), εταιρία παραγωγής παιχνιδιών άρχισε να παράγει ένα στερεοσκόπιο σχεδιασμένο να τοποθετείτε εμπρός του μια συσκευή iPhone (άι φον) και ονομάστηκε My3D(Τοδικό μου τρισδιάστατο).



Εικόνα 27. Το My 3D

Με αφορμή την δημιουργία αυτής της συσκευής η εταιρία Googleεπιχείρησε και τα κατάφερε να δημιουργήσει μια εφαρμογή η οποία ονομάστηκε χαρτόνι της Γκουγκλ(GoogleCardboard) αντικαθιστώντας με ψηφιακά μέσα πλέον την στέρεο κάρτες προς τοποθέτηση της συσκευής. Η υποκείμενη τεχνολογία είναι αμετάβλητη σε σύγκριση με προηγούμενα στερεοσκόπια. Παρά την τεχνολογική



άνθιση πάμπολες καλές τέχνες, φωτογράφοι και γραφίστες συνεχίζουν να παράγουν με τον κλασσικό τρόπο έργα προς «γνήσια» στερεοσκοπική προβολή.

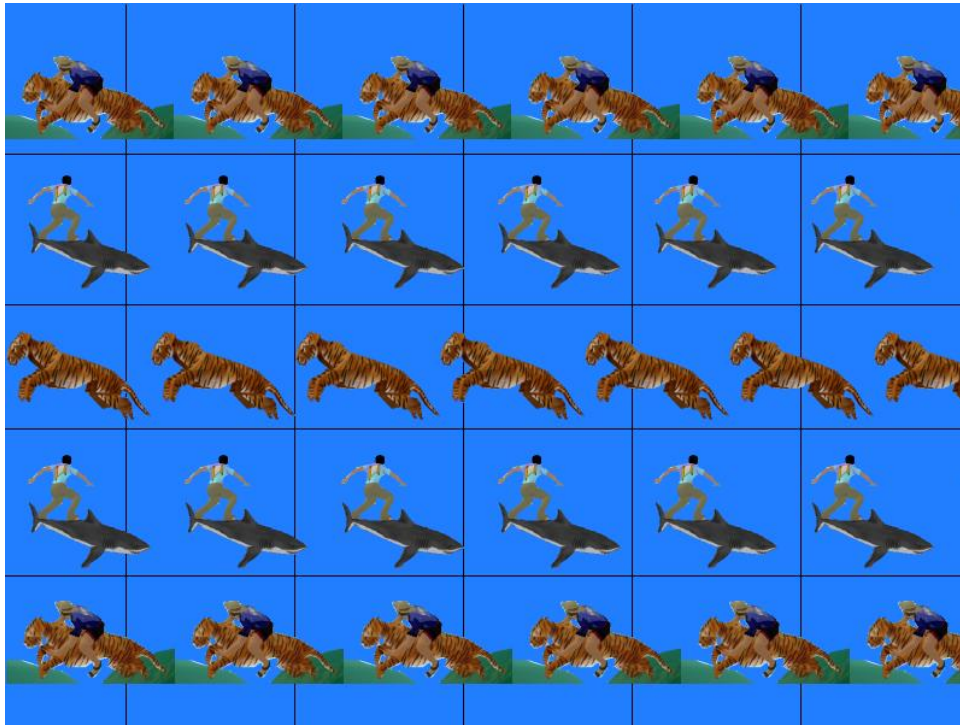
## 2. 3. ΑΥΤΟΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΑ

Ένα αυτοστερεόγραμμα είναι ένα στερεόγραμμα<sup>33</sup> μιας εικόνας (single-image stereogram – SIS), το οποίο είναι σχεδιασμένο να «ξεγελά» τον ανθρώπινο εγκέφαλο έτσι ώστε να αντιλαμβάνεται μία τρισδιάστατη εικόνα (3D) σε μία δισδιάστατη απεικόνιση. Για να γίνουν αντιληπτά τα τρισδιάστατα σχήματα, ο εγκέφαλος πρέπει να παρακάμψει την κανονικά αυτόματη λειτουργία της εστίασης και της ταυτόχρονης κίνησης και των δύο οφθαλμών.

Ο πιο απλός τύπος αυτοστερεογράμματος αποτελείται από οριζοντίως επαναλαμβανόμενους σχηματισμούς και είναι γνωστό ως στερεόγραμμα τοιχοστρωσίας (wallpaper stereogram).

---

<sup>33</sup> Τα στερεογράμματα είναι μια μορφή τέχνης. Είναι εικόνες που δημιουργήθηκαν και απεικονίζουν κάτι που τις περισσότερες φορές δεν είναι κατανοητό από τον ανθρώπινο νου, κάτι μη συγκεκριμένο. Αν όμως παρατηρήσει κανείς τις εικόνες αυτές με μια συγκεκριμένη μέθοδο, τότε θα αποκαλυφθεί μια τρισδιάστατη, συγκεκριμένη, ολογραμμική εικόνα.



Εικόνα 28. Παράδειγμα αυτοστερεογράμματος τοιχοστρωσίας

Όταν κοιταχτούν με τη σωστή απόκλιση μεταξύ των δύο οφθαλμών, τα επαναλαμβανόμενα σχήματα εμφανίζονται σαν να αιωρούνται πίσω από το υπόβαθρο. Επίσης υπάρχουν τα αυτοστερεογράμματα τυχαίας κουκκίδας. Σε αυτόν τον τύπο αυτοστερεογραμμάτων, κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας είναι υπολογισμένο από ένα πρότυπο ταινιών και έναν χάρτη βάθους. Συνήθως μία κρυμμένη τρισδιάστατη εικόνα εμφανίζεται όταν κάποιος το βλέπει με την κατάλληλη τεχνική.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους κάποιος μπορεί να δει ένα στερεόγραμμα και οι αγγλικές του ονομασίες έχουν ληφθεί από αγγλικά συνώνυμα μορφών τουστραβισμού: wall-eyed (απόκλιση των οφθαλμών από τη μύτη) και cross-eyed (σύγκλιση των οφθαλμών προς τη μύτη). Τα περισσότερα αυτοστερεογράμματα είναι σχεδιασμένα ώστε να γίνονται ορατά μόνο με τον πρώτο τρόπο. Σύμφωνα με αυτόν, προϋποτίθεται η προσαρμογή των ματιών σε μια συγκλίνουσα γωνία, ενώ σύμφωνα με τον δεύτερο τρόπο τα μάτια πρέπει να προσαρμοστούν σε μια αποκλίνουσα γωνία.



## 2. 3. 1. Ιστορικά στοιχεία στερεογραφίας τοιχοστρωσίας

Το 1838, ο Βρετανός επιστήμονας, Τσαρλς Γουήτστοουν εξέδωσε μία ερμηνεία της διόφθαλμης όρασης που σχετιζόταν με την αντίληψη του βάθους από τους ανθρώπους. Στην εργασία του αυτή, ο Γουήτστοουν έφτιαξε στερεοσκοπικές εικόνες και δημιούργησε ένα στερεοσκόπιο βασισμένο σε έναν συνδυασμό καθρεφτών, ώστε να μπορεί κάποιος να δει τρισδιάστατες εικόνες από δισδιάστατα σχήματα.

Μεταξύ του 1849 και του 1850, ο Ντέιβιντ Μπρούστερ, Σκώτος επιστήμονας, βελτίωσε το στερεοσκόπιο του Γουήτστοουν χρησιμοποιώντας φακούς αντί για καθρέφτες, μειώνοντας έτσι το μέγεθος της συσκευής. Ο Μπρούστερ παρατήρησε ότι το επίμονο κοίταγμα επαναλαμβανόμενων σχεδίων σε ταπετσαρίες, μπορούσε να μπερδέψει το μάτι, το οποίο συνδύαζε ζεύγη που ταίριαζαν μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι την ψευδή αντίληψη ενός εικονικού επιπέδου πίσω από τον τοίχο. Αυτή είναι και η βάση των στερεογραμμάτων τοιχοστρωσίας (τα οποία είναι γνωστά και ως στερεογράμματα μιας εικόνας).

Το 1959, ο ΒέλαJulesz, ένας επιστήμονας της όρασης, ψυχολόγος και υπότροφος του Ιδρύματος ΜακΆρθουρ, ανακάλυψε το στερεόγραμμα τυχαίας κουκκίδας καθώς εργαζόταν στα εργαστήρια Μπελ, πάνω στην αναγνώριση καμουφλαρισμένων αντικειμένων από αεροφωτογραφίες που τραβήχτηκαν από κατασκοπευτικά αεροπλάνα. Εκείνη την περίοδο, οι επιστήμονες της όρασης, πίστευαν ακόμη πως η αντίληψη του βάθους συνέβαινε στο ίδιο το μάτι, ενώ σήμερα είναι γνωστό πως είναι μια πολύπλοκη νευρολογική διεργασία. Ο Julesz χρησιμοποίησε έναν υπολογιστή για να δημιουργήσει στερεοσκοπικά ζεύγη εικόνων τυχαίας κουκκίδας τα οποία όταν κοιτάζονταν υπό στερεοσκοπίου, προκαλούσαν τον εγκέφαλο να απεικονίσει τρισδιάστατα σχήματα. Αυτό απέδειξε ότι η αντίληψη βάθους είναι νευρολογική διεργασία.

Το 1979, ο Κρίστοφερ Τάιλερ του Ινστιτούτου Σμιθ-Κέτλγουελ (Smith-KettlewellInstitute), μαθητής του Julesz και οπτικός ψυχοφυσικός συνδύασε τις θεωρίες των στερεογραμμάτων μιας εικόνας (τοιχοστρωσίας) και των στερεογραμμάτων τυχαίας κουκκίδας και δημιούργησε το πρώτο αυτοστερεόγραμμα τυχαίας κουκκίδας (επίσης γνωστό ως μιας εικόνας, τυχαίας κουκκίδας στερεόγραμμα) το οποίο επέτρεπε στον εγκέφαλο να αντιληφθεί μία τρισδιάστατη εικόνα από δισδιάστατη απεικόνιση, χωρίς να χρειάζεται κάποιο οπτικό βοήθημα.



## 2. 3. 2. Στοιχεία Λειτουργίας

### Απλής τοιχοστρωσίας

Η στερεοσκοπία ή στερεοσκοπική όραση είναι η οπτική ανάμιξη δύο πανομοιότυπων αλλά όχι ίδιων εικόνων σε μία, με αποτέλεσμα την οπτική αντίληψη της στερεότητας και του βάθους. Στον ανθρώπινο εγκέφαλο, η στερεοσκοπία προκύπτει από ένα πολύπλοκο σύνολο μηχανισμών που σχηματίζουν μία τρισδιάστατη αντίληψη μέσω της συσχέτισης κάθε σημείου (ή συνόλου σημείων) στο ένα μάτι κάποιου, με ένα αντίστοιχο σημείο (ή σύνολο σημείων) στο άλλο μάτι. Έτσι λοιπόν, προσδιορίζονται οι θέσεις των σημείων στον ανέκφραστο οπτικά, άξονα z (βάθους).

Όταν ο εγκέφαλος αντιμετωπίζει μια εικόνα ενός επαναλαμβανόμενου σχεδίου, όπως μιας τοιχοστρωσίας (ταπετσαρίας), αντιμετωπίζει δυσκολίες ως προς την ακριβή θέση υπό την οποία το κάθε μάτι θα προσαρμόζεται στην εικόνα. Κοιτώντας ένα οριζοντίως επαναλαμβανόμενο σχέδιο, αλλά συγκλίνοντας τα δύο μάτια σε ένα νοητό σημείο πίσω από το σχέδιο, είναι πιθανό να "ξεγελάσουμε" τον εγκέφαλο και έτσι να συνδυάσει ένα στοιχείο όπως αυτό φαίνεται από το αριστερό μάτι με ένα άλλο (παρόμοιο οπτικά), δίπλα από το πρώτο, όπως φαίνεται από το δεύτερο μάτι. Αυτό δίνει την ψευδαίσθηση ενός επιπέδου που περιλαμβάνει το ίδιο σχέδιο αλλά φαίνεται να βρίσκεται πίσω από τον πραγματικό τοίχο. Η απόσταση στην οποία το επίπεδο φαίνεται πίσω από τον τοίχο εξαρτάται μόνο από τον χώρο μεταξύ των ίδιων στοιχείων.

Τα αυτοστερεογράμματα χρησιμοποιούν αυτήν την εξάρτηση του βάθους με την απόσταση παρομοίων σχεδίων, ώστε να δημιουργούν τρισδιάστατες εικόνες. Αν πάνω από κάποια περιοχή της εικόνας το σχέδιο επαναλαμβάνεται ανά μικρότερες αποστάσεις, η περιοχή αυτή θα εμφανιστεί πιο κοντά από το επίπεδο του υποβάθρου. Αν η απόσταση των επαναλήψεων είναι μεγαλύτερη σε κάποια περιοχή, τότε αυτή η περιοχή θα εμφανίζεται πιο μακριά (σαν τρύπα στο επίπεδο)

Το αυτοστερεόγραμμα αυτό εμφανίζει σχέδια σε τρία διαφορετικά επίπεδα επαναλαμβάνοντας τα σχέδια με διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους.

Ο άνθρωποι που δεν μπόρεσαν ποτέ να δουν τις τρισδιάστατες εικόνες που κρύβονται πίσω από ένα αυτοστερεόγραμμα θεωρούν δύσκολη την κατανόηση προτάσεων όπως: "η τρισδιάστατη εικόνα θα εμφανιστεί από το υπόβαθρο αν την κοιτάξετε για αρκετή ώρα" ή "η τρισδιάστατη εικόνα θα





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



αναδυθεί από το υπόβαθρο". Επομένως θεωρείται ότι θα βοηθούσε κάποια απεικόνιση του πως οι τρισδιάστατες εικόνες "αναδύονται" από το υπόβαθρο από την οπτική γωνία ενός ανεξάρτητου παρατηρητή. Αν τα εικονικά τρισδιάστατα αντικείμενα ενός στερεογράμματος, που επανασυντίθενται στον εγκέφαλο κάποιου παρατηρητή, ήταν αληθινά αντικείμενα, ένας ανεξάρτητος θεατής που θα παρατηρούσε τη σκηνή από δίπλα θα έβλεπε τα αντικείμενα αυτά να αιωρούνται πάνω από την εικόνα του υποβάθρου.

Τα τρισδιάστατα εφέ στο αυτοστερεόγραμμα του παραδείγματος δημιουργούνται από την επανάληψη της εικόνας του καβαλάρη της τίγρης επαναλαμβάνεται κάθε 140 εικονοστοιχεία, του καβαλάρη του καρχαρία κάθε 130 εικονοστοιχεία και της εικόνας της τίγρης κάθε 120 εικονοστοιχεία. Όσο πιο κοντά μεταξύ τους, σε οριζόντια απόσταση, είναι ένα σύνολο εικόνων, τόσο πιο ψηλά φαίνονται σε σχέση με το επίπεδο του υποβάθρου. Αυτή η απόσταση επανάληψης αναφέρεται ως το βάθος ή η τιμή του άξονα των  $z$ . Στην αγγλόφωνη ορολογία και στην ορολογία των γραφικών υπολογιστή αυτή η τιμή είναι γνωστή ως τιμή  $z$ -buffer.

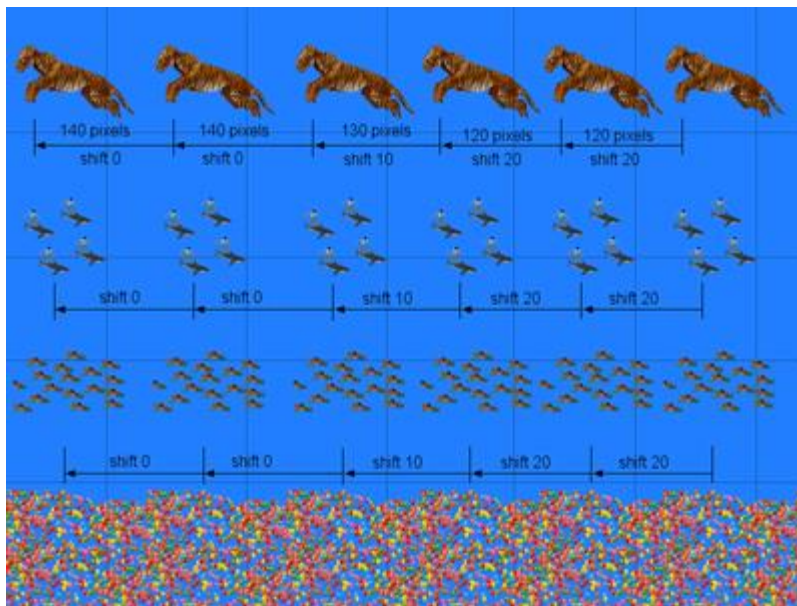
Ο εγκέφαλος είναι ικανός στο να ταυτίζει εκατοντάδες επαναλαμβανόμενα σχέδια σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους, έτσι ώστε να επαναδημιουργεί τη σωστή πληροφορία βάθους για κάθε σχέδιο. Ένα αυτοστερεόγραμμα μπορεί να περιλαμβάνει 50 τίγρεις διαφόρων μεγεθών, που επαναλαμβάνονται ανά διαφορετικά διαστήματα, σε ένα περίπλοκο επαναλαμβανόμενο υπόβαθρο. Εντούτοις, παρά τη φαινομενικά χαοτική χωροθέτηση των σχεδίων, ο εγκέφαλος είναι ικανός να θέσει κάθε εικόνα τίγρης στο κατάλληλο βάθος.



## 2. 3. 3. Χάρτες βάθους

Στα αυτοστερεογράμματα όπου τα σχέδια σε μια συγκεκριμένη σειρά επαναλαμβάνονται οριζόντια στις ίδιες αποστάσεις μπορούν να γίνουν ορατά είτε με σύγκλιση (cross-eyed) είτε με απόκλιση (wall-eyed) των οφθαλμών μεταξύ τους. Σε τέτοια αυτοστερεογράμματα, και οι δύο τύποι παρατήρησης θα παράγουν την ίδια αντίληψη βάθους, με την εξαίρεση ότι στη μέθοδο της σύγκλισης αντιστρέφεται το βάθος, δηλαδή οι εικόνες που πριν θα εμφανίζονται προς τα έξω, φαίνονται να βρίσκονται προς τα μέσα.

Τα σχέδια σε αυτό το αυτοστερεόγραμμα θα εμφανίζονται σε διαφορετικό βάθος κατά μήκος κάθε σειράς.



Εικόνα 29. Το αυτοστερεόγραμμα

Εντούτοις, οι εικόνες σε μια σειρά δε χρειάζεται να βρίσκονται σε ίσα διαστήματα. Ένα αυτοστερεόγραμμα με διάφορες αποστάσεις μεταξύ των επαναλαμβανόμενων εικόνων σε μια σειρά, απεικονίζει αυτές τις εικόνες σε διαφορετικό βάθος για τον παρατηρητή. Το βάθος κάθε εικόνας υπολογίζεται από την απόσταση μεταξύ της μίας με τη γειτονική παρόμοιά της από τα αριστερά. Αυτοί οι τύποι αυτοστερεογραμμάτων είναι σχεδιασμένοι ώστε να μπορούν να παρατηρούνται μόνο με έναν τρόπο, είτε με σύγκλιση είτε με απόκλιση των οφθαλμών. Όλα τα αυτοστερεογράμματα στο παρόν

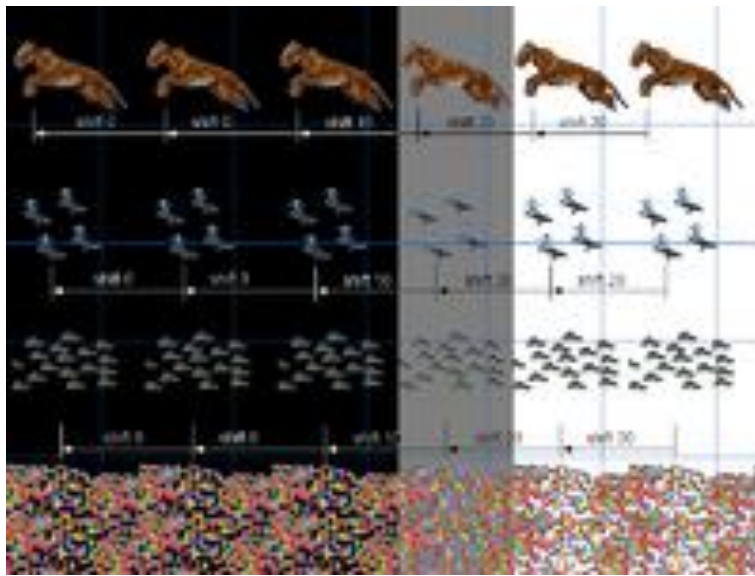


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

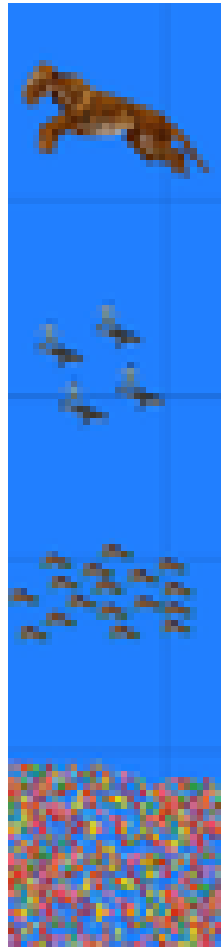


άρθρο είναι σχεδιασμένα ώστε να φαίνονται με απόκλιση των οφθαλμών, εκτός και αν αναφέρεται σαφώς το αντίθετο. Ένα αυτοστερεόγραμμα σχεδιασμένο για παρατήρηση με απόκλιση, θα παράγει ακατανόητα τρισδιάστατα σχέδια αν κάποιος το παρατηρήσει με σύγκλιση των οφθαλμών.

Το παρακάτω αυτοστερεόγραμμα αποκλινόντων οφθαλμών κωδικοποιεί 3 επίπεδα κατά μήκος του άξονα των  $x$ . Το επίπεδο του υποβάθρου βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της εικόνας. Το υψηλότερο επίπεδο φαίνεται στα δεξιά. Υπάρχει ένα στενό μεσαίο επίπεδο στη μέση του άξονα των  $x$ . Ξεκινώντας από το επίπεδο του υποβάθρου όπου οι εικόνες απέχουν 140 εικονοστοιχεία μεταξύ τους, κάποιος μπορεί να "υψώσει" μια εικόνα με το να τη μετατοπίσει κατά έναν αριθμό εικονοστοιχείων προς τα αριστερά. Για παράδειγμα, το μεσαίο επίπεδο δημιουργείται από μετατόπιση μιας εικόνας 10 εικονοστοιχείων προς τα αριστερά, δημιουργώντας έτσι μια απόσταση 130 εικονοστοιχείων. Σε αυτό το αυτοστερεόγραμμα, τα σχέδια γίνονται μικρότερα κατά μήκος του άξονα των  $y$ , έως ότου φαίνονται σαν τυχαίες κουκκίδες. Ο εγκέφαλος είναι ακόμη ικανός στο να ταιριάζει αυτές τις εικόνες.



Εικόνα 30. Τα μαύρα, γκρι και άσπρα χρώματα στο υπόβαθρο αντιπροσωπεύουν έναν χάρτη βάθους που εμφανίζει αλλαγές κατά οριζόντιο μήκος



Εικόνα 31. Η εικόνα του επαναλαμβανόμενου σχεδίου

Η σχέση της απόστασης μεταξύ κάθε εικονοστοιχείου<sup>34</sup> και του αντίστοιχού του στο σχέδιο που εμφανίζεται στα αριστερά του μπορεί να εκφραστεί σε έναν χάρτη βάθους. Ένας χάρτης βάθους είναι απλά μια εικόνα στην κλίμακα του γκρι, η οποία αναπαριστά την απόσταση μεταξύ ενός εικονοστοιχείου και του αντίστοιχού του χρησιμοποιώντας μια τιμή της κλίμακας του γκρι (μεταξύ

---

<sup>34</sup> Εικονοστοιχείο ή pixel είναι η "στιγμή" ή αλλιώς το "σημείο" που εμφανίζεται στην οθόνη ενός υπολογιστικού συστήματος και ουσιαστικά η μικρότερη ποσότητα, το δείγμα της πληροφορίας. Προκύπτει από τον αγγλικό όρο PICTure ELement= στοιχείο εικόνας. Στην ουσία η οθόνη του υπολογιστή μας είναι ένα πλέγμα με μορφή ψηφιδωτού που αποτελείται από χιλιάδες μικροσκοπικά σημεία που καλούνται εικονοστοιχεία. Όταν πληκτρολογούμε ένα χαρακτήρα ή σχεδιάζουμε μία γραμμή ο υπολογιστής ενεργοποιεί τα εικονοστοιχεία με συγκεκριμένη διάταξη προκειμένου να αναπαραστήσει το αντικείμενο της πληκτρολόγησης ή της σχεδιάσής μας.



μαύρου και άσπρου). Κατά σύμβαση, όσο πιο κοντά είναι η απόσταση, τόσο πιο φωτεινό γίνεται το χρώμα.

Χρησιμοποιώντας αυτή τη σύμβαση, ένας χάρτης βάθους στην κλίμακα του γκρι για το παραπάνω αυτοστερεόγραμμα μπορεί να δημιουργηθεί με μαύρο, γκρι και λευκό αναπαριστώντας μετατοπίσεις 0 εικονοστοιχείων, 10 και 20 εικονοστοιχείων αντίστοιχα. Ένας χάρτης βάθους, είναι το κλειδί στη δημιουργία στερεογραμμάτων τυχαίας κουκίδας.

## 2. 3. 4. Τυχαία Κουκίδα

Ένα λογισμικό πρόγραμμα μπορεί να πάρει έναν χάρτη βάθους και ένα συνοδευτικό σχέδιο εικόνας για να παράγει ένα αυτοστερεόγραμμα. Το πρόγραμμα επιστρώνει το σχέδιο οριζόντια ώστε να καλύπτει μια περιοχή της οποίας το μέγεθος προκύπτει από τον χάρτη βάθους. Για το κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα που παράγεται τελικά, χρησιμοποιείται η τιμή της κλίμακας του γκρι του αντίστοιχου εικονοστοιχείου στον χάρτη βάθους και από αυτήν τιμή, υπολογίζεται το μέγεθος της οριζόντιας μετατόπισης που απαιτείται για το εικονοστοιχείο.

Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό, είναι το πρόγραμμα να σαρώνει κάθε γραμμή στην εικόνα που παράγεται, εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο, από αριστερά προς τα δεξιά. Τοποθετούνται οι πρώτες σειρές εικονοστοιχείων σε μια σειρά από την εικόνα του σχεδίου και μετά σύμφωνα με τον χάρτη βάθους για να εξάγει τις κατάλληλες τιμές μετατόπισης για διαδοχικά εικονοστοιχεία. Για κάθε εικονοστοιχείο, αφαιρείται η μετατόπιση από το πλάτος του σχεδίου ώστε να καταλήξει στην απόσταση του διαστήματος επανάληψης. Το διάστημα επανάληψης χρησιμοποιείται για να "διαβάζεται" η τιμή του χρώματος του αντίστοιχου (από τα αριστερά) στο τρέχον εικονοστοιχείο και το χρώμα του χρησιμοποιείται ως το χρώμα του νέου εικονοστοιχείου.





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 32. Τρία υπερψωμένα παραλληλόγραμμα εμφανίζονται σε διαφορετικό επίπεδο βάθους σε αυτό το αυτοστερεόγραμμα



Εικόνα 33. Κάθε εικονοστοιχείο σε ένα αυτοστερεόγραμμα υπακούει στον κανόνα του διαστήματος που ορίζεται από το χάρτη βάθους

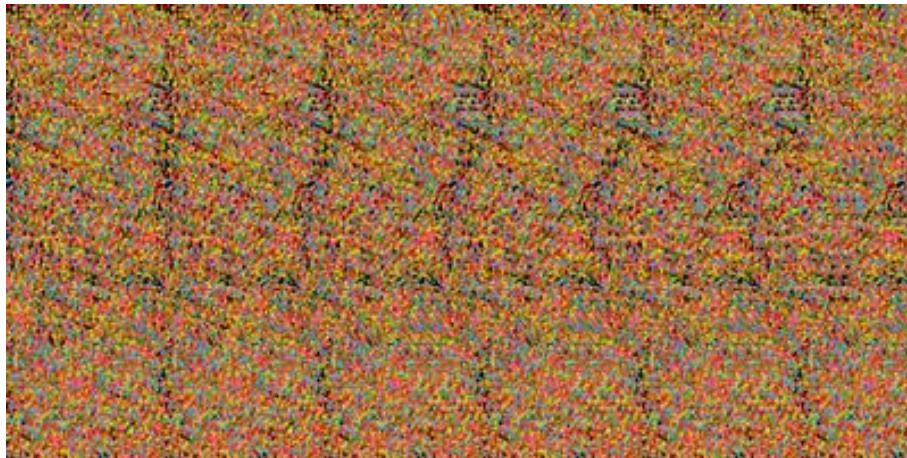
Σε αντίθεση με τα απλά επίπεδα βάθους που δημιουργούνται από απλά αυτοστερεογράμματα τοιχοστρωσίας, μικρές αλλαγές στη χωροθέτηση που καθορίζονται από τον χάρτη βάθους, μπορούν να δώσουν την ψευδαίσθηση μικρής διαδοχικής κατά μήκος σκίασης (gradient). Αυτό είναι δυνατόν, χάρη στο ότι ο χάρτης βάθους, επιτρέπει κάθε εικονοστοιχείο να τοποθετηθεί σε ένα από  $2n$  επίπεδα



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



βάθους, όπου  $n$  είναι ο αριθμός των bits που χρησιμοποιούνται από κάθε εικονοστοιχείο στον χάρτη βάθους. Στην πράξη, ο συνολικός αριθμός επιπέδων βάθους καθορίζεται από τον αριθμό των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιούνται για το πλάτος του προς απεικόνιση σχεδίου. Κάθε τιμή στην κλίμακα του γκρι πρέπει να μεταφραστεί στον χώρο των εικονοστοιχείων προκειμένου να μετατοπιστούν τα εικονοστοιχεία στο τελικό αυτοστερεόγραμμα. Ως αποτέλεσμα, ο αριθμός των επιπέδων βάθους πρέπει να είναι μικρότερος από το πλάτος του σχεδίου προς απεικόνιση.



*Εικόνα 34. Αυτό το αυτοστερεόγραμμα τυχαίας κουκκίδας εμφανίζει έναν χαρακτήρα με μια μικρή σκίαση ψηλότερα από το επίπεδο υπόβαθρο*

Η σωστή σκίαση προϋποθέτει ένα μοτίβο πιο περίπλοκο από ότι μια τυπική τοιχοστρωσία επαναλαμβανόμενου σχεδίου, έτσι τυπικά χρησιμοποιείται ένα μοτίβο αποτελούμενο από τυχαίες κουκκίδες. Όταν κάποιος βλέπει αυτοστερεόγραμμα με κατάλληλη οπτική τεχνική, ξεπροβάλλει μια τριδιάστατη εικόνα. Αυτού του είδους τα αυτοστερεογράμματα είναι γνωστά ως Αυτοστερεογράμματα Τυχαίας Κουκίδας (RandomDotAutostereograms).

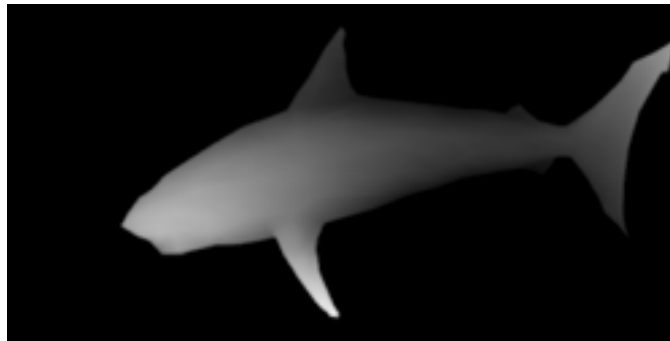
Απαλές σκιάσεις μπορούν επίσης να επιτευχθούν με ένα κατανοητό μοτίβο, θεωρώντας ότι το μοτίβο είναι αρκετά περίπλοκο και δεν έχει μεγάλες, οριζόντιες, μονοτονικές περιοχές. Μία περιοχή χρωματισμένη με μονοτονικό χρώμα χωρίς αλλαγές στην απόχρωση και τη φωτεινότητα δεν επηρεάζεται από την ολίσθηση των εικονοστοιχείων. Παρακάτω, ο χάρτης βάθους ενός καρχαρία με



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



απαλή σκίαση δημιουργεί ένα τέλεια αναγνωρίσιμο αυτοστερεόγραμμα, αν και η διδιάστατη εικόνα περιέχει μικρές μονοτονικές περιοχές, ο εγκέφαλος μπορεί να αναγνωρίσει αυτά τα μικρά ανοίγματα και να γεμίσει τα κενά. Αν και κατανοητά, προτιμώνται τα επαναλαμβανόμενα μοτίβα αντί για τις τυχαίες κουκκίδες, αυτού του είδους το αυτοστερεόγραμμα είναι ευρέως γνωστό ως Αυτοστερεόγραμμα Τυχαίας Κουκκίδας γιατί δημιουργείται με την ίδια διαδικασία.



Εικόνα 35. Η εικόνα του καρχαρία ζωγραφισμένη με μικρή κλίση



Εικόνα 36. Ο τρισδιάστατος χαρακτήρας στο τυχαίας κουκκίδας αυτοστερεόγραμμα έχει ένα στρωτό, στρογγυλοποιημένο σχήμα εξαιτίας του χάρτη βάθους με μικρή κλίση



## 2. 3. 5. Κινούμενη Εικόνα

Όταν τα αυτοστερεογράμματα απεικονίζονται το ένα μετά το άλλο σε μια σειρά, με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο απεικονίζονται οι διαδοχικές εικόνες στις ταινίες, τότε ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται αυτή τη σειρά αυτοστερεογραμμάτων ως ένα αυτοστερεόγραμμα κινούμενης εικόνας (animated autostereogram). Αν όλα τα αυτοστερεογράμματα στο κινούμενο αυτοστερεόγραμμα, έχουν παραχθεί με το ίδιο υπόβαθρο, είναι πιθανό κάποιος να διακρίνει, θολά περιγράμματα των τμημάτων του κινούμενου τρισδιάστατου αντικειμένου στη δισδιάστατη εικόνα του αυτοστερεογράμματος, χωρίς απόκλιση των οφθαλμών από το προβλεπόμενο σημείο εστίασης. Τα κινούμενα εικονοστοιχεία του κινούμενου αντικειμένου μπορούν να διακριθούν καθαρά από το στατικό επίπεδο του υποβάθρου. Για να μη γίνεται αυτό, στα κινούμενα αυτοστερεογράμματα πολλές φορές χρησιμοποιείται υπόβαθρο που μεταβάλλεται έτσι ώστε να μη διαχωρίζεται σε σχέση με τα τμήματα του αυτοστερεογράμματος που παράγουν την τρισδιάστατη εικόνα.

Όταν ένα κανονικό επαναλαμβανόμενο τμήμα του υποβάθρου απεικονίζεται μέσω καθοδικού σωλήνα (όπως για παράδειγμα σε μια οθόνη CRT), είναι επίσης πιθανό, κάποιος να διακρίνει πτυχώσεις βάθους. Το ίδιο μπορεί να φανεί στο υπόβαθρο ενός στατικού αυτοστερεογράμματος τυχαίας κουκκίδας. Αυτές δημιουργούνται από τις οριζόντιες μετατοπίσεις στην εικόνα εξαιτίας της ευαισθησίας μετατόπισης της καθοδικής λυχνίας στη γραμμική σάρωση, που μετά μεταφράζονται ως βάθος. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα ορατό στην αριστερή πλευρά της οθόνης, όπου η ταχύτητα σάρωσης ηρεμεί μετά από την κίνηση επιστροφής. Το φαινόμενο αυτό απουσιάζει από τις οθόνες TFTLCD.

## 2. 3. 6. Μηχανισμοί θεώρησης

Υπάρχουν πολλών ειδών οδηγίες για το πως κάποιο μπορεί να δει την επιθυμητή τρισδιάστατη εικόνα σε ένα αυτοστερεόγραμμα. Ενώ μερικοί άνθρωποι μπορούν απλά να δουν την τρισδιάστατη εικόνα σε ένα αυτοστερεόγραμμα, κάποιος άλλος θα πρέπει να μάθουν να εξασκούν τα μάτια τους έτσι





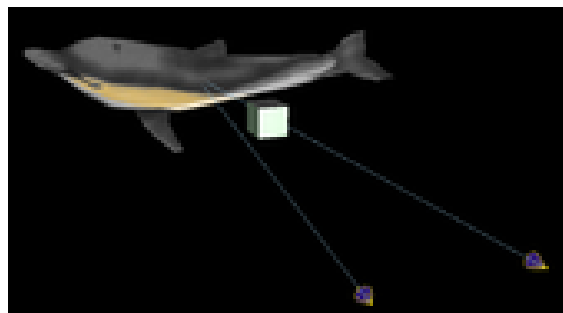
ώστε να επιτύχουν στην απομάκρυνση της σύγκλισης των ματιών από την ακούσια εστίαση των φακών.

Δεν μπορούν όλοι να δουν την τρισδιάστατη οπτική ψευδαίσθηση στα αυτοστερεογράμματα. Επειδή τα αυτοστερεογράμματα είναι κατασκευασμένα βασιζόμενα στη στερεοσκοπία, άτομα με ποικίλες οπτικές εξασθενήσεις, ακόμα και αυτές που επηρεάζουν το ένα μόνο μάτι, δεν είναι ικανά ώστε να δουν τις τρισδιάστατες εικόνες.

Ανθρωποι με αμβλυωπία δεν είναι ικανοί να δουν τις τρισδιάστατες εικόνες. Παιδιά με "φτωχή" ή δεισλειτουργική όραση στη διάρκεια μιας κρίσιμης περιόδου στην παιδική τους ηλικία μπορεί μεγαλώνοντας να μην μπορέσουν να αναπτύξουν τη στερεοσκοπική τους αντίληψη, αφού ο εγκέφαλός τους δεν θα διεγείρεται από στερεοσκοπικές εικόνες κατά τη διάρκεια της κρίσιμης αυτής περιόδου. Εάν τέτοια οπτικά προβλήματα δεν διορθωθούν στην πρώιμη παιδική ηλικία, η ζημιά γίνεται μόνιμη και ως ενήλικες δεν θα μπορούν πια να βλέπουν αυτοστερεογράμματα. Υπολογίζεται ότι περίπου το 1% έως 5% του πληθυσμού προσβάλλεται από αμβλυωπία. (KKEB)

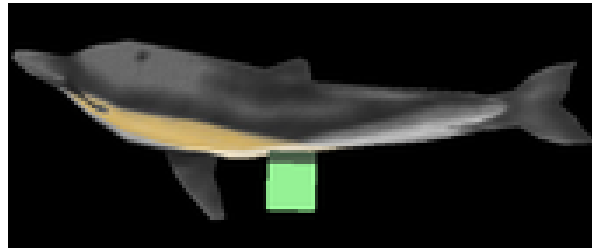
## 2. 3. 7. Αντίληψη τρισδιάστατου

Η αντίληψη του βάθους προκύπτει από πολλά μονοφθάλμια και διοφθάλμια στοιχεία. Για τα αντικείμενα που είναι σχετικά κοντά στα μάτια, η διοφθάλμια όραση είναι αυτή που παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του βάθους. Επίσης, αυτή είναι που επιτρέπει στον εγκέφαλο να δημιουργήσει μια κυκλώπεια εικόνα και να συσχετίσει ένα επίπεδο βάθους σε κάθε σημείο σε αυτήν.

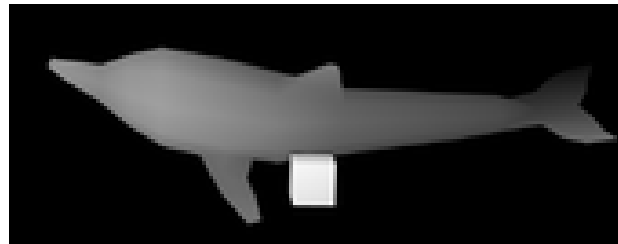


Εικόνα 37. Τα δύο μάτια συγκλίνουν στο αντικείμενο προσοχής



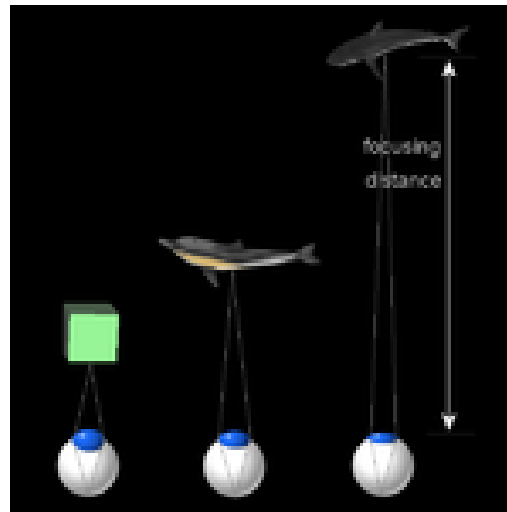


Εικόνα 38. Ο εγκέφαλος δημιουργεί μία Κυκλώπεια εικόνα από τις δύο εικόνες που λαμβάνει από τα δυο μάτια

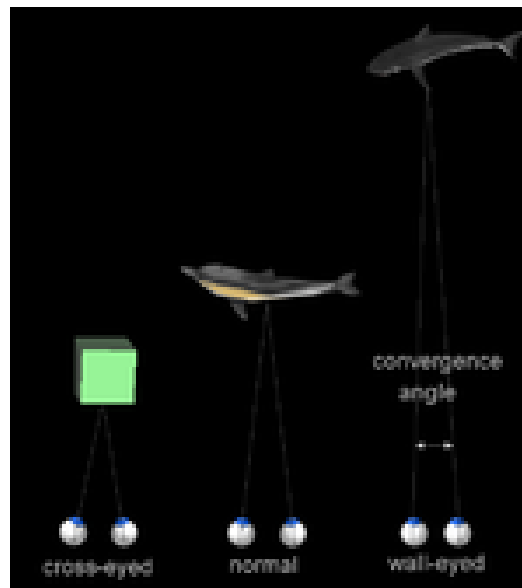


Εικόνα 39. Ο εγκέφαλος δίνει σε κάθε σημείο της Κυκλώπειας εικόνας μία τιμή βάθους που αντιπροσωπεύεται εδώ από τον χάρτη βάθους στην κλίμακα του γκρι

Ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί τη μετατόπιση συντεταγμένων (γνωστή και ως παράλλαξη) των σημείων που σχετίζονται οπτικά μεταξύ τους, ώστε να αναγνωρίσει το βάθος αυτών των σημείων. Το επίπεδο βάθους στη συνδυασμένη εικόνα, μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα εικονοστοιχείο στην κλίμακα του γκρι για τη δισδιάστατη εικόνα, προς όφελος του αναγνώστη. Όσο πιο κοντά εμφανίζεται ένα σημείο στον εγκέφαλο, τόσο πιο φωτεινό απεικονίζεται στο σχήμα. Έτσι, ο τρόπος σύμφωνα με τον οποίο ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται το βάθος με τη διοφθάλμια όραση, μπορεί να απεικονιστεί από μια κλίμακα βάθους που χρωματίζεται ανάλογα με την μετατόπιση των συντεταγμένων.



Εικόνα 40. Το μάτι προσαρμόζει τον εσωτερικό του φακό ώστε να λάβει μία σαφή, εστιασμένη εικόνα



Εικόνα 41. Τα δύο μάτια συγκλίνουν προς ένα αντικείμενο

Το ανθρώπινο μάτι λειτουργεί όπως μία φωτογραφική μηχανή. Έχει μια ρυθμιζόμενη ίριδα, που ανοίγει (ή κλείνει) για να επιτρέψει περισσότερο (ή λιγότερο) φως να εισέλθει στο μάτι. Όπως σχεδόν κάθε φωτογραφική μηχανή, χρειάζεται να εστιάσει τις ακτίνες του φωτός που εισέρχονται μέσω της ίριδας, ώστε η εστίαση να γίνεται σε ένα σημείο του αμφιβληστροειδούς για να παραχθεί μια ευκρινής



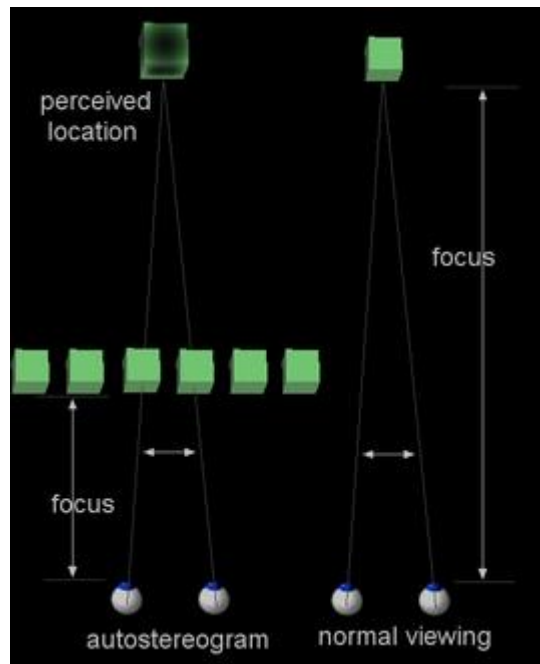
# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



εικόνα. Το μάτι το πετυχαίνει αυτό, προσαρμόζοντας έναν φακό πίσω από τον κερατοειδή ώστε να διαθλά το φως σωστά για αυτή τη λειτουργία.

Όταν κάποιος κοιτά ένα αντικείμενο, οι δύο κόρες περιστρέφονται δείχνοντας προς αυτό, ώστε το αντικείμενο να εμφανίζεται στο κέντρο της εικόνας που δημιουργείται από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Όταν κάποιο αντικείμενο βρίσκεται κοντά, γίνεται σύγκλιση των ματιών προς το αντικείμενο. Για να δούμε κάποιο μακρινό αντικείμενο τα δύο μάτια αποκλίνουν το ένα από το άλλο έως ότου σχεδόν παραλληλίζονται οι ακτίνες κατά τις οποίες η κάθε κόρη κοιτά.

Η στερεοσκοπική όραση βασίζεται στην παράλλαξη που επιτρέπει στον εγκέφαλο να υπολογίζει τα βάθη των αντικειμένων σε σχέση με το σημείο σύγκλισης. Η γωνία σύγκλισης είναι αυτή που δίνει στον εγκέφαλο την απόλυτη τιμή του βάθους αναφοράς για το σημείο σύγκλισης. Από αυτό υπολογίζονται όλα τα απόλυτα βάθη για τα υπόλοιπα σημεία που εκφράζουν την εικόνα των αντικειμένων.



Εικόνα 42. Προσομοιωμένη αντίληψη τρισδιάστατου

Η απόξευση της εστίασης μέσω της σύγκλισης, "ξεγελά" τον εγκέφαλο και έτσι αντιλαμβάνεται τρισδιάστατες εικόνες από δισδιάστατα αυτοστερεογράμματα.



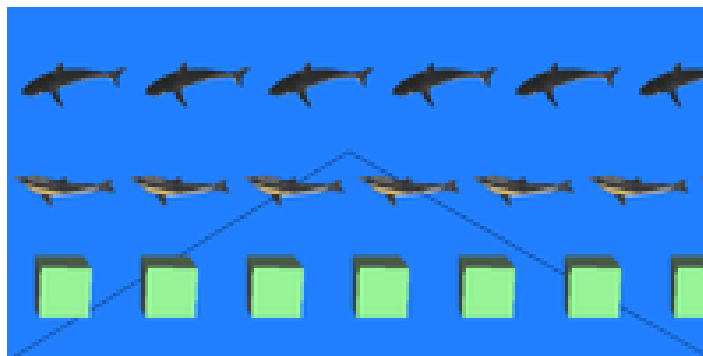
# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



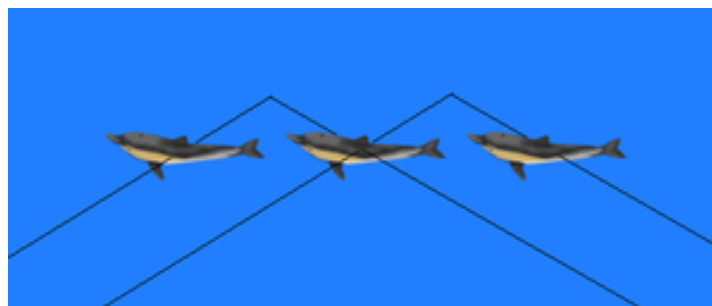
Τα μάτια κανονικά εστιάζουν και συγκλίνουν προς την ίδια απόσταση με μια διαδικασία γνωστή ως προσαρμοστική σύγκλιση. Έτσι, όταν κάποιος κοιτάει ένα μακρινό αντικείμενο, ο εγκέφαλος αυτόματα μειώνει την καμπυλότητα των φακών και περιστρέφει τις κόρες ώστε να αποκλίνουν μεταξύ τους. Είναι όμως δυνατό να εκπαιδεύσει κάποιος τον εγκέφαλό του, ώστε να ανεξαρτητοποιήσει αυτές τις δύο λειτουργίες. Αυτή η ανεξαρτητοποίηση δεν έχει κάποιο χρήσιμο σκοπό στην καθημερινότητα, επειδή αποτρέπει τον εγκέφαλο από το να ερμηνεύει αντικείμενα με κατανοητό τρόπο. Όμως, σε ανθρώπινα κατασκευάσματα όπως τα αυτοστερεογράμματα, όπου υπάρχουν επαναλαμβανόμενα σχήματα, η ανεξαρτητοποίηση της εστίασης από τη σύγκλιση είναι ζωτικής σημασίας.

Μέσω της εστίασης των φακών σε ένα κοντινό αυτοστερεόγραμμα του οποίου σχήματα επαναλαμβάνονται και αποκλίνουν ταυτόχρονα τους οφθαλμούς προς κάποιο μακρινό σημείο, μπορεί κάποιος να "ξεγελάσει" τον εγκέφαλο και να δει τρισδιάστατες εικόνες. Αν τα σχέδια που γίνονται αντιληπτά από τα δύο μάτια είναι παρόμοια, ο εγκέφαλος θα θεωρήσει τα δύο αυτά σχέδια ως ίδια και θα τα αντιμετωπίσει σαν να αντιπροσωπεύουν το ίδιο αντικείμενο. Αυτός ο τύπος θέασης είναι γνωστός ως wall-eyed viewing, επειδή τα μάτια αποκλίνουν προς ένα μακρινό σημείο ενώ το αυτοστερεόγραμμα είναι στην ουσία πιο κοντά στα μάτια. Επειδή τα δύο μάτια αποκλίνουν, η αντιλαμβανόμενη θέση του φανταστικού αντικειμένου βρίσκεται πίσω από το αυτοστερεόγραμμα. Επίσης, το αντικείμενο αυτό εμφανίζεται μεγαλύτερο από τα επαναλαμβανόμενα σχέδια του αυτοστερεογράμματος εξαιτίας της γειννίας της προοπτικής απεικόνισης.

Το παρακάτω αυτοστερεόγραμμα έχει τρεις σειρές από επαναλαμβανόμενα σχέδια. Κάθε σχέδιο επαναλαμβάνεται σε διαφορετική απόσταση έτσι ώστε να απεικονίζεται σε διαφορετικό επίπεδο βάθους. Οι δύο μη επαναλαμβανόμενες γραμμές χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώσουν τη σωστή απόκλιση των οφθαλμών. Όταν το αυτοστερεόγραμμα γίνεται με σωστό τρόπο αντιληπτό από τον εγκέφαλο και κάποιος κοιτάει το δελφίνι στη μέση του οπτικού πεδίου, ο εγκέφαλος θα έπρεπε να βλέπει δύο ομάδες από γραμμές που τρεμοπαίζουν, ως αποτέλεσμα του διοφθάλμιου ανταγωνισμού.



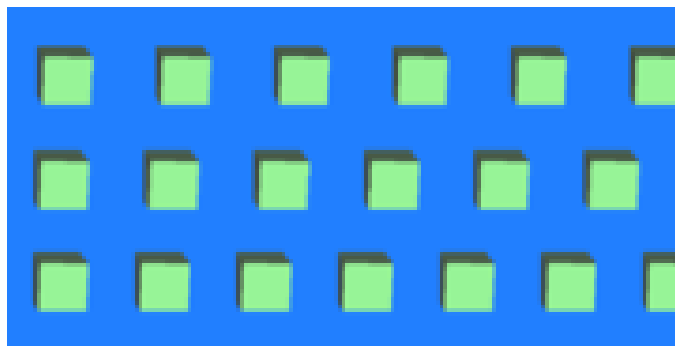
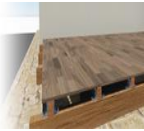
Εικόνα 43. Οι δύο μαύρες γραμμές σε αυτό το αυτοστερεόγραμμα βοηθούν τους παρατηρητές να το δουν σωστά, βλέπετε δεξιά



Εικόνα 44. Όταν ο εγκέφαλος καταφέρει τη σωστή θέση των οφθαλμών, θα δει δύο ομάδες γραμμών

Ενώ υπάρχουν 6 σχέδια δελφινιών στο αυτοστερεόγραμμα, ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται 7 "φαινόμενα" δελφίνια στο επίπεδο του αυτοστερεογράμματος. Αυτό αποτελεί επίπτωση του συνταιριάσματος παρομοίων σχημάτων στον εγκέφαλο. Υπάρχουν 5 ζευγάρια από σχήματα δελφινιών σε αυτή την εικόνα. Αυτό επιτρέπει στον εγκέφαλο να δημιουργήσει 5 φαινόμενα δελφίνια. Τα άκρα αριστερά και άκρα δεξιά δελφίνια δεν έχουν ταίρι, αλλά ο εγκέφαλος προσπαθεί να αφομοιώσει τα δύο αυτά σχέδια στο εγκαθιδρυμένο επίπεδο βάθους, που δημιουργείται από τα διπλανά μεταξύ τους δελφίνια, άσχετα με τον διοφθάλμιο ανταγωνισμό. Ως αποτέλεσμα, εμφανίζονται 7 φαινόμενα δελφίνια, με το αριστερό και το δεξί να απεικονίζονται με ένα μικρό τρεμούλιασμα παρόμοιο με αυτό των δύο γραμμών που παρατηρούνται όταν κάποιος κοιτά το τέταρτο φαινόμενο δελφίνι.





Εικόνα 45. Οι κύβοι της πάνω σειράς εμφανίζονται μεγαλύτεροι

Εξαιτίας της προοπτικής απεικόνισης, η διαφορά στην εστίαση που απαιτείται για να δει κάποιος επαναλαμβανόμενα σχέδια σε διαφορετικά επίπεδα εξαναγκάζει τον εγκέφαλο να προσδώσει διαφορετικές ιδιότητες μεγέθους σε σχέδια με ίσα μεγέθη στις δύο διαστάσεις. Στο αυτοστερεόγραμμα με τις τρεις σειρές από κύβους, ενώ όλοι οι κύβοι έχουν στο δισδιάστατο σχέδιο τις ίδιες διαστάσεις, αυτοί στην πάνω σειρά εμφανίζονται μεγαλύτεροι επειδή η απόστασή τους γίνεται αντιληπτή ως μεγαλύτερη από αυτή των κύβων στη δεύτερη και τρίτη σειρά.

## 2. 3. 8. Τεχνικές παρατήρησης

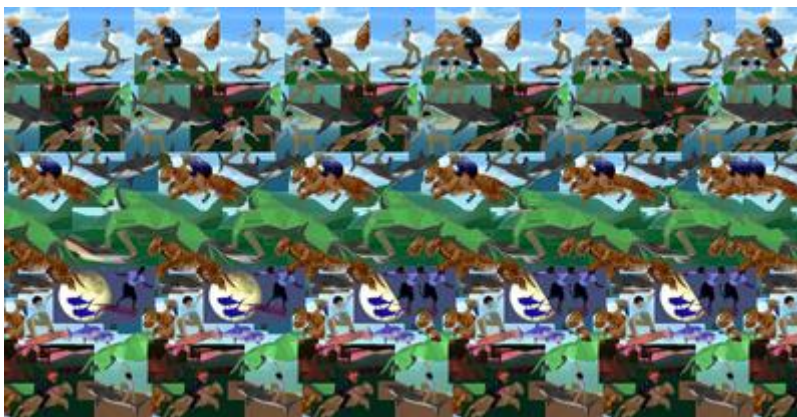
Όπως και με μια φωτογραφική μηχανή, είναι πιο εύκολο να εστιάσεις ένα αντικείμενο όταν υπάρχει διάχυτο έντονο φως. Τότε, μπορεί να περισταλλεί η ίρις του ματιού επιτρέποντας αρκετό φως για να φτάσει στον αμφιβληστροειδή. Όσο περισσότερο το μάτι μοιάζει με μια φωτογραφική μηχανή χωρίς φακό, τόσο λιγότερο εξαρτάται από την εστίαση των φακών. Με άλλα λόγια, χρειάζεται λιγότερος διαχωρισμός της εστίασης και της σύγκλισης για να οπτικοποιηθεί ένα αυτοστερεόγραμμα. Έτσι, διευκολύνεται ο εγκέφαλος. Ωστόσο, για κάποιον που βλέπει αυτοστερεογράμματα για πρώτη φορά, είναι πιο εύκολο να "δει" πρώτα τις τρισδιάστατες εικόνες τους, αν το προσπαθεί με αρκετό φωτισμό.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Η σύγκλιση ελέγχου είναι σημαντική για να ειδοθούν τριδιάστατες εικόνες. Έτσι, μπορεί να βοηθήσει στην επικέντρωση της σύγκλισης/απόκλισης των δύο ματιών για να μεταφέρει τις εικόνες που φτάνουν στα δύο μάτια, αντί να προσπαθούμε να δούμε μια σαφή, εστιασμένη εικόνα. Μολονότι ο φακός ρυθμίζει την αντανακλαστικότητα για την παραγωγή σαφών, εστιασμένων εικόνων, μπορεί να γίνει εκούσιος έλεγχος αυτής της διαδικασίας. Αντίθετα, ο θεατής εναλλάσσεται συγκλίνοντας και αποκλίνοντας τα δύο μάτια, στη διαδικασία που βλέπουμε "διπλές εικόνες", που εμφανίζεται συνήθως όταν κάποιος είναι μεθυσμένος. Τελικά ο εγκέφαλος θα ταιριάξει με επιτυχία ένα ζευγάρι των μοτίβων που αναφέρθηκαν από τα δύο μάτια και θα κλειδώσει σ' αυτό το συγκεκριμένο βαθμό σύγκλισης. Ο εγκέφαλος θα προσαρμόσει επίσης τους φακούς του ματιού, για να διαμορφωθεί μια σαφής εικόνα του αντιστοιχισμένου ζεύγους. Μόλις γίνει αυτό, οι εικόνες γύρω από τα αντιστοιχισμένα μοτίβα γρήγορα θα γίνουν σαφείς, καθώς ο εγκέφαλος θα αντιστοιχίζει πρόσθετα μοτίβα που χρησιμοποιούν περίπου τον ίδιο βαθμό σύγκλισης.



Εικόνα 46. Το κάτω μέρος αυτού του αυτοστερεογράμματος τυχαίας κουκκίδας δε δεσμεύεται από τριδιάστατες εικόνες

Είναι πιο εύκολο να ξεγελαστεί ο εγκέφαλος στην αντιστοίχιση μοτίβων αυτής της περιοχής. Όταν κάποιος κινεί την προσοχή του από ένα επίπεδο βάθους σε άλλο (για παράδειγμα, από την επάνω γραμμή στη δεύτερη γραμμή στο αυτοστερεογράμμα του κύβου), τα δύο μάτια χρειάζεται να προσαρμόσουν τη σύγκλιση τους για να αντιστοιχίσουν τη νέα επαναλαμβανόμενη σειρά μοτίβων. Εάν το επίπεδο της αλλαγής αυτής της σύγκλισης είναι πολύ υψηλή κατά τη διάρκεια αυτής της



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



μετατόπισης, μερικές φορές ο εγκέφαλος μπορεί να χάσει την επίπονη σύνδεση μεταξύ εστίασης και σύγκλισης. Ως εκ τούτου, για έναν πρωτάρη θεατή, μπορεί να είναι πιο εύκολο να δει το αυτοστερεόγραμμα, εάν τα μάτια ασκήσουν τη σύγκλιση σε αυτοστερεόγραμμα όπου το βάθος των μοτίβων σε μια συγκεκριμένη γραμμή παραμένει σταθερό.

Σε ένα τυχαίας τελείας αυτοστερεόγραμμα, η τριδιάστατη εικόνα εμφανίζεται συνήθως στη μέση του αυτοστερεογράμματος έναντι ενός επιπέδου σε βάθος φόντου (βλέπε το αυτοστερεόγραμμα του καρχαρία). Μπορεί να βοηθήσει να δημιουργηθεί κατάλληλη σύγκλιση, αν αρχικά κοιταχθεί το πάνω ή το κάτω μέρος του αυτοστερεογράμματος, όπου τα μοτίβα επαναλαμβάνονται συνήθως σε ένα σταθερό διάστημα. Μόλις ο εγκέφαλος κλειδώσει στο επίπεδο του βάθους του πλαισίου, έχει ως αναφορά ένα βαθμό σύγκλισης από το οποίο μπορεί να ταιριάζει στη συνέχεια μοτίβα σε διάφορα επίπεδα βάθους στο κέντρο της εικόνας.

Η πλειοψηφία των αυτοστερεογραμμάτων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του άρθρου, έχουν σχεδιαστεί για αποκλίνουσα (wall-eyed) όραση. Ένας τρόπος για να βοηθήσουμε τον εγκέφαλο στην απόκλιση αντί της εστίασης είναι να κρατήσετε την εικόνα μπροστά από το πρόσωπο, με τη μύτη να αγγίζει την εικόνα. Με την εικόνα τόσο κοντά στα μάτια τους, οι περισσότεροι άνθρωποι δεν μπορούν να εστιάσουν στην εικόνα. Ο εγκέφαλος μπορεί να συνεχίσει να προσπαθεί να κινεί τους μυς των ματιών, ώστε να διαμορφωθεί μια σαφή εικόνα. Εάν κάποιος τραβάει αργά την εικόνα μακριά από το πρόσωπο, ενώ η απέχει από την εστίαση ή την περιστροφή των ματιών, σε κάποιο σημείο ο εγκέφαλος θα κλειδώσει σε ένα ζεύγος μοτίβων, όταν η απόσταση μεταξύ τους ταιριάζει με το βαθμό σύγκλισης των δύο οφθαλμικών βολβών

Ένας άλλος τρόπος είναι το κοίταγμα σε ένα αντικείμενο πίσω από την εικόνα, σε μια προσπάθεια να δημιουργίας κατάλληλης απόκλισης, διατηρώντας ταυτόχρονα μέρος της όρασης που σταθεροποιείται στην εικόνα για να πειστεί ο εγκέφαλος να επικεντρωθεί στην εικόνα. Σε μια τροποποιημένη μέθοδος ο θεατής κοιτάζει στην αντανάκλαση του στη λαμπερή επιφάνεια της εικόνας, το οποίο ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται ότι βρίσκεται δύο φορές πιο μακριά όσο η ίδια η εικόνα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τον εγκέφαλο να αποκτήσει την απαιτούμενη απόκλιση, εστιάζοντας στην κοντινή εικόνα.

Για αυτοστερεογράμματα cross-eyed, χρειάζεται μια διαφορετική προσέγγιση. Ο θεατής μπορεί να βάλει ένα δάχτυλο ανάμεσα στα μάτια του και να το κινήσει αργά προς την εικόνα. Διατηρώντας



συνέχεια την εστίασή του στο δάχτυλο, κάποια στιγμή θα εστιάσει στο σωστό σημείο ανάμεσα σε αυτόν και την εικόνα, στο οποίο θα μπορέσει να δει τη ψευδαίσθηση.

## 2.4. ΠΡΟΒΟΛΕΑΣ

Προβολέας είναι μια οπτική συσκευή η οποία προβάλλει την εικόνα (ή τις κινούμενες εικόνες) επάνω σε μια επιφάνεια, συνήθως μια οθόνη προβολής. Οι περισσότεροι προβολείς δημιουργούν μια εικόνα από ένα λαμπρό φως μέσα από ένα μικρό διαφανή φακό, αλλά μερικοί νεότεροι τύποι προβολέων μπορεί να προβάλλουν την εικόνα άμεσα, με τη χρήση λέιζερ. Ο πιο κοινός τύπος του προβολέα χρησιμοποιείται σήμερα ονομάζεται videoprojector (βίντεο προτζέκτορ). Οι βιντεοπροβολείς αντικαταστάθηκαν ψηφιακά με προηγούμενους τύπους προβολέων, όπως προβολείς διαφανειών και επιδιασκόπια. Από τη δεκαετία του

Το 1990 άρχισε η αντικατάσταση της παλιάς τεχνολογίας προβολέων και ως τις αρχές της δεκαετίας του 2000 σχεδόν αντικαταστήθηκαν πλήρως εκτός ορισμένων περιπτώσεων όπου εξακολούθησαν να χρησιμοποιούν τους παλαιάς τεχνολογίας αναλογικούς προβολείς. Οι νέες πλέον τεχνολογίας προβολείς είναι κατά κύριο λόγο φορητές συσκευές όπου προβάλλουν τις εικόνες με την χρήση του λέιζερ ή λυχνιών λεντ (led). Μειονεκτούν ως προς την μη δυνατή προβολή εικόνων όταν το περιβάλλον προβολής διακατέχεται από φως. Στον χώρο της τέχνης και συγκεκριμένα στο θέατρο και τον κινηματογράφο χρησιμοποιείτε κατά κόρον ένας τύπος προβολέα ονομαζόμενος μηχανή προβολής

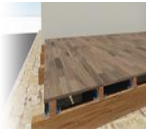
Οι προβολείς ανήκουν ιστορικά στην οικογένεια των καμερών. Ήδη από τον 4ο αιώνα π. Χ. , οι Έλληνες, όπως ο Αριστοτέλης και ο Ευκλείδης έγραψαν επί φυσικώς ενυπάρχων υποτυπώδη πίνχολ κάμερας. Για παράδειγμα, το φως μπορεί να ταξιδέψει μέσα από τις σχισμές των ψάθινων καλάθιων ή τη διέλευση στα φύλλα των δέντρων.

Το 10ο αιώνα ο Alhazen, Ιρανός επιστήμονας μαθηματικός αστρονόμος και φιλόσοφος βελτίωσε την κάμερα μετά τη διαπίστωση ότι όσο μικρότερη είναι η οπή, τόσο πιο έντονη είναι η εικόνα (αν και το λιγότερο φως), όπου δημοσιεύθηκε στο βιβλίο της Οπτικής στο 1021<sup>35</sup>. Όταν ο ίδιος άρχισε να

35 Wiegmann, T. , & Inhester, B. (2006). Magnetic stereoscopy. Solar Physics, 236(1), 25-40.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



πειραματίζεται με την *camera obscura* δήλωσε *Etnos non inventi musita*, «δεν εφηύραμε εμείς αυτό». Αυτή του η διαπίστωση παρέχει την πρώτη σαφή περιγραφή για την κατασκευή ενός κάμερα *obscura* (λατ. Σκοτεινός θάλαμος). η εφεύρεσή του τον κατοχύρωσε ως τον πρώτο άνθρωπο άλλαξε τη φυσική από φιλοσοφική σε πειραματική βάση.

Κατά τον 5ο αιώνα π. Χ. , ο φιλόσοφος *mojing* ιδρυτής της σχολής Mohist (墨經 στα κινέζικα) και σθεναρός υποστηρικτής εναντίων του κομφουκιανισμού και του ταοϊσμού στην αρχαία Κίνα ανέφερε το αποτέλεσμα ενός ανεστραμμένου σχηματισμού εικόνας μέσα από μια τρυπούλα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου εμπόλεμων κρατών, η σχολή Mohism ενεργά αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε σε πολλά κράτη, αλλά, όταν η νομικιστής δυναστεία Τσιν ήρθε στην εξουσία γνώρισε σε δυσμενείς καταστάσεις. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, πολλές Mohist κλασικά καταστράφηκαν όταν ο αυτοκράτορας Qin Shi Huang πραγματοποιεί το κάψιμο των βιβλίων και την ταφή των μελετητών<sup>36</sup>. Η σημασία της Mohism μειώθηκαν περαιτέρω όταν ο Κομφουκιανισμός έγινε η κυρίαρχη σχολή σκέψης κατά τη διάρκεια της δυναστείας των Χαν<sup>37</sup>. Η εικόνα ενός ανεστραμμένου κινεζικού παγόδα αναφέρεται από τον κινέζο συγγραφέα και μελετητή της δυναστείας των Τανγκ, αυτοκρατορική δυναστεία της Κίνας, στο βιβλίο του «διάφορα μικρά τεμάχια από γιουγιανγκ». <sup>38</sup> Παράλληλα με τον πειραματισμό της πίνχολ κάμερα (*pinhole camera*) και του αντεστραμμένου ειδώλου των αρχαίων Μοχίστες (Mohists) την περίοδο της δυναστείας τον Σονγκ ο κινέζος επιστήμονας και πολιτικός Sen Kuo (Σεν Κούο) πειραματίστηκε με την κάμερα ομπσούρα (*cameraobscura*) και υπήρξε ο πρώτος που καθιέρωσε γεωμετρικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά. Τον 13ο αιώνα, ο Robert Grosseteste και Roger Bacon, αναφέρθηκαν στην *pinhole* κάμερα. Μεταξύ 1000 και 1600 ανδρών όπως ο Ibn al – Haytham (Ιμπν αλ Χάιθαμ), Gemma Frisius (Τζέμμα Φρίσιους), και Giambattista della Porta (Τζιαμπατίστα Δελαπόρτα) συνέγραψαν εξηγώντας την αναστροφή των εικόνων. Μια ακόμα πρόοδο της εποχής αλλά και των πίνχολ καμερών είναι πως πλέον μπορεί να παρατηρηθεί μέσα από της κάμερα ηλιακή έκλειψη

36 Brewster, D. (2001). An account of a new stereoscope. SPIE MILESTONE SERIES MS, 162, 111-112.

37 Mountney, P. , Stoyanov, D. , Davison, A. , & Yang, G. Z. (2006). Simultaneous stereoscope localization and soft-tissue mapping for minimal invasive surgery. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2006* (pp. 347-354). Springer Berlin Heidelberg.

38 Kim, C. , Hornung, A. , Heinzle, S. , Matusik, W. , & Gross, M. (2011). Multi-perspective stereoscopy from light fields. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 30(6), 190.





με ασφάλεια για την όραση εφόσον μειώνεται η ένταση της λάμψης λόγω του μεγέθους της μικρής οπής.

Η πρώτη γνωστή καταγραφή απεικόνισης μιας εικόνας προβαλλόμενη σε μια επιφάνεια είναι ένα σχέδιο από τον Johannes de Fontana (Γιοχάνες Ντε Φοντάνα) το έτος 1420<sup>39</sup>. Το σχέδιο απεικόνιζε μια καλόγρια όπου κρατούσε κάτι που θα μπορούσε να είναι φανάρι. Το φανάρι είχε ένα μικρό ημιδιαφανές παράθυρο το οποίο περιείχε μια εικόνα του διαβόλου να κρατά ένα κοντάρι. Ο Leonardo da Vinci (Λεονάρντο Ντα Βίντσι) έκανε επίσης ένα παρόμοιο σχήμα το 1515. Αυτά τα σχέδια είναι πιθανό να έχουν ενέπνευσαν τη δημιουργία μια συσκευή επονομαζόμενη μαγικό φανάρι (magic lantern ή *laterna magica*)<sup>40</sup>. Τον 17ο αιώνα αναπτύχθηκε το πρώτο μαγικό φανάρι. Έως τώρα οι πίνχολ κάμερες και οι κάμερα ομπσούρα καθιστούσαν δυνατή την προβολή μια φυσικής εικόνας σε μια επιφάνεια όπως μια εικόνα του ήλιου. Το μαγικό φανάρι από την άλλη πλευρά θα μπορούσε να προβάλλει μια εικόνα ζωγραφισμένη πάνω σε μια επιφάνεια, και σηματοδοτεί την εποχή όπου μηχανές λήψης και προβολής έγινε δύο διαφορετικά είδη συσκευών. Έχει υπάρξει κάποια συζήτηση σχετικά με το ποιος είναι ο αρχικός εφευρέτης του μαγικού φαναριού, αλλά η πιο ευρέως αποδεκτή θεωρία είναι ότι ο Christiaan Huygens<sup>41</sup> εξέχων Ολλανδός μαθηματικός και επιστήμονας καθώς και αστρονόμος ανέπτυξε το πρωτότυπο της συσκευής στα τέλη της δεκαετίας του 1650.

---

39 Kunita, Y. , Ogawa, N. , Sakuma, A. , Inami, M. , Maeda, T. , & Tachi, S. (2001, March). Immersive autostereoscopic display for mutual teleexistence: TWISTER I (Teleexistence Wide-angle Immersive STEReoscope model I). In *Virtual Reality, 2001. Proceedings. IEEE* (pp. 31-36). IEEE.

40 Mountney, P. , Stoyanov, D. , Davison, A. , & Yang, G. Z. (2006). Simultaneous stereoscope localization and soft-tissue mapping for minimal invasive surgery. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2006* (pp. 347-354). Springer Berlin Heidelberg.

41 Holmes, O. W. (1859). The stereoscope and the stereograph. *Atlantic Monthly*, 3(20).





Εικόνα47. Σκίτσο Johannes de Fontana από την Camera Obscura το 1420



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

### 3. 1. Το φαινόμενο από άποψη γεωμετρίας

Η προβολική γεωμετρία συνιστά μία μη μετρική μορφή γεωμετρίας και ασχολείται κατά βάση με τις ιδιότητες γεωμετρικών σχημάτων υπό προβολή. Αρχικά αναπτύχθηκε από τον G. Desargues (1591-1661)<sup>42</sup> ως εναλλακτικός τρόπος για την κατασκευή προ-οπτικών σχεδίων και εξελίχθηκε στον χώρο των μαθηματικών από τον J. V. Poncelet τον 19ο αιώνα ([http://en.wikipedia.org/wiki/Projective\\_geometry](http://en.wikipedia.org/wiki/Projective_geometry)). Η έννοια μη μετρική γεωμετρία, σε αντίθεση με την Ευκλείδεια, έγκειται στο ότι κατά την κεντρική προβολή γεωμετρικών σχημάτων δεν διατηρούνται μεγέθη όπως τα μήκη πλευρών και οι γωνίες μεταξύ πλευρών. Αντίστοιχα, ευθείες παράλληλες (μη τεμνόμενες) προβάλλονται ως συγκλίνουσες σε συγκεκριμένο σημείο (σημείο φυγής). Η προβολική γεωμετρία μπορεί, κατά μία έννοια, να θεωρηθεί ως προέκταση της ευκλείδειας εάν η διεύθυνση ευθείας θεωρηθεί ως ένα πρόσθετο σημείο της, οπότε όλες οι διευθύνσεις που αντιστοιχούν σε συνεπίπεδες ευθείες σχηματίζουν μια νέα ευθεία. Συνεπώς, δύο παράλληλες ευθείες θα τέμνονται επί του ορίζοντα (στο σημείο του απείρου), δεδομένου ότι έχουν την ίδια διεύθυνση.

Η προβολική γεωμετρία αποτελεί βασικό εργαλείο για την μοντελοποίηση και ανάλυση προβλημάτων που σχετίζονται με προβολές (πχ. κεντρική προβολή που παράγεται από φωτογραφική μηχανή). Η χρήση των προβολικών ιδιοτήτων έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται το γεγονός ότι σημεία του απείρου σε έναν προβολικό χώρο είναι δυνατόν να αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και τα υπόλοιπα σημεία, δηλαδή χωρίς ανάγκη για περιορισμούς και διερεύνηση ειδικών περιπτώσεων. Έτσι η προβολική γεωμετρία συμπεριλαμβάνει μεγαλύτερο πλήθος μετασχηματισμών (προβολικό και αφινικό) από την ευκλείδεια, οι οποίοι είναι χρήσιμοι για να περιγραφεί πληρέστερα η διαδικασία απεικόνισης σχημάτων μέσω φωτογραφικής μηχανής. Επίσης, σε αυτήν δεν γίνεται διάκριση σημείων και ευθειών, με αποτέλεσμα οι τελευταίες να χρησιμοποιούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

---

42 Kim, C. , Hornung, A. , Heinzle, S. , Matusik, W. , & Gross, M. (2011). Multi-perspective stereoscopy from light fields. ACM Transactions on Graphics (TOG), 30(6), 190.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Ένα υπολογιστικό σύστημα συνδεδεμένο με οπτικούς αισθητήρες (κάμερες) δέχεται ως είσοδό του την μαθηματικά κωδικοποιημένη μορφή των εικόνων. Ανάλογα με τα ζητούμενα αποτελέσματα της επεξεργασίας εικόνας ο υπολογιστής καλείται να εντοπίσει στοιχεία τα οποία περιέχουν εξειδικευμένες πληροφορίες. Τα στοιχεία αυτά καλούνται γνωρίσματα (features) χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν εικόνες, ακολουθίες βίντεο ή ακόμα και αντικείμενα των εικόνων. Για να φτάσουμε στο στάδιο αυτό ξεκινούμε εξάγοντας γνωρίσματα χαμηλού επιπέδου. Με βάση αυτά εξάγεται η πληροφορία υψηλότερου επιπέδου υπολογίζοντας νέα χαρακτηριστικά με μεγαλύτερη σημασιολογική πληροφορία.

Η κατάτμηση κίνησης (motion segmentation)<sup>43</sup> έχει να κάνει με τον διαχωρισμό του κινούμενου αντικειμένου για το οποίο ενδιαφερόμαστε (object of interest - OOI) από την εικόνα του φόντου. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το αντικείμενο είναι κινούμενο, μας συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε λήψη ακολουθίας βίντεο. Η λήψη βίντεο ενδείκνυται καθώς επιτρέπει την εφαρμογή του αλγορίθμου και σε online καταστάσεις. Ο αλγόριθμός μας επιθυμούμε να είναι εύρωστος (robust) στον θόρυβο και στις αλλαγές του φόντου και του φωτισμού.

Η στερεομετρία είναι ο κλάδος της γεωμετρίας, ο οποίος μελετά τις ιδιότητες σχημάτων που εμφανίζονται στο γεωμετρικό χώρο. Ο γεωμετρικός χώρος έχει τρεις διαστάσεις, μήκος, πλάτος και ύψος.

Ορθός κύλινδρος ή κύλινδρος εκ περιστροφής ή κύλινδρος λέγεται το σχήμα που παράγεται, όταν ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο εκτελέσει μια πλήρη περιστροφή στο χώρο γύρω από μια πλευρά του. Η πλευρά γύρω από την οποία περιστρέφεται το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο λέγεται άξονας περιστροφής και η πλευρά του ορθογωνίου που είναι παράλληλη με τον άξονα λέγεται γενέτειρα του κυλίνδρου. Η επιφάνεια που δημιουργείται από την περιστροφή της γενέτειρας του κυλίνδρου λέγεται κυρτή επιφάνεια. Οι κύκλοι που δημιουργούνται από τις πλευρές που είναι κάθετες στον άξονα του κυλίνδρου λέγονται βάσεις του κυλίνδρου. Η ακτίνα της βάσης του κυλίνδρου λέγεται ακτίνα του κυλίνδρου και συμβολίζεται με  $R$ . Η απόσταση των δύο βάσεων λέγεται ύψος του κυλίνδρου και συμβολίζεται με  $υ$ .

---

43 Kim, C. , Hornung, A. , Heinzle, S. , Matusik, W. , & Gross, M. (2011). Multi-perspective stereoscopy from light fields. ACM Transactions on Graphics (TOG), 30(6), 190.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Ορθός κώνος ή κώνος εκ περιστροφής ή κώνος λέγεται το σχήμα που παράγεται, όταν ένα ορθογώνιο τρίγωνο εκτελέσει μια πλήρη περιστροφή στο χώρο γύρω από μια κάθετη πλευρά του. Η κάθετη πλευρά γύρω από την οποία περιστρέφεται το ορθογώνιο τρίγωνο λέγεται άξονας περιστροφής και η υποτείνουσα του ορθογωνίου τριγώνου λέγεται γενέτειρα του κώνου και συμβολίζεται με  $l$ . Η επιφάνεια που δημιουργείται από την περιστροφή της γενέτειρας του κώνου λέγεται κυρτή επιφάνεια. Ο κύκλος που δημιουργείται από την πλευρά που είναι κάθετη στον άξονα του κώνου λέγεται βάση του κώνου. Η ακτίνα της βάσης του κώνου λέγεται ακτίνα του κώνου και συμβολίζεται με  $R$ . Η απόσταση της κορυφής του κώνου από την βάση λέγεται ύψος του κώνου και συμβολίζεται με  $u$ .

Κόλουρος κώνος λέγεται το σχήμα που παράγεται, όταν ένα ορθογώνιο τραπέζιο εκτελέσει μια πλήρη περιστροφή στο χώρο γύρω από τη πλευρά που είναι κάθετη στις βάσεις του. Η πλευρά γύρω από την οποία περιστρέφεται το ορθογώνιο τραπέζιο λέγεται άξονας περιστροφής και η πλευρά που δεν είναι κάθετη στις βάσεις του λέγεται γενέτειρα του κόλουρου κώνου και συμβολίζεται με  $l$ . Η επιφάνεια που δημιουργείται από την περιστροφή της γενέτειρας του κόλουρου κώνου λέγεται κυρτή επιφάνεια. Οι κύκλοι που δημιουργούνται από τις πλευρές που είναι κάθετες στον άξονα περιστροφής λέγονται βάσεις του κόλουρου κώνου. Η ακτίνα της μικρής και της μεγάλης βάσης του κόλουρου κώνου συμβολίζονται με  $\rho$  και  $R$ , αντίστοιχα. Η απόσταση των δύο βάσεων λέγεται ύψος του κόλουρου κώνου και συμβολίζεται με  $u$ .

Σφαίρα είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του χώρου που απέχουν σταθερή απόσταση από ένα σταθερό σημείο. Το σταθερό σημείο λέγεται κέντρο της σφαίρας και η σταθερή απόσταση ακτίνα της σφαίρας και συμβολίζεται με  $R$ .

Μια σφαίρα παράγεται όταν ένας κύκλος εκτελέσει μια περιστροφή κατά  $\gamma$  στο χώρο γύρω από μια διάμετρό του. Χορδή της σφαίρας λέγεται κάθε ευθύγραμμο τμήμα που έχει άκρα δύο σημεία της σφαίρας. Κάθε χορδή που διέρχεται από το κέντρο της λέγεται διάμετρος της σφαίρας.



## 3. 2. Το φαινόμενο από άποψη οπτικής

Ο εγκέφαλος παραλαμβάνει την εικόνα και η διαδικασία εναλλάσσεται. Όταν αυτή η εναλλαγή συμβαίνει πολύ γρήγορα (πάνω από 140Hz), τότε ο παρατηρητής βλέπει στερεοσκοπικά. Η οθόνη του υπολογιστή χωρίζεται κατακόρυφα σε δύο τομείς, έναν για κάθε μάτι και διπλασιάζεται η κατακόρυφη ανάλυση της εικόνας. Οι δύο τομείς λειτουργούν ταυτόχρονα (παράλληλο animation), ενώ τα γυαλιά δέχονται διαδοχικά σήματα αδιαφάνειας. Η κινούμενες εικόνες μπορούν να έχουν επομένως πολύ καλή ανάλυση (όμοια με αυτή του DVD). Μια παραλλαγή του συστήματος είναι τα head mounted displays, που -ακριβώς επειδή χρησιμοποιούν δύο μικρές οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD: liquid crystal displays)- έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν όπως το view master, αλλά με κινούμενες εικόνες

Η στερεοσκοπία χρησιμοποιεί τέτοιου είδους ζεύγη δισδιάστατων προοπτικών εικόνων, με απόκλιση των σημείων οράσεως όση και η πραγματική απόσταση των ματιών (6,5-7,0 cm). Κατόπιν οι δύο εικόνες του ίδιου ζεύγους πολώνονται. Με τη χρήση των κατάλληλων φίλτρων μπορούν να δημιουργηθούν στερεογράμματα διασταυρούμενης όρασης.

Ακολουθούμε κάποιες βασικές αρχές για τη δημιουργία της στερεοσκοπικής εικόνας ενός αντικειμένου:

- Η απόσταση των σημείων οράσεως  $O_1O_2$  είναι η πραγματική, ίση με 6,5-7,0 cm και ανεξάρτητη από την κλίμακα σχεδίασης του αντικειμένου
- Το υψόμετρο  $H$  των σημείων οράσεως ( $O_1$  και  $O_2$ ) είναι πάντοτε μεγαλύτερο από το ύψος του αντικειμένου  $H_a$
- Η ευθεία των σημείων οράσεως  $O_1O_2$  είναι πάντοτε οριζόντια και παράλληλη με το επίπεδο προβολής του αντικειμένου, είτε αυτό εδράζεται στο επίπεδο προβολής, είτε όχι
- Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του οριζοντίου επιπέδου προβολής της στερεοσκοπικής εικόνας και του κέντρου της με έναν από τους δύο οφθαλμούς, καλό είναι να κυμαίνεται στις 30ο περίπου

Για το κάθε σημείο οράσεως  $O_1$  και  $O_2$  χρησιμοποιούμε φίλτρο διαφορετικού χρώματος και με τα ανάστροφα χρώματα σχεδιάζουμε τις εικόνες παράλλαξης. Συνήθως χρησιμοποιούνται ζεύγη φίλτρων





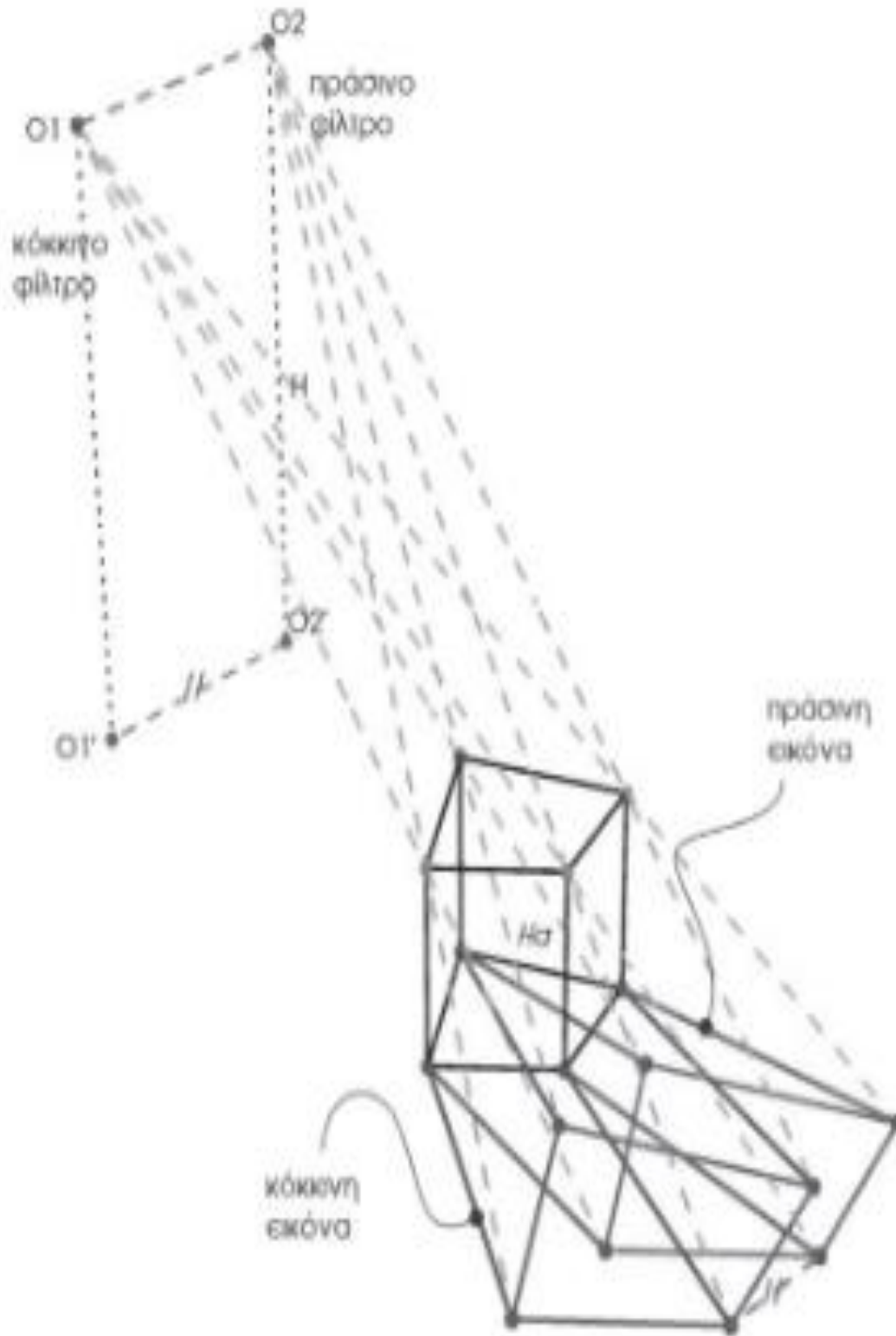
## Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



κόκκινου-μπλε, κόκκινου-γαλάζιου ή κόκκινου-πράσινου. Από τους παραπάνω συνδυασμούς εκείνος που αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα είναι το κόκκινο-πράσινο φίλτρο, διότι το κόκκινο και το πράσινο είναι τα μόνα χρώματα που είναι συμπληρωματικά και με την ίδια τονικότητα. Εάν στο σημείο οράσεως O1 τοποθετηθεί το κόκκινο φίλτρο και στο O2 το πράσινο φίλτρο, τότε οι στερεοσκοπικές εικόνες σχεδιάζονται με ανάστροφα χρώματα. Δηλαδή η εικόνα που βλέπει το σημείο οράσεως O1 πρέπει να είναι σχεδιασμένη με πράσινο χρώμα. Η δεύτερη εικόνα -που είναι σχεδιασμένη με κόκκινο χρώμα- δεν είναι ορατή από το O1, διότι το κόκκινο φίλτρο την απορροφά (σχ. 9). Πραγματοποιείται έτσι απομόνωση των δύο εικόνων παράλλαξης. Για να κατασκευάσουμε τη στερεοσκοπική εικόνα του πρίσματος του σχήματος 9, χρησιμοποιούμε την 1η προβολή του (κάτοψη), σχεδιασμένη στην κλίμακα που μας εξυπηρετεί. Στη συνέχεια τοποθετούμε τις προβολές των σημείων οράσεως O1' και O2' σε πραγματική κλίμακα, στην πραγματική δηλαδή απόσταση μεταξύ τους.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Εικόνα 48. Σχεδιάγραμμα επεξήγησης



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Σχηματίζουμε την ευθεία  $O1'A'$ . Από το σημείο  $O1'$  φέρνουμε ευθεία κάθετη στην  $O1'A'$  και ορίζουμε το πραγματικό ύψος των ματιών  $H$  από το επίπεδο προβολής της στερεοσκοπικής εικόνας, και το σημείο  $(O1)$ . Από το σημείο  $A'$  φέρνουμε άλλη μία ευθεία κάθετη στην  $O1'A'$  και ορίζουμε το ύψος  $H_a$  του πρίσματος στην κλίμακα σχεδίασης και το σημείο  $(A)$ . Ενώνουμε τα σημεία  $(O1)$  και  $(A)$ , που είναι στην ουσία οι κατακλίσεις των σημείων  $O1$  και  $A$  στο επίπεδο προβολής. Στην τομή των  $O1'A'$  και  $(O1)(A)$  βρίσκεται το σημείο  $A1$ , η προοπτική εικόνα του σημείου  $A$  της άνω βάσης του πρίσματος, από τον οφθαλμό  $O1$ . Με τον ίδιο τρόπο εργαζόμαστε για να ορίσουμε και τα υπόλοιπα σημεία της προοπτικής εικόνας του πρίσματος από τον οφθαλμό  $O1$ . Στο παράδειγμα η κάτω βάση του πρίσματος εδράζεται στο επίπεδο προβολής της στερεοσκοπικής εικόνας, επομένως η προοπτική της εικόνα ταυτίζεται με την κάτοψη του πρίσματος.

Για να ορίσουμε την προοπτική εικόνα του πρίσματος από τον οφθαλμό  $O2$ , μπορούμε να εργαστούμε με τον ίδιο τρόπο, αλλά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την ιδιότητα που έχουν τα ευθύγραμμα τμήματα  $A1A2, B1B2$  κ. ο. κ. , να είναι παράλληλα με το ευθύγραμμο τμήμα  $O1'O2'$  (σχ. 11). Έτσι λοιπόν, για να ορίσουμε το σημείο  $B2$ , αρκεί να σχηματίσουμε την  $O2'B'$  και από το σημείο  $B1$  να φέρουμε ευθεία παράλληλη στην  $O1'O2'$ . Στην τομή των παραπάνω ευθειών βρίσκεται το σημείο  $B2$ . Για να ολοκληρωθεί η στερεοσκοπική εικόνα του πρίσματος, σχεδιάζουμε κάθε προοπτική εικόνα με διαφορετικό χρώμα, αντίστοιχο με τα φίλτρα που έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε.

Για να ορίσουμε την προοπτική εικόνα του πρίσματος από τον οφθαλμό  $O2$ , μπορούμε να εργαστούμε με τον ίδιο τρόπο, αλλά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την ιδιότητα που έχουν τα ευθύγραμμο τμήματα  $A1A2, B1B2$  κ. ο. κ. , να είναι παράλληλα με το ευθύγραμμο τμήμα  $O1'O2'$ . Έτσι λοιπόν, για να ορίσουμε το σημείο  $B2$ , αρκεί να σχηματίσουμε την  $O2'B'$  και από το σημείο  $B1$  να φέρουμε ευθεία παράλληλη στην  $O1'O2'$ . Στην τομή των παραπάνω ευθειών βρίσκεται το σημείο  $B2$ . Για να ολοκληρωθεί η στερεοσκοπική εικόνα του πρίσματος, σχεδιάζουμε κάθε προοπτική εικόνα με διαφορετικό χρώμα, αντίστοιχο με τα φίλτρα που έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε.

Ένα στερεόγραμμα μπορεί να δημιουργηθεί επίσης αν σχεδιαστούν οι προοπτικές εικόνες του ίδιου αντικειμένου, τοποθετημένου στην ίδια θέση και φωτισμένου με τον ίδιο τρόπο, αλλά από δύο σημεία οράσεως  $O1$  και  $O2$ , σε απόσταση μεταξύ τους 6,5-7,0 cm στην κλίμακα σχεδίασης του αρχικού αντικειμένου.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Σ' αυτή την περίπτωση οι προοπτικές εικόνες δεν επικαλύπτονται, σχεδιάζονται ξεχωριστά κι ανεξάρτητα κι έπειτα τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη. Η απομόνωση των εικόνων (πόλωση) επιτυγχάνεται αν τοποθετηθεί ανάμεσά τους ένα απλό κατακόρυφο διάφραγμα, ή ένα απλό στερεοσκόπιο, όπως αυτό της εικόνας 15. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ χρήσιμη και στην τρισδιάστατη απόδοση αντικειμένων από φωτογραφία. Το αντικείμενο φωτογραφίζεται δύο φορές με πραγματική απόσταση λήψης 6,5-7,0 cm. Αν οι φωτογραφίες έχουν μικρή χρονική διαφορά, τότε οι συνθήκες φωτισμού του αντικειμένου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν έχουν μεταβληθεί. Οι φωτογραφίες τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη και σε σωστή απόσταση, που καθορίζεται στα 6,5-7,0 cm στο σημείο εστίασης του φακού λήψης. Με ένα απλό στερεοσκόπιο το αντικείμενο αποδίδεται στερεοσκοπικά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΡΟΒΟΛΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Πολλά προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούν να δημιουργήσει ανάγλυφα χρώματος χωρίς κάποιο εξειδικευμένο πρόγραμμα επεξεργασίας γραφικών όπως το Photoshop. Χρησιμοποιώντας σωστές πληροφορίες χρωμάτων, είναι δυνατόν να επιτευχθεί λογική (αλλά δεν είναι ακριβής) γαλάζιο του ουρανού, το πράσινο της βλάστησης, καθώς και κατάλληλες αποχρώσεις του δέρματος. Προβλήματα όμως εμφανίζονται όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη τεχνική στα έντονα χρώματα και υψηλής αντίθεσης αντικείμενα, όπως πινακίδες και παιχνίδια, όταν αυτά περιέχουν χρώματα που είναι κοντά στο κόκκινο ή κυανό. . Ωστόσο, άλλες μέθοδοι απεικόνισης μπορούν να αναπαράξουν εύκολα έγχρωμες φωτογραφίες ή ταινίες, π. χ. στο ενεργό 3D ή πολωμένα 3D συστήματα. Οι διαδικασίες αυτές επιτρέπουν καλύτερη και πιο άνετη προβολή. Πλέον εκτός από την αναπαράσταση σε εκτυπωμένη μορφή τα τελευταία χρόνια η 3D τεχνολογία είναι τώρα εφαρμόσιμη επίσης σε 3D τηλεόραση.

Κάθε φακός επιτρέπει στο μάτι να δει μόνον την όψη που του αντιστοιχεί. Είναι η τεχνολογία 3D που χρησιμοποιείται παγκόσμια για κινηματογραφικές προβολές και έτσι είναι αρκετά διαδεδομένη. Έχει επίσης επιλεγεί από ορισμένους τηλεοπτικούς σταθμούς όπως το SKY Channel. Απαιτείται ειδικά πολωμένη συσκευή 3DTV (ή εξειδικευμένοι προβολείς & οθόνες). Τα πολωτικά γυαλιά μειώνουν την λαμπρότητα της εικόνας. Στην τηλεόραση αυτού του τύπου, κάθε μάτι βλέπει μόνον την μισή κατακόρυφη ανάλυση της εικόνας. Για σωστή απόδοση απαιτείται ο θεατής να κάθεται απευθείας μπροστά στην συσκευή. Ένα πολωμένο 3D σύστημα χρησιμοποιεί γυαλιά πόλωσης για να δημιουργήσει την ψευδαίσθηση των τριών διαστάσεων εικόνας, περιορίζοντας το φως που φτάνει σε κάθε μάτι, ένα παράδειγμα στερεοσκοπικής προβολής.

Για να παρουσιάσει στερεοσκοπικές εικόνες και ταινίες, οι δύο εικόνες προβάλλονται επάνω στην ίδια οθόνη ή προβάλλονται μέσα από διαφορετικά φίλτρα πόλωσης. Ο θεατής φοράει χαμηλού κόστους γυαλιά τα οποία περιέχουν ένα ζεύγος διαφορετικών φίλτρων πόλωσης. Καθώς κάθε φίλτρο αφήνει να περάσει μόνο όποιο φως είναι πολωμένο ομοίως με το φίλτρο και εμποδίζει το φως που είναι πολωμένο κατά την αντίθετη κατεύθυνση, και έτσι κάθε μάτι βλέπει μια διαφορετική εικόνα. Αυτό χρησιμοποιείται για να παράγει ένα τρισδιάστατο αποτέλεσμα προβάλλοντας την ίδια σκηνή και στα δύο μάτια, αλλά απεικονίζοντάς την από ελαφρώς διαφορετικές οπτικές γωνίες. Αρκετοί άνθρωποι μπορούν να δουν τις στερεοσκοπικές εικόνες ταυτόχρονα.





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Για να παρουσιαστεί μια στερεοσκοπική ταινία, δύο εικόνες προβάλλονται επάνω στην ίδια οθόνη μέσω ορθογώνιων φίλτρων πόλωσης (Συνήθως σε 45 και 135 μοίρες). Ο θεατής φοράει γραμμικά πολωμένα γυαλιά τα οποία περιέχουν επίσης ένα ζεύγος ορθογώνιων φίλτρων πόλωσης προσανατολισμένα το ίδιο όπως ο προβολέας. Καθώς κάθε φίλτρο περνά μόνο το φως το οποίο είναι πολωμένο και ομοίως εμποδίζει την ορθογώνια πολωμένο φως, κάθε μάτι βλέπει μόνο μία από τις προβαλλόμενες εικόνες, και το 3D αποτέλεσμα επιτυγχάνεται. Γραμμικά πολωμένο γυαλιά υποχρεώνουν τον θεατή να κρατήσει του ή στο ύψος του κεφαλιού της, όπως κλίση των οπτικών φίλτρων θα προκαλέσει τις εικόνες από τα αριστερά και δεξιά κανάλια να αιμορραγεί πάνω στο αντίθετο κανάλι. Αυτό μπορεί να παραταθεί προβολή άβολα, όπως την κίνηση της κεφαλής περιορίζεται να διατηρήσει το 3D αποτέλεσμα.

Για να παρουσιαστεί μια στερεοσκοπική εικόνα σε κίνηση, θα πρέπει δύο εικόνες να προβληθούν επάνω στην ίδια οθόνη μέσω φίλτρων κυκλικής πόλωσης σε αντίθετη φορά. Ο θεατής φοράει γυαλιά τα οποία περιέχουν ένα ζεύγος φίλτρων ανάλυσης (κυκλικά πολωτικά φίλτρα που έχουν τοποθετηθεί αντίθετα) σε αντίθετη φορά. Το φως που είναι αριστερόστροφα-κυκλικά πολωμένο είναι αποκλεισμένο από το δεξί μέρος του αναλυτή, ενώ το δεξιά-κυκλικά πολωμένο φως σβήνεται από το αριστερό μέρος του αναλυτή. Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με αυτό της στερεοσκοπικής προβολής χρησιμοποιώντας γραμμικά πολωμένα γυαλιά, μόνο που ο θεατής μπορεί να γείρει ή να στρέψει το κεφάλι του αλλού και να εξακολουθεί να διατηρεί τον αριστερό / δεξί διαχωρισμό (αν και στη στερεοσκοπική σύντηξη εικόνας θα χαθεί λόγω της αναντιστοιχίας μεταξύ του επιπέδου των ματιών και του αρχικού πλάνου της κάμερας).

Η QWP μετατρέπει πάντα το κυκλικά πολωμένο φως σε γραμμικά πολωμένο φως. Ωστόσο, η γωνία πολώσεως του γραμμικά πολωμένου φωτός που παράγεται από ένα QWP εξαρτάται από τη φορά του κυκλικά πολωμένου φωτός που εισέρχεται στο QWP. Στην εικόνα, το αριστερόστροφο κυκλικά πολωμένο φως που εισέρχεται στο φίλτρο ανάλυσης μετασχηματίζεται από τον QWP σε γραμμικά πολωμένο φως το οποίο έχει τη διεύθυνση της πόλωσης κατά μήκος του άξονα μετάδοσης του LPF. Ως εκ τούτου, στην περίπτωση αυτή το φως περνά μέσα από το LPF. Σε αντίθεση, το δεξιόστροφο κυκλικά πολωμένο φως θα έχει μετατραπεί σε γραμμικά πολωμένο φως που είχε τη κατεύθυνση της πόλωσης κατά μήκος του άξονα απορρόφησης της LPF, η οποία είναι κάθετα προς τον άξονα μετάδοσης, και ως εκ τούτου αυτό θα είχε αποκλειστεί.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Πολωμένο φως που αντανακλάται από μια συνηθισμένη οθόνη κινηματογράφου συνήθως χάνει το μεγαλύτερο μέρος της πόλωσης του, αλλά η απώλεια είναι αμελητέα αν χρησιμοποιηθεί μια ασημένια οθόνη ή μία αλουμινένια οθόνη. Αυτό σημαίνει ότι ένα ζευγάρι ευθυγραμμισμένοι προβολείς DLP, μερικά φίλτρα πόλωσης, μια ασημένια οθόνη, και ένας υπολογιστής με μια κάρτα γραφικών διπλής κεφαλής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχηματίσουν ένα σύστημα σχετικά υψηλό σε κόστος (άνω των 10.000 \$ ΗΠΑ το 2010) για την εμφάνιση στερεοσκοπικών 3D δεδομένων ταυτόχρονα σε μια ομάδα ανθρώπων που φορούν γυαλιά πόλωσης. Στην περίπτωση της RealD, ένα κυκλικό πολωτικό φίλτρο υγρών κρυστάλλων όπου μπορεί να αλλάξει πολικότητα πολλές φορές ανά δευτερόλεπτο τοποθετείται στο μπροστινό μέρος του φακού του προβολέα. Μόνο ένας προβολέας είναι απαραίτητος, καθώς οι αριστερές και οι δεξιές εικόνες ανά μάτι εμφανίζονται εναλλάξ. Η Sony διαθέτει ένα νέο σύστημα που ονομάζεται RealD XLS, το οποίο δείχνει και τις δύο κυκλικά πολωμένες εικόνες ταυτόχρονα: Ένας μόνο 4K προβολέας εμφανίζει δύο 2K εικόνες τη μία πάνω από την άλλη, ένα ειδικό εξάρτημα φακού πολώνει και προβάλλει τις εικόνες το ένα πάνω στο άλλο.

Οπτικά εξαρτήματα μπορούν να προστεθούν σε παραδοσιακούς προβολείς 35χιλιοστώνγια να προσαρμοστούν και να προβάλλουν ταινίες στην «πάνω-και-κάτω» μορφή, στην οποία κάθε ζεύγος εικόνων είναι στοιβαγμένα μέσα σε ένα πλαίσιο του φιλμ. Οι δύο εικόνες προβάλλονται μέσω διαφορετικών πολώσεων και επιθέτονται πάνω στην οθόνη. Αυτός είναι ένας πολύ αποδοτικός τρόπος για να μετατρέψετε ένα θέατρο για 3-D προβολές και το μόνο που χρειάζεται, είναι οι εξαρτήματα και μία μη αποπολωτική επιφάνεια για οθόνη, αντί για μια μετατροπή σε ψηφιακή προβολή 3-D. Η Thomson Technicolor παράγει έναν προσαρμογέα αυτού του τύπου. Όταν οι στερεοσκοπικές εικόνες είναι να παρουσιαστούν σε έναν μόνο χρήστη, είναι πρακτικό να κατασκευαστεί μια συνδυαστική εικόνα, χρησιμοποιώντας μερικώς επαργυρωμένα κάτοπτρα και δύο οθόνες εικόνας σε ορθή γωνία η μία στην άλλη. Μία εικόνα φαίνεται απευθείας μέσω του γωνιακού κατόπτρου ενώ η άλλη θεωρείται ως μία αντανάκλαση. Πολωμένα φίλτρα συνδέονται με τις οθόνες προβολής εικόνας και κατάλληλα φίλτρα γωνίας φοριούνται όπως τα γυαλιά. Μία παρόμοια τεχνική χρησιμοποιεί μία μόνο οθόνη με μία ανεστραμμένη άνω εικόνα, που προβάλλεται σε οριζόντιο τμηματικό ανακλαστήρα, με μία όρθια εικόνα που παρουσιάζεται κάτω από τον ανακλαστήρα, και πάλι με τους κατάλληλους πολωτές.

Τεχνικές πόλωσης είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν με την τεχνολογία καθοδικού σωλήνα(CRT) από ό, τι με την οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD). Οι συνηθισμένες οθόνες LCD περιέχουν ήδη διατάξεις πόλωσης για τον έλεγχο της παρουσίασης των pixel και αυτό μπορεί να επηρεαστεί με αυτές



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



τις τεχνικές. Το 2003 ο Keigo Iizuka ανακάλυψε μια ανέξοδη εφαρμογή αυτής της αρχής στις οθόνες φορητού υπολογιστή, χρησιμοποιώντας φύλλα σελοφάν. Κάποιος μπορεί να κατασκευάσει ένα χαμηλού κόστους πολωμένο σύστημα προβολής με τη χρήση ενός υπολογιστή με δύο προβολείς και μια οθόνη αλουμινόχαρτο. Η θαμπή όψη του φύλλου αλουμινίου είναι πιο φωτεινή από ό, τι τα περισσότερα συστήματα με ασημένια οθόνη. Αυτό είχε αποδειχθεί στο Πανεπιστήμιο PhraJom Glao, Nonthaburi, της Ταϊλάνδη, το Σεπτέμβριος 2009.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ – ΟΛΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η ολογραφία περιγράφεται ως η διαδικασία αποθήκευσης και αναπαραγωγής ενός συνόλου οπτικών κυμάτων που προέρχονται από ένα αντικείμενο στον χώρο. Το ολόγραμμα, που αποτελεί το μέσο αποθήκευσης, δημιουργείται από την έκθεση ενός υψηλής ανάλυσης φωτοευαίσθητου υλικού σε φως από λέιζερ. Αφού το υλικό αυτό επεξεργαστεί κατάλληλα το ολόγραμμα απεικόνισης είναι έτοιμο. Όταν μια ακτίνα φωτός προσπίπτει πάνω στο ολόγραμμα δημιουργείται μια τρισδιάστατη ολογραφική εικόνα του αντικειμένου η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή από κάποιον που το κοιτάζει από μπροστά<sup>44</sup>.

Τα ολογράμματα δεν είναι κάτι το καινούργιο, ο εφευρέτης τους Dennis Gabor είχε περιγράψει τη δυνατότητα παραγωγής τους από το 1948 (πήρε μάλιστα και βραβείο Νόμπελ γι' αυτό), αρκετά χρόνια μάλιστα πριν εφευρεθεί το laser (1960) που αποτέλεσε την ιδανική πηγή της απαιτούμενης μονοχρωματικής ακτινοβολίας<sup>45</sup>.

Πριν δούμε όμως πώς λειτουργεί η ολογραφία, είναι χρήσιμο να δούμε πώς λειτουργεί το laser και τι είναι το φαινόμενο της συμβολής. Το laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), είναι μια οπτική συσκευή που παράγει μονοχρωματική ακτινοβολία, δηλαδή φως ενός πολύ συγκεκριμένου μήκους κύματος.

Είναι γνωστό ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, και επίσης ότι το «λευκό» φως αποτελείται από ένα μίγμα διαφορετικών χρωμάτων (τα βασικά είναι τα γνωστά επτά του ουράνιου τόξου), στα οποία όπως έδειξε ο Νεύτωνας μπορεί να αναλυθεί το λευκό φως χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα. Όμως, η κάθε απόχρωση του φωτός αντιστοιχεί σε διαφορετική συχνότητα του

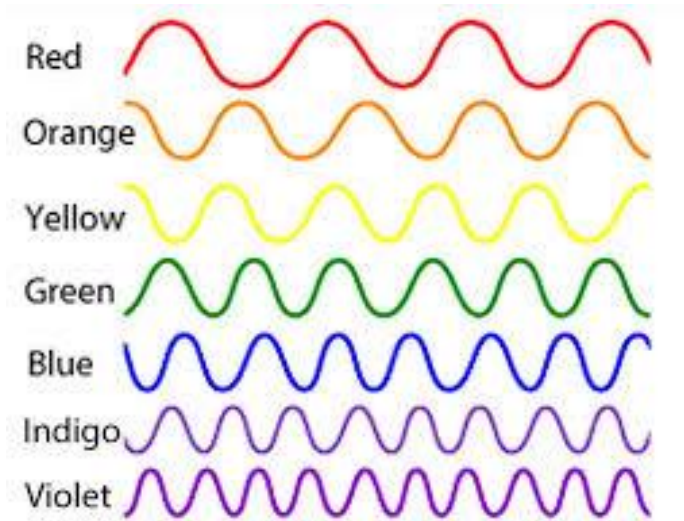
---

44 Lee, S. , & Kim, G. J. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.

45 Brewster, D. (2001). An account of a new stereoscope. *SPIE MILESTONE SERIES MS*, 162, 111-112.



ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, και αυτό δεν επιτρέπει να πάρουμε μια ξεκάθαρη εικόνα σε μια διάταξη συμβολής, για την οποία θα μιλήσουμε παρακάτω<sup>46</sup>.



**Εικόνα 49.** Διαφορετικές συχνότητες των διαφόρων χρωμάτων που αποτελούν το λευκό φως

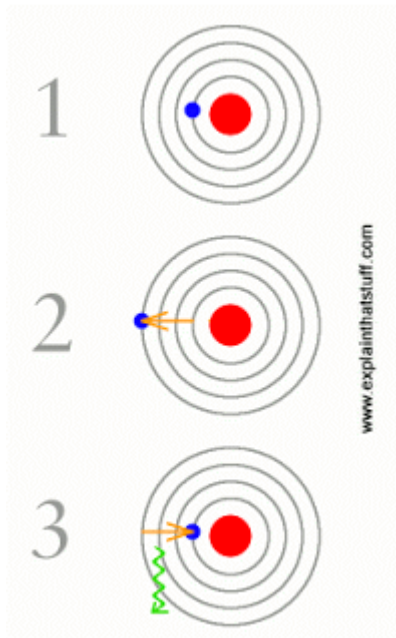
Το βασικό πλεονέκτημα του laser είναι ότι εξαιτίας του τρόπου που παράγεται η φωτεινή δέσμη του (με εκπομπή της ενέργειας αποδιέγερσης των ηλεκτρονίων των ατόμων του αερίου που περιέχει, η οποία είναι συγκεκριμένη και χαρακτηριστική για κάθε αέριο), το φως του αποτελείται από μονοχρωματική ακτινοβολία, δηλαδή μιας μόνο συχνότητας<sup>47</sup>.

---

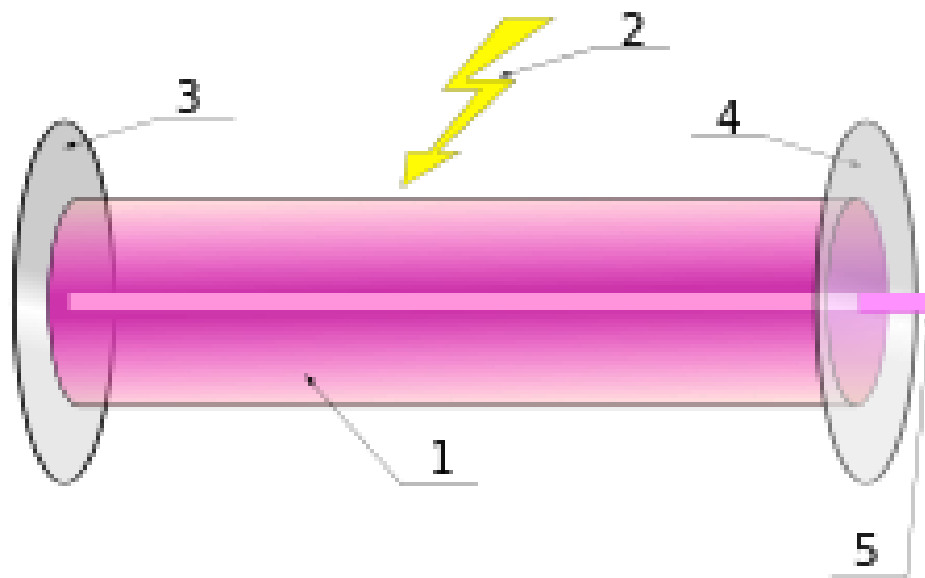
46 Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design (pp. 109-118). ACM.

47 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.





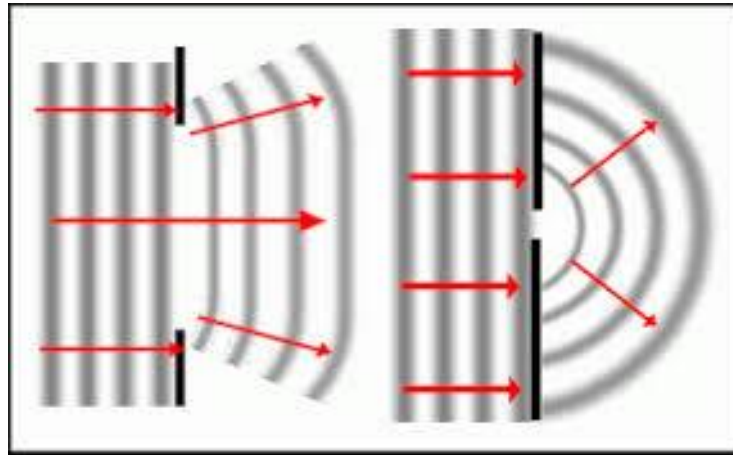
Εικόνα 50. Πώς μία διέγερση προκαλεί την αυτόματη επαναφορά του ηλεκτρονίου στην προηγούμενη ευσταθέστερη κατάσταση, εκπέμποντας την πλεονάζουσα ενέργεια σαν φωτόνιο



Εικόνα 51. Αρχή λειτουργίας του λέιζερ: 1. Ενεργό υλικό του λέιζερ, 2. Προσφερόμενη ενέργεια άντλησης, 3. Υψηλής ανακλαστικότητας κάτοπτρο, 4. Διάταξη εξόδου δέσμης, 5. Δέσμη Λέιζερ



Αφού λοιπόν εξασφαλίσουμε την πηγή του μονοχρωματικού φωτός, ας δούμε τι είναι το φαινόμενο της συμβολής. Το φαινόμενο της περίθλασης (όπως και της συμβολής) αναφέρεται σε κύματα οποιασδήποτε μορφής, αλλά τα πιο χαρακτηριστικά και εύκολα παρατηρήσιμα είναι τα κύματα της θάλασσας, που όταν περάσουν μέσα από ένα στενό άνοιγμα «ανοίγουν» δημιουργώντας ένα τόξο προς τα έξω<sup>48</sup>.

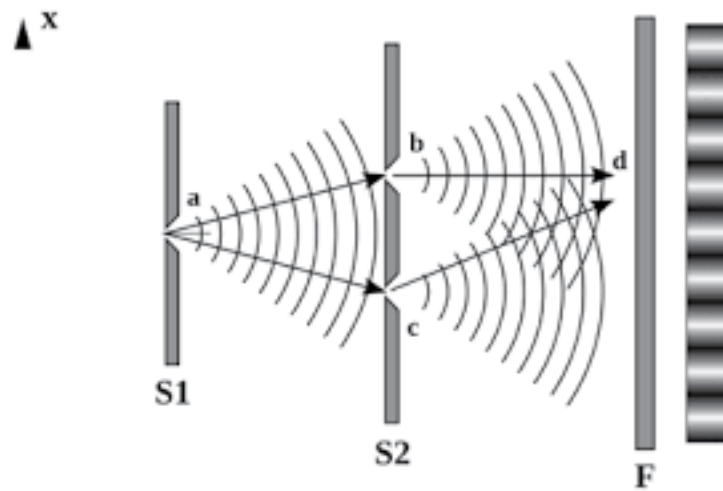


Εικόνα 52. Περίθλαση κυμάτων. Όσο πιο μικρό το άνοιγμα, τόσο πιο έντονη η περίθλαση

Αν τώρα έχουμε δύο ανοίγματα, δημιουργούνται δύο φαινόμενα περίθλασης που συνδυάζονται μεταξύ τους ώστε να δημιουργήσουν ένα «μοτίβο» κορυφών και κοιλάδων, καθώς σε άλλα σημεία το αποτέλεσμα είναι να προστίθενται και σε άλλα μηδενίζεται (κάτω εικόνα). Αυτή είναι η εικόνα της **συμβολής** δύο κυμάτων από αρχική κοινή πηγή, αλλά μπορεί το ίδιο να συμβεί και με δύο διαφορετικές πηγές που έχουν ακριβώς την ίδια συχνότητα και βρίσκονται σε φάση<sup>49</sup>.

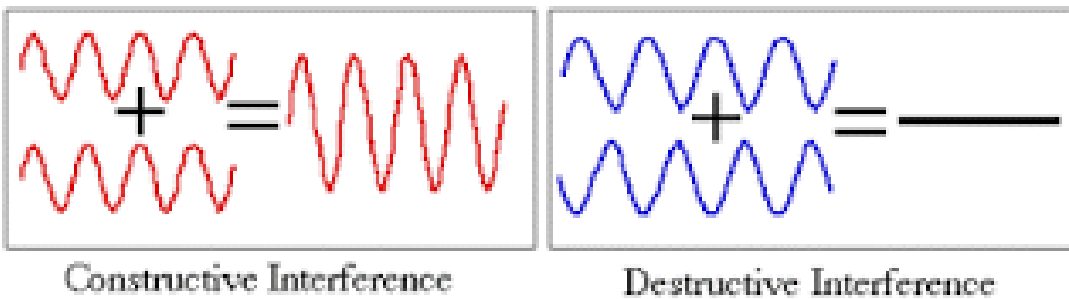
48 Qi, L. , Wang, Q. , Luo, J. , Wang, A. , & Liang, D. (2012a). Autostereoscopic 3D projection display based on two lenticular sheets. Chinese Optics Letters, 10(1), 011101.

49 Wiegmann, T. , & Inhester, B. (2006). Magnetic stereoscopy. Solar Physics, 236(1), 25-40.

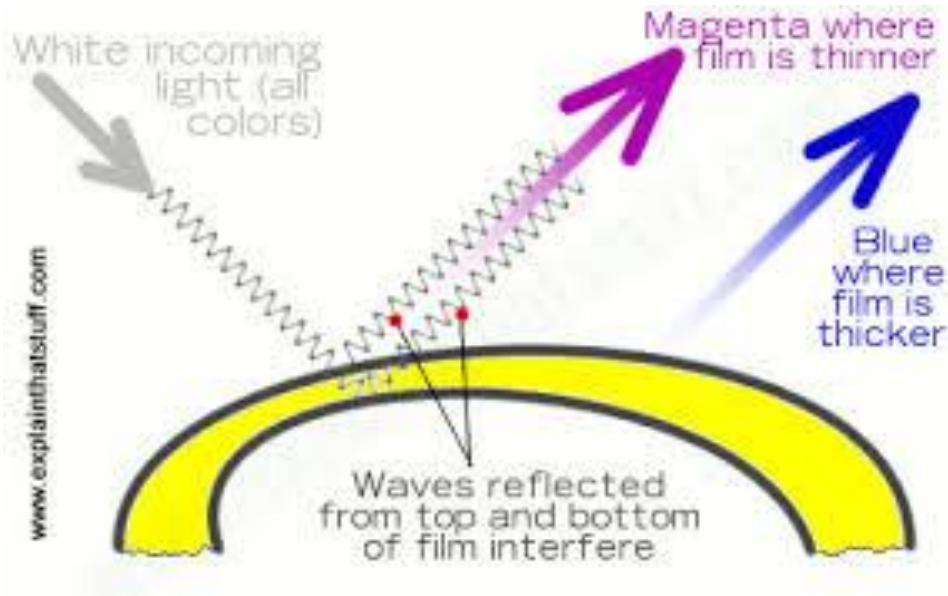


Εικόνα 53. Συμβολή δύο κυμάτων

Το ενδιαφέρον είναι ότι καθώς το αρχικό κύμα (και στη συνέχεια τα δύο κύματα που δημιουργούνται με την περίθλαση) προχωρούν, αν πέσουν πάνω σε κάθετη και σταθερή επιφάνεια αφού έχουν συμβάλει, δημιουργούν μόνιμα σημεία υψηλής και χαμηλής έντασης.



Εικόνα 54. Πώς δημιουργούνται οι έντονες και ασθενείς περιοχές στη συμβολή. Αριστερά ενισχυτική συμβολή όταν οι κορυφές συμπίπτουν, και δεξιά ακυρωτική συμβολή όταν η κορυφή του ενός κύματος συμπίπτει με το κοίλωμα του άλλου.

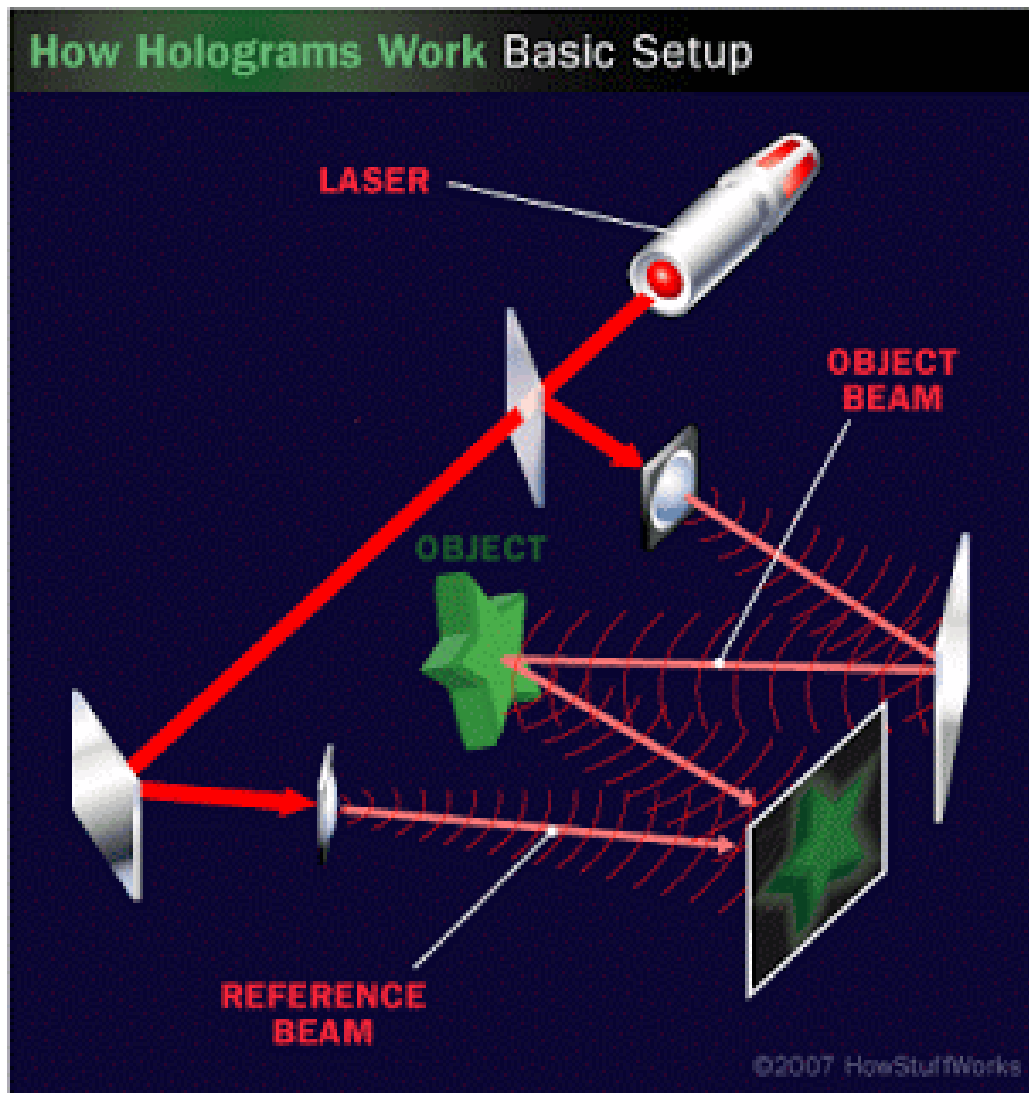


Εικόνα 55. Ένα απλό παράδειγμα διαφορετικών βαθμών συμβολής είναι οι ιριδισμοί στις φουσαλίδες των απορρυπαντικών

Ανάλογα με την γωνία παρατήρησης και το πάχος της μεμβράνης, δηλαδή το βάθος της ανάκλασης, ορισμένες συχνότητες (δηλαδή χρώματα του φωτός) συμβάλλουν ενισχυτικά, ενώ άλλες συχνότητες συμβάλλουν ακυρωτικά. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τους δίσκους των CD και DVD, που ιριδίζουν στο φως<sup>50</sup>.

Τώρα λοιπόν αφού έχουμε εξασφαλίσει μια πηγή laser και καταλάβαμε και την αρχή της συμβολής, μπορούμε να στήσουμε τη διάταξή μας για πάρουμε μια ολογραφική εικόνα.

50 Wiegmann, T. , & Inhester, B. (2006). Magnetic stereoscopy. Solar Physics, 236(1), 25-40.



Εικόνα 56. Αρχή ολογραφίας

Η αρχή της ολογραφίας βασίζεται στη συμβολή δύο φωτεινών δεσμών από κοινή πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας, που μέσω καθρεφτών πέφτουν επάνω σε φωτοευαίσθητη επιφάνεια, η μία κατευθείαν και η άλλη αφού έχει ανακλαστεί επάνω στο αντικείμενο που μας ενδιαφέρει. Επειδή η αρχική δέσμη του laser είναι πολύ στενή, φακοί την «ανοίγουν» ώστε να μπορέσει να φωτίσει όλο το αντικείμενο. Η συμβολή των δύο «διευρυμένων» δεσμών μονοχρωματικού φωτός θα δώσει επάνω στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια φωτεινές και σκούρες περιοχές σαν αποτέλεσμα της συμβολής τους, η εικόνα όμως θα μπορέσει να φανεί μόνο εφόσον η φωτοευαίσθητη επιφάνεια (μετά την επεξεργασία

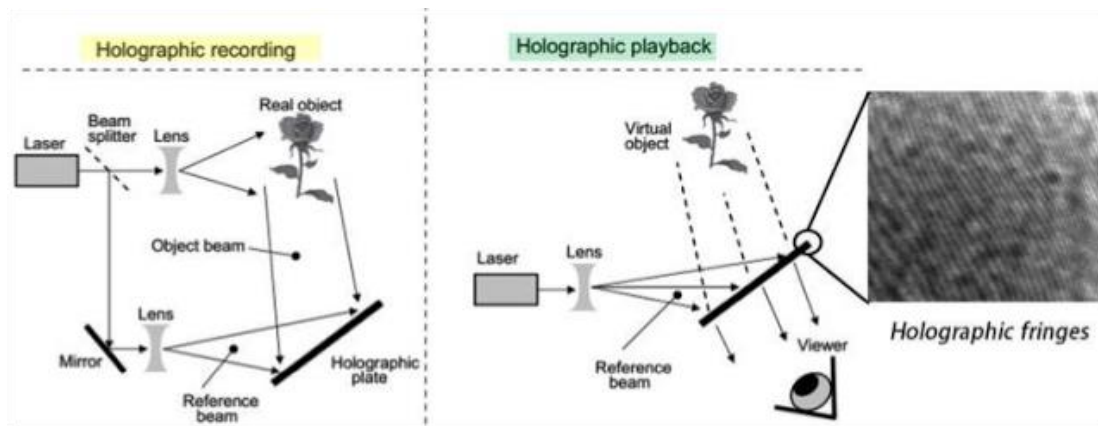


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



για τη σταθεροποίησή της) φωτίζεται από μια δέσμη με τα ίδια χαρακτηριστικά συχνότητας και αντίστοιχη θέση με τη δέσμη αναφοράς (REFERENCE BEAM)<sup>51</sup>.

Το πιο «ευαίσθητο» σημείο, είναι να επιτύχουμε την απόλυτη ακινησία της διάταξης, επειδή εξαιτίας του πολύ μικρού μήκους κύματος του φωτός (γύρω στο 0.5 μm), και η παραμικρή διαταραχή (δονήσεις από διερχόμενα αυτοκίνητα, ομιλίες, ρεύματα αέρα κλπ) θα παραμόρφωνε την εικόνα της συμβολής. Εάν μάλιστα το laser δεν είναι πολύ ισχυρό, ο χρόνος έκθεσης πρέπει είναι της τάξης των μερικών λεπτών, που κάνει την απαίτηση της απόλυτης ακινησίας ακόμη δυσκολότερη. Η φωτοευαίσθητη επιφάνεια αποτελείται από υλικό παρόμοιο με το φωτογραφικό φιλμ, αλλά με πολύ πυκνότερο κόκκο (πολλά περισσότερα pixels θα λέγαμε αν επρόκειτο για ψηφιακή κάμερα), που στερεώνεται επάνω σε γυάλινη ή πλαστική διάφανη επιφάνεια<sup>52</sup>.



Εικόνα 57. Καταγραφή και αναπαραγωγή μιας ολογραφικής εικόνας

Δεξιά φαίνεται μία μεγέθυση τμήματος της εικόνας που αντιπροσωπεύεται από τις σκούρες και φωτεινές περιοχές (όχι από τις γραμμώσεις που φαίνονται). Οι περιοχές αυτές όμως δεν έχουν καμία σχέση με την πραγματική εικόνα κάτω από κοινό φως, και «αποδίδουν» την πληροφορία τους μόνο αν

51 Kunita, Y. , Ogawa, N. , Sakuma, A. , Inami, M. , Maeda, T. , & Tachi, S. (2001). Immersive autostereoscopic display for mutual teleexistence: TWISTER I (Teleexistence Wide-angle Immersive STEReoscope model I). In Virtual Reality, 2001. Proceedings. IEEE (pp. 31-36). IEEE.

52 Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR, 76, 168-191.





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



φωτιστούν με το αρχικό laser και από την ίδια γωνία, οπότε θα δούμε και το τρισδιάστατο «φάντασμα» του αντικειμένου στην αντίστοιχη αρχική του θέση.

Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί για το πείραμά μας η συσκευή Holho Zed. Η Holho Zed, που έχει συμβατότητα με tablet 10", είναι το συναρμολογούμενο προϊόν της γραμμής Smart της Holho. Είναι εύκολο στη συναρμολόγηση και στην μετακίνηση και χαρακτηρίζεται από το σχεδιασμό μίας και μόνης επιφάνειας, παρέχοντας υψηλή απόδοση. Είναι κατάλληλο για επαγγελματικές παρουσιάσεις, εκθέσεις προϊόντων, καθώς και για βιτρίνες καταστημάτων, και ταινίες. Είναι δυνατόν να εισαχθεί ένα πραγματικό αντικείμενο, προκειμένου να δημιουργηθεί μεγάλη αλληλεπίδραση μεταξύ του πραγματικού αντικειμένου και της ολογραφικής προβολής<sup>53</sup>.

Η συμβατική διαδικασία για την καταγραφή ολογραμμάτων, με χρήση φωτογραφικών πλακών, είναι δύσκολη και χρονοβόρα. Επίσης δεν επιτρέπει την επεξεργασία των ολογραμμάτων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς την χρήση μη γραμμικών οπτικών υλικών. Η κατασκευή CCD με ικανοποιητικό αριθμό και μέγεθος εικονοστοιχείων (pixels) καθώς και υπολογιστών με αρκετή επεξεργαστική ισχύ έκαναν δυνατή την ψηφιακή ολογραφία. Στην ψηφιακή ολογραφία, το ολόγραμμα καταγράφεται απευθείας από τη CCD κάμερα και αποθηκεύεται σε ψηφιακή μορφή. Έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για φωτογραφική πλάκα και για χημική διεργασία εμφάνισης. Η ανακατασκευή του κύματος αντικειμένου που πραγματοποιούνταν με τον φωτισμό του ολογράμματος με το κύμα αναφοράς, στην ψηφιακή ολογραφία γίνεται με αριθμητικές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στο ολοκλήρωμα Fresnel-Kirchhoff που περιγράφει την παράθλαση του κύματος ανακατασκευής που συμβαίνει στο ολόγραμμα. Η ψηφιακή ολογραφία εκτός από την υψηλότερη ταχύτητα καταγραφής ολογραμμάτων και την απαλλαγή από τις χημικές διεργασίες μας προσφέρει την δυνατότητα να επεξεργαστούμε την πληροφορία του ολογράμματος που είναι πια σε ψηφιακή μορφή. Έτσι, μπορούμε να πάρουμε ξεχωριστά την φάση και το πλάτος του κύματος κάτι που όπως θα δούμε παίζει σημαντικό ρόλο στην μικροσκοπική ολογραφία. Ακόμα, είναι δυνατόν με αριθμητικές μεθόδους να εστιάσουμε σε διαφορετικά επίπεδα του αντικειμένου χρησιμοποιώντας την πληροφορία μόνο από ένα ολόγραμμα<sup>54</sup>.

---

53 Banks, M. S. , Read, J. C. , Allison, R. S. , & Watt, S. J. (2012). Stereoscopy and the human visual system. *Motion Imaging Journal, SMPTE*, 121(4), 24-43.

54 Qi, L. , Wang, Q. H. , Luo, J. Y. , Zhao, W. X. , & Song, C. Q. (2012b). An autostereoscopic 3D projection display based on a lenticular sheet and a parallax barrier. *Journal of Display Technology*, 8(7), 397-400.

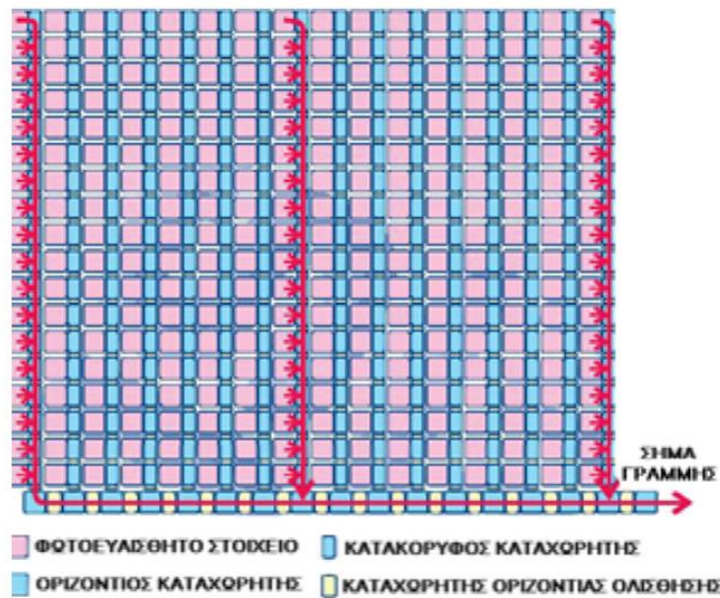


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



CCD είναι μια συσκευή για την κίνηση ηλεκτρικού φορτίου, συνήθως από το εσωτερικό της συσκευής σε κάποια άλλη περιοχή όπου το φορτίο μπορεί να τροποποιηθεί (πχ να μετατραπεί σε μια ψηφιακή τιμή). Αυτό επιτυγχάνεται με την ολίσθηση των σημάτων μεταξύ των σταδίων της συσκευής. Τα CCD δηλαδή, αποτελούνται από χωρητικότητες (πυκνωτές MOS) που έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν φορτίο ανάμεσα τους<sup>55</sup>.

Στην ψηφιακή ολογραφία ιδιαίτερη σημασία έχουν CCD ανιχνευτές (κάμερες). Ο CCD ανιχνευτής είναι ένα σύνολο φωτοευαίσθητων στοιχείων διατεταγμένων σε μορφή πίνακα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Κάθε φωτοευαίσθητο στοιχείο φορτίζεται ανάλογα με την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει πάνω του. Το φορτίο κάθε στοιχείου μεταφέρεται μέσω των οριζόντιων καταχωρητών στους κατακόρυφους και από εκεί στους οριζόντιους καταχωρητές ολίσθησης. Αυτοί τροφοδοτούν έναν ενισχυτή που μετατρέπει το φορτίο σε τάση. Ακολουθεί η ψηφιοποίηση και η επεξεργασία του σήματος.

55 Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design (pp. 109-118). ACM.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

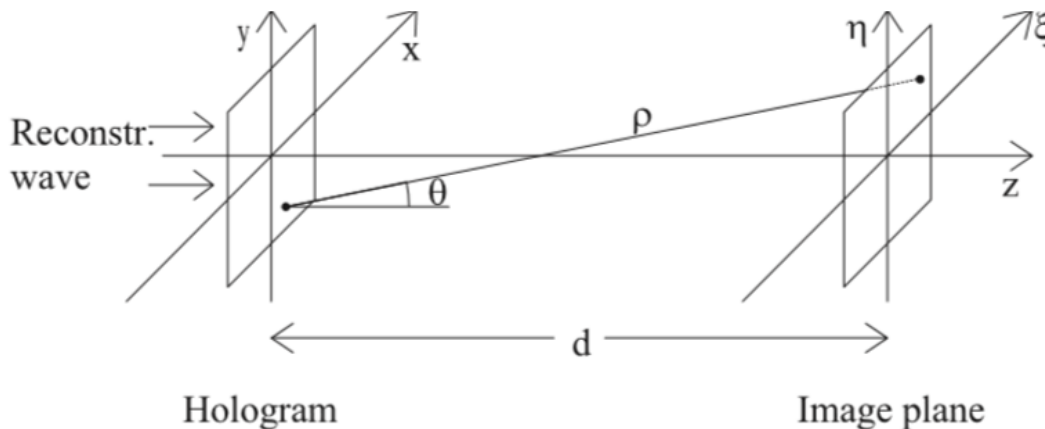


Στην ανακατασκευή του κύματος αντικειμένου με οπτικά μέσα φωτίζουμε το ολόγραμμα με το κύμα αναφοράς το οποίο παραθλάται στην επιφάνεια του ολογράμματος και τελικά ο παρατηρητής βλέπει μια πανομοιότυπη εικόνα με αυτή του αντικειμένου και μάλιστα με όλες τις ιδιότητες (βάθος, εστίαση) που αυτή παρουσιάζει. Στην ψηφιακή ολογραφία η παράθλαση του κύματος του φωτός στο ολόγραμμα περιγράφεται με το ολοκλήρωμα των Fresnel-Kirchhoff και αποτελεί τη βάση όλων των αριθμητικών μεθόδων ανακατασκευής:

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{j}{\lambda} \iint_{-\infty}^{+\infty} t(x, y) * R2(x, y) \frac{\exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\rho)}{\rho} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\theta) dx dy \quad (1)$$

Όπου,  $t$  η συνάρτηση του ολογράμματος,  $R2$  το κύμα ανακατασκευής και  $\rho = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + d^2}$

η απόσταση ανάμεσα σε ένα σημείο στο επίπεδο του ολογράμματος και σε ένα σημείο του επιπέδου ανακατασκευής<sup>56</sup>.



Η προσέγγιση του Fresnel: Όταν οι τιμές των  $x, y, \xi$  και  $\eta$  είναι μικρές συγκρινόμενες με την απόσταση  $d$  το  $\rho$ , στη φάση, μπορεί να αντικατασταθεί με τους πρώτους της σειράς Taylor. Έτσι

56 Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design (pp. 109-118). ACM.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

έχουμε:  $\rho \approx d + \frac{(\xi-x)^2}{2d} + \frac{(\eta-y)^2}{2d}$  Το  $\rho$  στο πλάτος, δηλαδή στον παρονομαστή στην (1) μπορεί να αντικατασταθεί με  $d$ . Ακόμα κάνουμε την προσέγγιση  $\cos\theta \approx 1$ . Τελικά η (1) γίνεται:

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{i}{\lambda d} e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}d} e^{-i\frac{\pi}{\lambda d}(\xi^2 + \eta^2)} \iint_{-\infty}^{+\infty} R2(x, y) * t(x, y) * e^{-i\frac{\pi}{\lambda d}(x^2 + y^2)} e^{i\frac{2\pi}{\lambda d}(x\xi + y\eta)} dx dy \quad (2)$$

Η παραπάνω εξίσωση ονομάζεται προσέγγιση του Fresnel ή μετασχηματισμός του Fresnel. Με τη χρήση της εξίσωσης αυτής μπορούμε να ανακατασκευάσουμε το πεδίο σε ένα επίπεδο πίσω από ο ολόγραμμα. Η ένταση υπολογίζεται ως:  $I(\xi, \eta) = |\Gamma(\xi, \eta)|^2$  και η φάση:

$$\phi(\xi, \eta) = \frac{\text{Im}(\Gamma(\xi, \eta))}{\text{Re}(\Gamma(\xi, \eta))}$$

Για την διακριτοποίηση του μετασχηματισμού Fresnel κάνουμε τις αντικαταστάσεις:  $v = \xi/\lambda d$  και  $\mu = \eta/\lambda d$  Έτσι η (2) γίνεται:

$$\Gamma(v, \mu) = \frac{i}{\lambda d} e^{-i\pi\lambda d(v^2 + \mu^2)} \iint_{-\infty}^{+\infty} R2(x, y) * t(x, y) * e^{-i\frac{\pi}{\lambda d}(x^2 + y^2)} e^{i2\pi(xv + y\mu)} dx dy \quad (3)$$

ο όρος  $e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}d}$  παραλείπεται επειδή επηρεάζει τη συνολική φάση και όχι την φάση του όρου της συμβολής. Παρατηρούμε τώρα ότι το παραπάνω ολοκλήρωμα είναι ο αντίστροφος δισδιάστατος μετασχηματισμός Fourier του

$$R2(x, y) * t(x, y) * e^{-i\frac{\pi}{\lambda d}(x^2 + y^2)}$$

Η συνάρτηση  $\Gamma$  μπορεί να ψηφιοποιηθεί αν γίνει δειγματοληψία της συνάρτησης του ολογράμματος  $t$  πάνω σε ένα τετράγωνο πλέγμα  $N \times N$  σημείων, με βήματα  $\Delta x$  και  $\Delta y$  αντίστοιχα κατά τους δύο κάθετους άξονες του πλέγματος. Έτσι το διπλό ολοκλήρωμα της (3) μετατρέπεται σε μετατρέπεται σε δύο πεπερασμένα αθροίσματα:

$$\Gamma(m, n) = \frac{i}{\lambda d} \exp \left[ -i\pi\lambda d \left( \frac{m^2}{(N\Delta x)^2} + \frac{n^2}{(N\Delta y)^2} \right) \right] \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} R(k, l) h(k, l) \exp \left[ -i\frac{\pi}{\lambda d} ((k\Delta x)^2 + (l\Delta y)^2) \right] \exp \left[ i2\pi \left( \frac{km}{N} + \frac{ln}{N} \right) \right]$$



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Παρατηρούμε ότι εύκολα υπολογίζεται πια το  $\Gamma$ , δηλαδή οι μιγαδικές τιμές της έντασης του πεδίου στο επίπεδο ανακατασκευής, με γνωστούς αλγορίθμους όπως ο FFT αφού το διπλό άθροισμα είναι ο αντίστροφος διακριτός μετασχηματισμός Fourier του:

$$R(k, l)h(k, l) \exp \left[ -i \frac{\pi}{\lambda d} ((k\Delta x)^2 + (l\Delta y)^2) \right]$$

Συγκεκριμένα η κατασκευή με την οποία πραγματοποιείται το πείραμα απεικονίζεται παρακάτω:



## Μαθηματική περιγραφή της κατασκευής

Κύμα αντικειμένου:  $S(\mathbf{r}) = |S(\mathbf{r})| e^{-j\phi(\mathbf{r})}$

Κύμα αναφοράς:  $R_1(\mathbf{r}) = |R_1(\mathbf{r})| e^{-j\psi_1(\mathbf{r})}$

Συμβολή  $\rightarrow$  Συνισταμένη διαταραχή:  $E(\mathbf{r}) = S(\mathbf{r}) + R_1(\mathbf{r})$

Χωρική κατανομή έντασης:  $I(\mathbf{r}) = |E(\mathbf{r})|^2 = |S(\mathbf{r})|^2 + |R_1(\mathbf{r})|^2 + 2|R_1| |S| \cos(\phi - \psi_1)$  Ο τρίτος όρος είναι ο όρος συμβολής

Βάζοντας στη θέση  $z=0$  το καταγραφικό μέσο (φωτογραφική πλάκα ή φιλμ) παίρνω την ένταση πάνω σε αυτό:



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



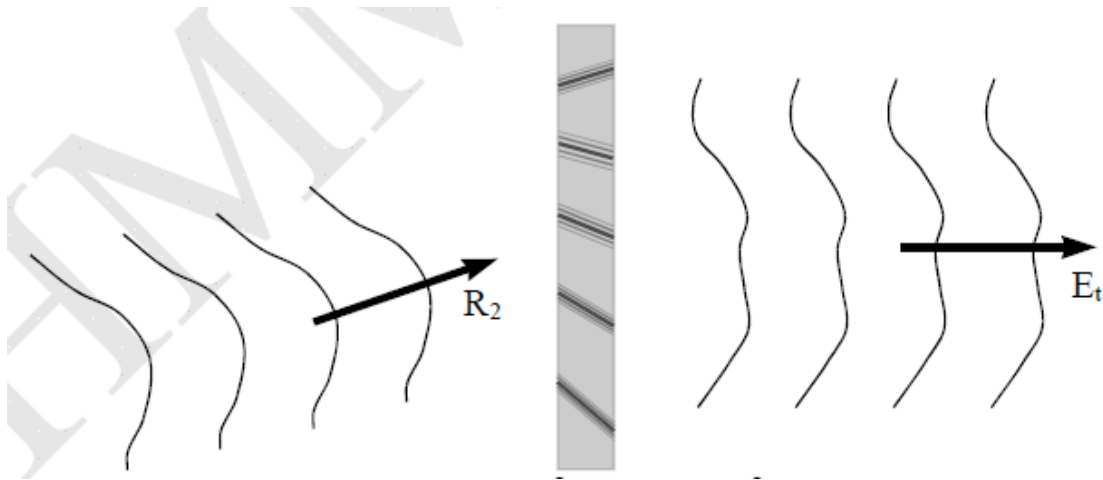
$I(x,y,0) = |S(x,y,0)|^2 + |R1(x,y,0)|^2 + 2 * R1(x,y,0) * S(x,y,0) * \cos(\varphi - \psi1)$  Χρησιμοποιούμε laser, επειδή δεν θέλουμε σύμφωνο φως. Σε διαφορετική περίπτωση ο όρος της φάσης θα μηδενιζόταν.

Η ένταση αυτή αποτελεί την έκθεση έντασης του φιλμ που το αλλοιώνει και αποτυπώνεται σε αυτό διαμορφώνοντας, μετά την εμφάνιση και σταθεροποίησή του, μία συνάρτηση διαπερατότητας καθώς μεταβάλλει τις οπτικές του ιδιότητες:

$$t = t_0 + \beta I(x,y,0)$$

Στο στάδιο της ανακατασκευής όπου το κύμα αντικείμενου είναι άγνωστο για την αναπαραγωγή του 3-D ειδώλου φωτίζουμε το ολόγραμμα (τοποθετημένο στη θέση  $z=0$ ) με ένα κατάλληλο κύμα αναφοράς  $R_2 = R_1^{57}$ .

$$R_2(r) = |R_1(r)| * e^{-j\psi_1(r)}$$



Μετά το ολόγραμμα παίρνουμε 4 κυματικούς όρους

$$E_t = R_2 * t = (t_0 + \beta |R_1|^2) R_2 + \beta |S_0|^2 R_2 + \beta |R_2|^2 S_0 + \beta |R_2|^2 S_0^*$$

Παρατηρούμε ότι οι δύο πρώτοι όροι στα δεξιά της εξίσωσης είναι ανάλογοι του κύματος αναφοράς ανακατασκευής  $R_2$ . Πιο συγκεκριμένα ο πρώτος όρος δίνει κύμα που διαδίδεται ακριβώς

57 Dalsgaard, P., & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design (pp. 109-118). ACM.





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



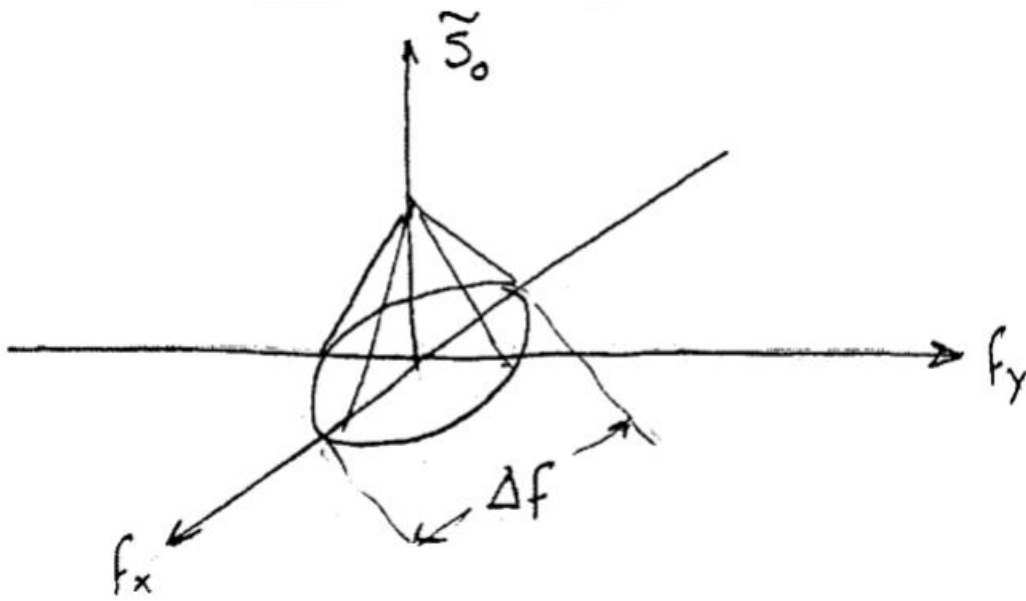
όπως το κύμα αναφοράς αλλά κλιμακωμένο κατά την ένταση και ο δεύτερος κύμα που διαδίδεται κατά τη διεύθυνση του R2 αλλά διευρυμένο και κλιμακωμένο κατά το πλάτος. Οι πιο σημαντικοί όροι είναι ο τρίτος και ο τέταρτος καθώς ο τρίτος περιγράφει ένα κύμα που είναι ανάλογο του κύματος αντικειμένου S0 κλιμακωμένο κατά την ένταση και ο τέταρτος περιγράφει μια διαταραχή ανάλογη του S0\*. Ουσιαστικά το σημαντικό είναι ότι χωρίς να υπάρχει το κύμα αντικειμένου εξ αρχής αυτό τελικά εμφανίζεται φωτίζοντας το ολόγραμμα με κατάλληλο κύμα αναφοράς<sup>58</sup>.

Προηγουμένως εξετάσαμε την συνολική κυματική διαταραχή που παράγεται όταν φωτίζουμε ένα ολόγραμμα, και είδαμε ότι ένας από τους όρους της είναι ανάλογος του κύματος αντικειμένου. Θα πρέπει να αναζητήσουμε τώρα μια συνθήκη χωρικού διαχωρισμού των τεσσάρων όρων, ώστε κάθε μία από τις παραθλώμενες διαταραχές να διαδίδεται σε διαφορετική κατεύθυνση. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να επιλέξουμε κατάλληλη γωνία πρόσπτωσης και μήκος κύματος αναφοράς. Το ζητούμενο είναι βέβαια να βρούμε ποια είναι η ελάχιστη γωνία διαχωρισμού<sup>59</sup>. Την απάντηση θα την αναζητήσουμε στο πεδίο των χωρικών συχνοτήτων, γιατί οι χωρικές συχνότητες εξαρτώνται από το μήκος κύματος και τη γωνία πρόσπτωσης των κυμάτων. Έστω ότι το φάσμα της αρχικής δέσμης του κύματος αντικειμένου:

---

58 Banks, M. S. , Read, J. C. , Allison, R. S. , & Watt, S. J. (2012). Stereoscopy and the human visual system. Motion Imaging Journal, SMPTE, 121(4), 24-43.

59 Banks, M. S. , Read, J. C. , Allison, R. S. , & Watt, S. J. (2012). Stereoscopy and the human visual system. Motion Imaging Journal, SMPTE, 121(4), 24-43.



Γωνιακό φάσμα κύματος αντικειμένου

Τα φάσματα των επίπεδων κυμάτων αναφοράς παριστάνονται με συναρτήσεις  $\delta$ . Οι τέσσερις όροι του κύματος θα έχουν φάσματα:

$$\tilde{E}_{10} \propto \tilde{R}_{20}$$

$$\tilde{E}_{20} = \beta' [\tilde{S}_0 * \tilde{S}_0] * \tilde{R}_{20}$$

$$\tilde{E}_{30} = \beta' \mathcal{F} \{ R_{10}^* R_{20} \} * \tilde{S}_0$$

$$\tilde{E}_{40} = \beta' \mathcal{F} \{ R_{10} R_{20} \} * \mathcal{F} \{ S_0^*(\vec{f}_p) \} = \beta' \mathcal{F} \{ R_{10} R_{20} \} * \mathcal{F}^* \{ S_0(-\vec{f}_p) \}$$

Το εύρος των φασμάτων καθορίζεται από τις ιδιότητες της συνέλιξης. Ο πρώτος όρος  $E_{10}$  έχει φάσμα ανάλογο του  $R_2$  (μια  $\delta$ ). Ο δεύτερος όρος  $E_{20}$  έχει φάσμα  $2\Delta f$ , δηλαδή διπλάσιο του εύρους φάσματος του κύματος αντικειμένου, μετατοπισμένο γύρω από τη συχνότητα του  $R_{20}$ . Τα  $E_{30}$  και  $E_{40}$  έχουν εύρος φάσματος  $\Delta f$  (όπως και το αρχικό κύμα αντικειμένου), μετατοπισμένα στην συχνότητα που ορίζει αντίστοιχα το γινόμενο  $R_{10}^* R_{20}$  και  $R_{10} R_{20}$ . Το φάσμα της συνιστάμενης διαταραχής:





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



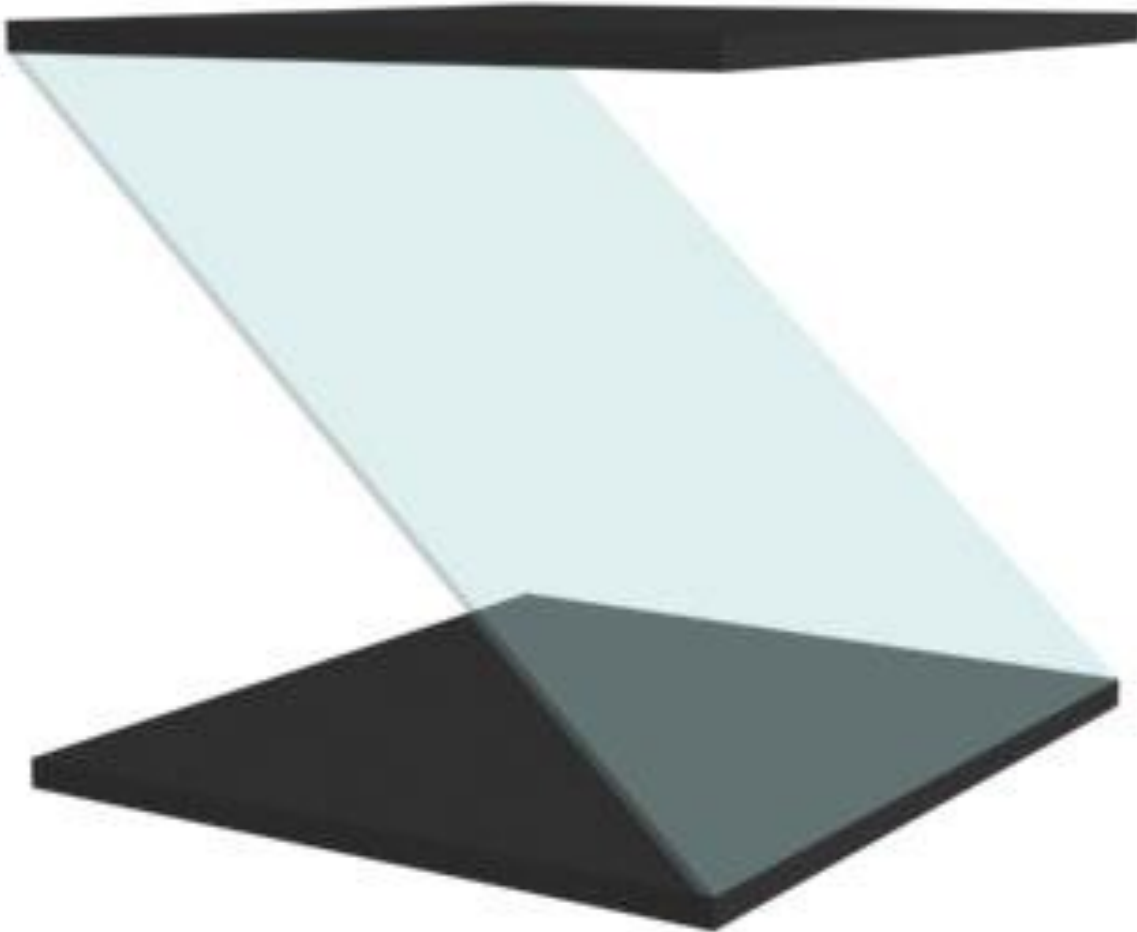
Η συσκευή τρισδιάστατης προβολής η οποία προβλέπεται να κατασκευαστεί ώστε να εξυπηρετήσει την προβολή των οικοδομικών λεπτομερειών που έχουν σχεδιάσθει καθώς και φωτορεαλιστεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς αποτελείται κυρίως από τρία βασικά τμήματα.

Ξεκινώντας από την βάση η οποία δύναται να κατασκευαστεί από συμπαγές υλικό ορθογωνικής διατομής στην οποία επάνω θα στηρίζεται το επόμενο μέρος της συσκευής το οποίο αποτελείται από μια γυάλινη κεκλιμένη κατά  $45^\circ$  επιφάνεια. Το τρίτο και τελικό τμήμα θα είναι μια συσκευή προβολής, ένα είδος προβολέα εικόνων, με τον οποίο προβάλλεται η εικόνα (κινούμενη ή μη) στην επικλινή γυάλινη (η οποιαδήποτε άλλη διάφανη ή ημιδιάφανη) επιφάνεια.

Στην επόμενη σελίδα απεικονίζεται τρισδιάστατα το μοντέλο της συσκευής και στις επόμενες σελίδες θα ακολουθήσουν εικονοστοιχεία, σχεδιασμένα με συγκεκριμένο σημείο φυγής, από την κινούμενη εικόνα που έχουμε δημιουργήσει, εφαρμοσμένα και προβαλλόμενα στην τρισδιάστατη συσκευή.



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



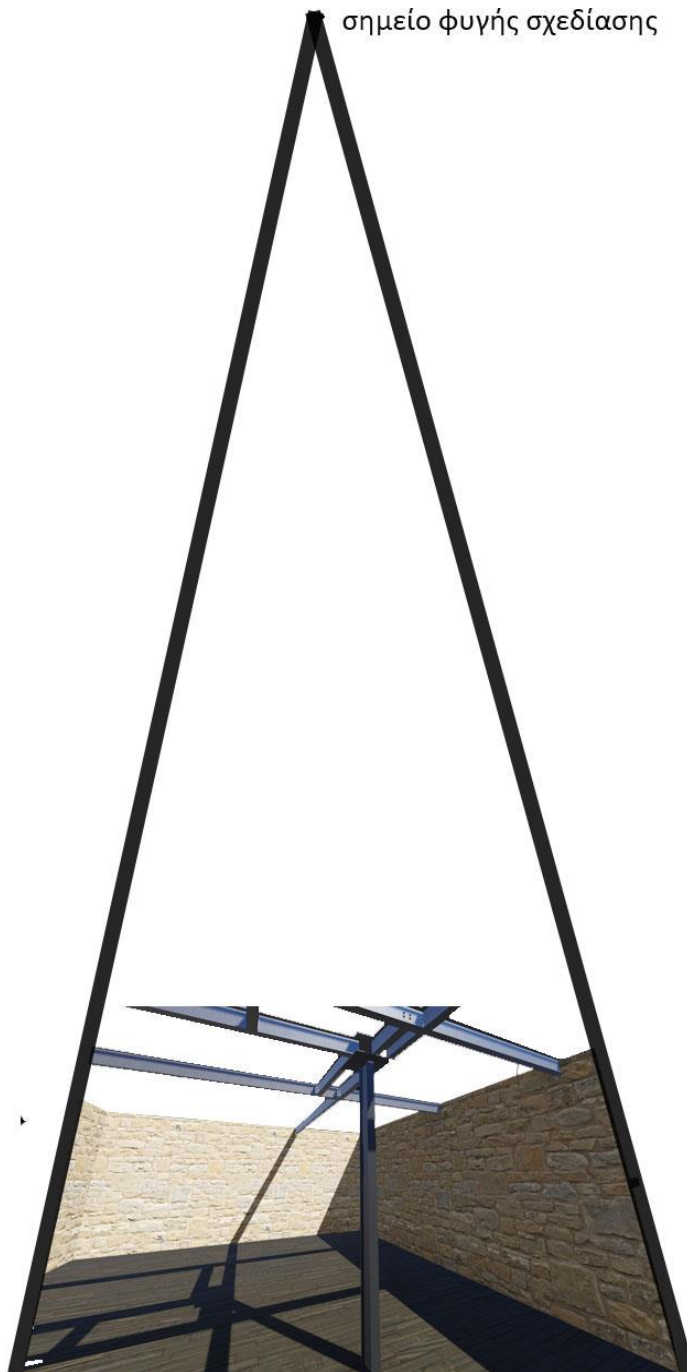
*Συσκευή Τρισδιάστατης Προβολής*



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Προτού αναλύσουμε σταδιακά το σχεδιασμό των οικοδομικών λεπτομερειών θα αναφερθούμε στο κεφάλαιο 2 όπου και έχουμε αναλύσει το προοπτικό σχέδιο και τα γνωρίσματα του. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έχουμε επεξεργαστεί σχεδιαστικά την λεπτομέρεια σύνδεσης μεταλλικής κολόνας με μεταλλικούς δοκούς ώστε να έχουμε το επιθυμητό τρισδιάστατο αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα στην παρακάτω εικόνα βρίσκει εφαρμογή η παράγραφος 2.1.2 όπου και φαίνεται καθαρά το συγκεκριμένο σημείο φύγης της σχεδίασης. Κατά τον ίδιο τρόπο έχουν σχεδιαστεί οι επόμενες εικόνες που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.



Το πολυμεσικό υλικό (εικόνες ή αρχείο κινούμενης εικόνας) έχει παραμετροποιηθεί καταλλήλως με τη χρήση μεθόδου κεντρικής προβολής ώστε να δίνεται η αίσθηση τρισδιαστάτου στον παρατηρητή και να επιτυγχάνεται με αυτό το τρόπο μεγαλύτερη εμβύθυνση.

Στην διπλανή εικόνα παρουσιάζεται χαρακτηριστικά ένα από τα σημεία φυγής που χρησιμοποιήθηκαν ώστε ο παρατηρητής να θεωρεί κοιτάζοντας την εικόνα αυτή στο μέσο προβολής (γυαλί) ότι βλέπει τρισδιάστατο αντικείμενο.

Ακολουθεί μια παρουσίαση από εικόνες όπου φαίνεται η αρχική εικόνα όπως προβάλεται από μια συσκευή προβολή (για παράδειγμα τηλεόραση) η προβολή της στο μέσο προβολής (γυαλί) καθώς και η πρωτότυπη εικόνα καταλλήλως παραμετροποιημένη ώστε να δίνει ψευδαίσθηση τρισδιαστάτου προκειμένου να επιτυγχάνεται (όπως ήδη αναφέρθηκε) μεγαλύτερη εμβύθυνση, όπου περιγράφονται οικοδομικές λεπτομέρειες με σκοπό αφενός να παρουσιαστεί η κατασκευή αφετέρου να δημιουργηθεί εκπαιδευτικό υλικό για το αντίστοιχο μάθημα.

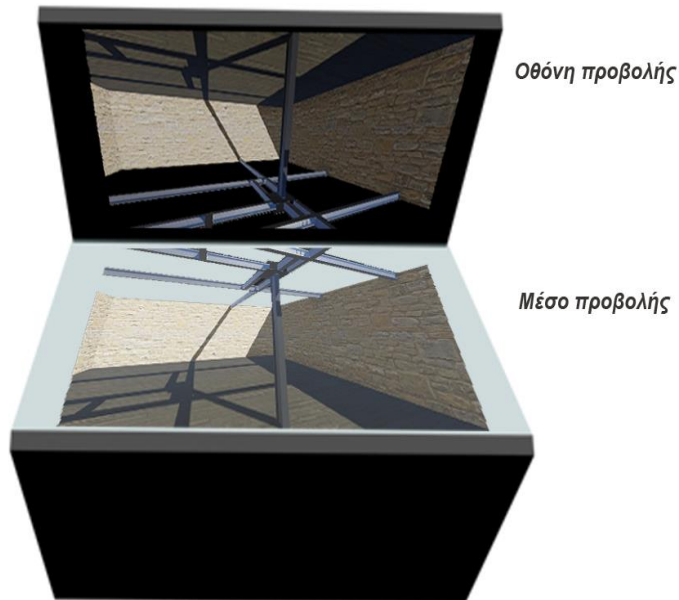




# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

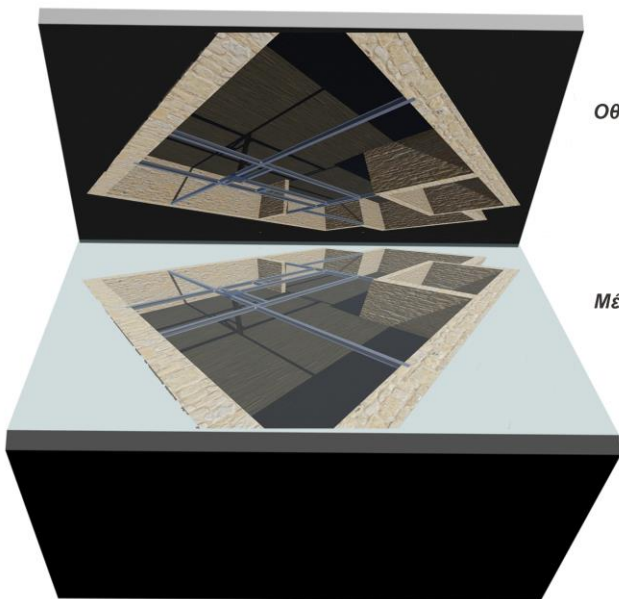


Στις επόμενες δύο εικόνες αναλύουμε σχεδιαστικά την σύνδεση μεταλλικής κολόνας με μεταλλικά βοηθητικά δοκάρια τα οποία θα φέρουν το βάρος μεταλλικών δοκαριών, πέτρινης παραδοσιακής οικίας. Η μεταξύ τους σύνδεση πραγματοποιείται με μεταλλικές γωνιές και μεταλλικούς ήλους. Η εικόνα έχει μορφοποιηθεί κατά τέτοιο ώστε να δίνει στον θεατή την αίσθηση του βάθους και κατα συνέπεια να προβάλλει την εικόνα τρισδιάστατα.



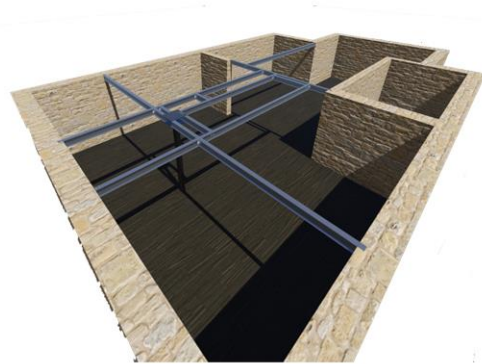


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Οθόνη Προβολής

Μέσο Προβολής



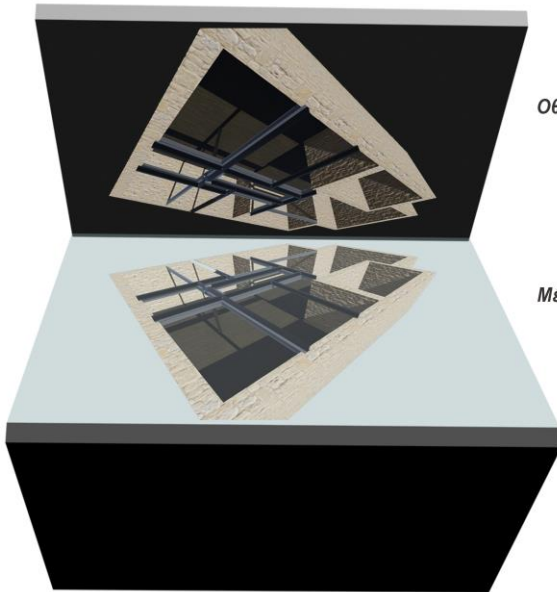
εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

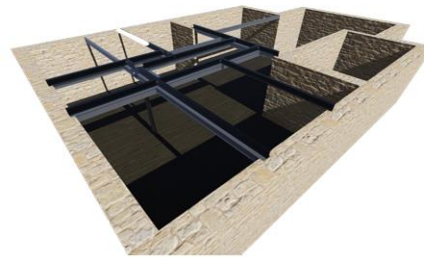


Στο επόμενο στάδιο τα μεταλλικά δοκάρια τα οποία θα φέρουν το βάρος της εσωτερικής τοιχοποιίας εδράζονται και συνδέονται με μεταλλικούς ήλους επάνω στα βοηθητικά μεταλλικά δοκάρια. Τα μεταλλικά δοκάρια της τοιχοποιίας συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικές γωνιές καθώς και μεταλλικούς ήλους όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί. Μια ακόμα λεπτομέρεια που διακρίνεται στις παρακάτω εικόνες είναι πως το ένα άκρο της μεταλλικής δοκού στηρίζεται στην βοηθητική μεταλλική δοκό ενώ το άλλο εδράζεται στην πέτρινη φέρουσα τοιχοποιία σε αντίθεση με το βοηθητικό μεταλλικό δοκάρι το οποίο εισχωρεί στην πετρινή φέρουσα τοιχοποιία.



Οθόνη Προβολής

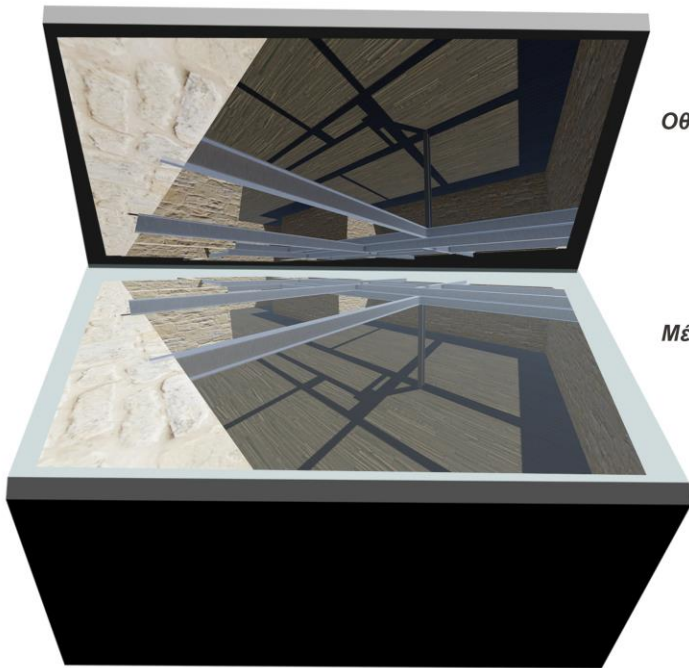
Μέσο Προβολής



εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας

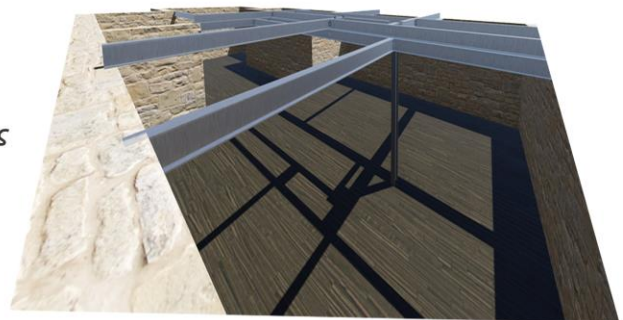


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



*Οθόνη Προβολής*

*Μέσο Προβολής*



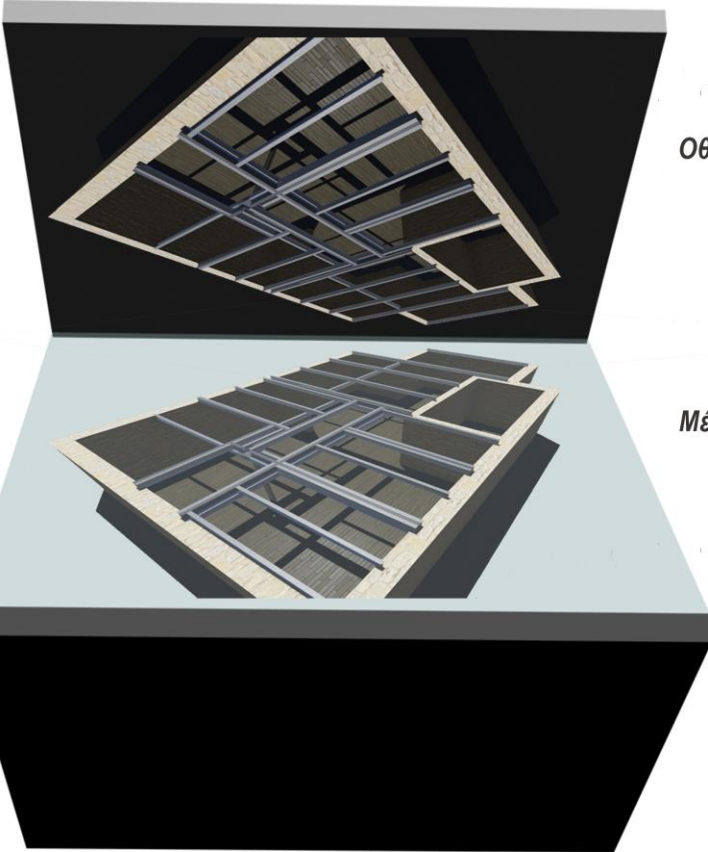
*εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας*



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

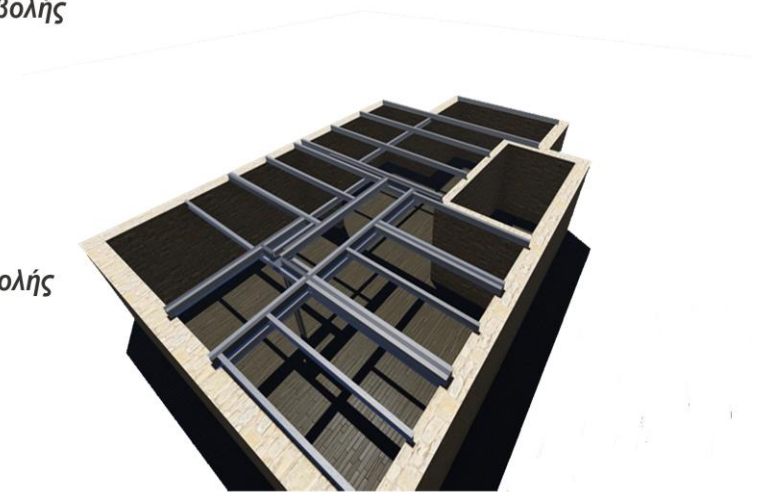


Έπειτα κατά την μικρή διάσταση του μελλοντικού δωματίου το οποίο ορίζεται περιμετρικά από τα μεταλλικά δοκάρια και την τοιχοποιία θα τοποθετηθούν παράλληλα μεταξύ τους και κάθετα της διαστάσεως οι κύριοι μεταλλικοί δοκοί του πατώματος που πρόκειται να κατασκευασθεί.



Οθόνη Προβολής

Μέσο Προβολής



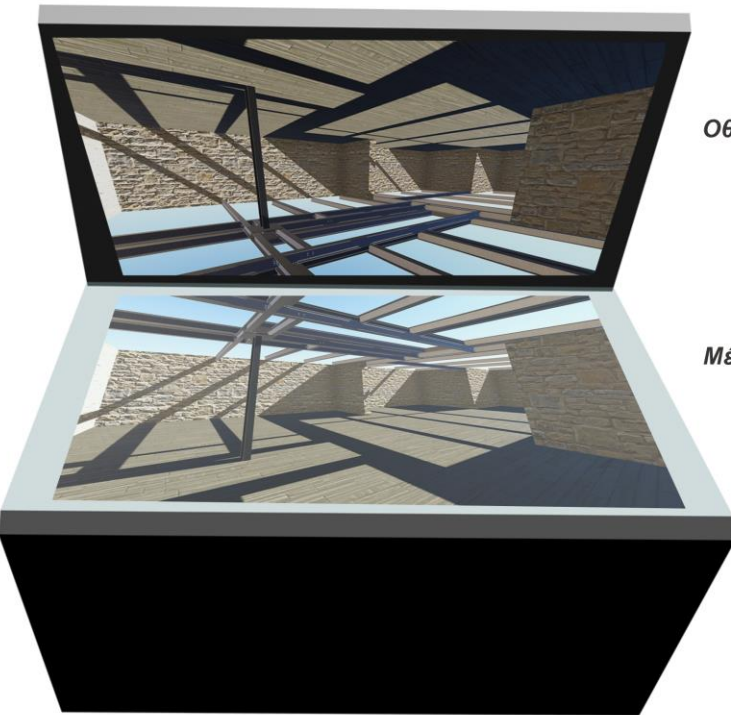
εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας

*Άποψη εικόνας από το κάτω μέρος της κατασκευής*





# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Οθόνη Προβολής

Μέσο Προβολής



εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας

*Άποψη εικόνας από το άνω μέρος της κατασκευής*

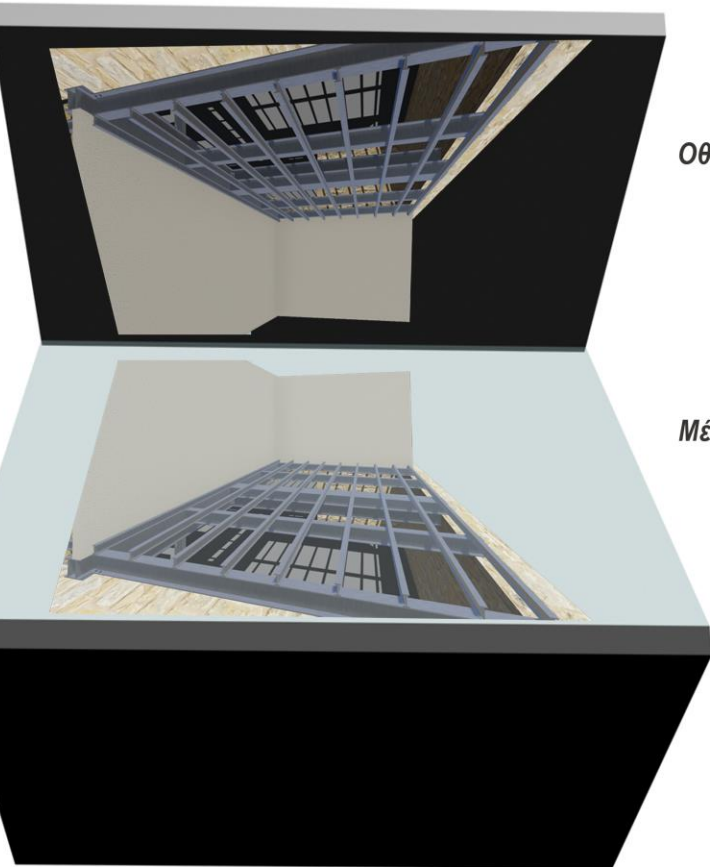




# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

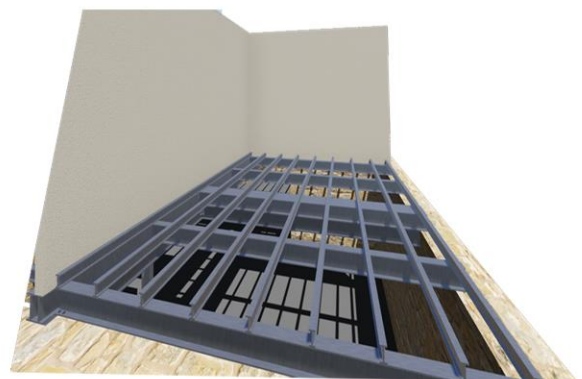


Αφού επιτυχώς τοποθετηθούν οι κύριοι μεταλλικοί δοκοί επάνω τους θα συνδεθούν με την διαδικασία της γωνιάς και του ήλου οι δευτερεύοντες μεταλλικοί δοκοί



Οθόνη Προβολής

Μέσο Προβολής



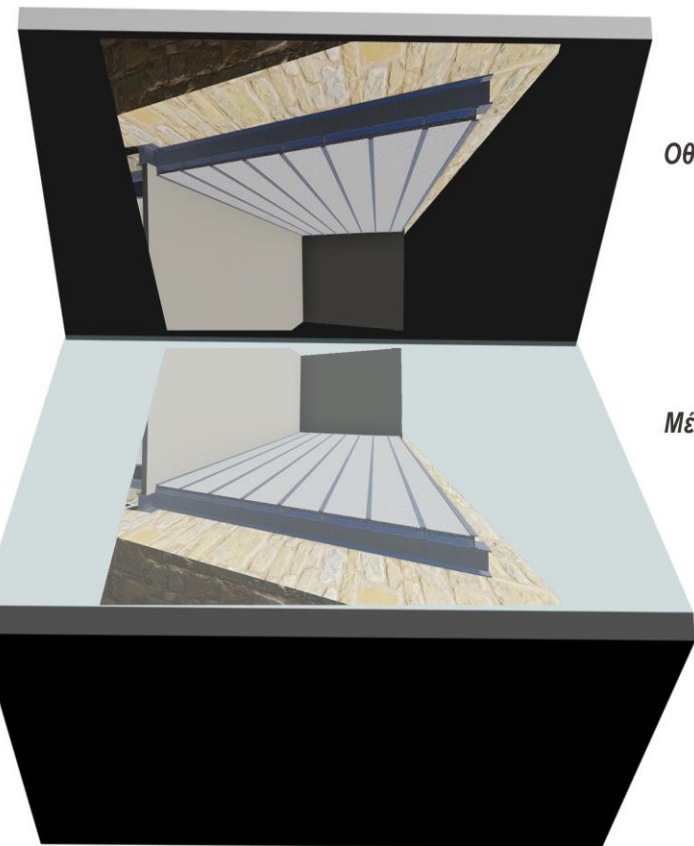
εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής

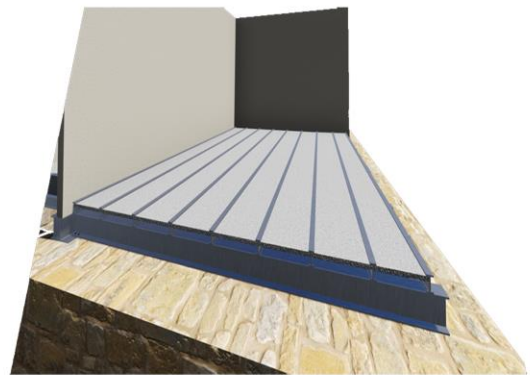


Ανάμεσα στους δευτερεύοντες μεταλλικούς δοκούς και συγκεκριμένα στο λαιμό του δοκού θα τοποθετηθεί σκυρόδεμα με τελική επιφάνεια ελαφρυού σκυροδέματος πάχους όσο και το πάχος του πέλματος όπου και θα εφαρμοστεί. Τέλος θα εφαρμοσθεί μια στρώση κόλλας στο τέλος του ελαφρυού σκυροδέματος όπου και θα ακουμπήσει το τελικό πλακίδιο



Οθόνη Προβολής

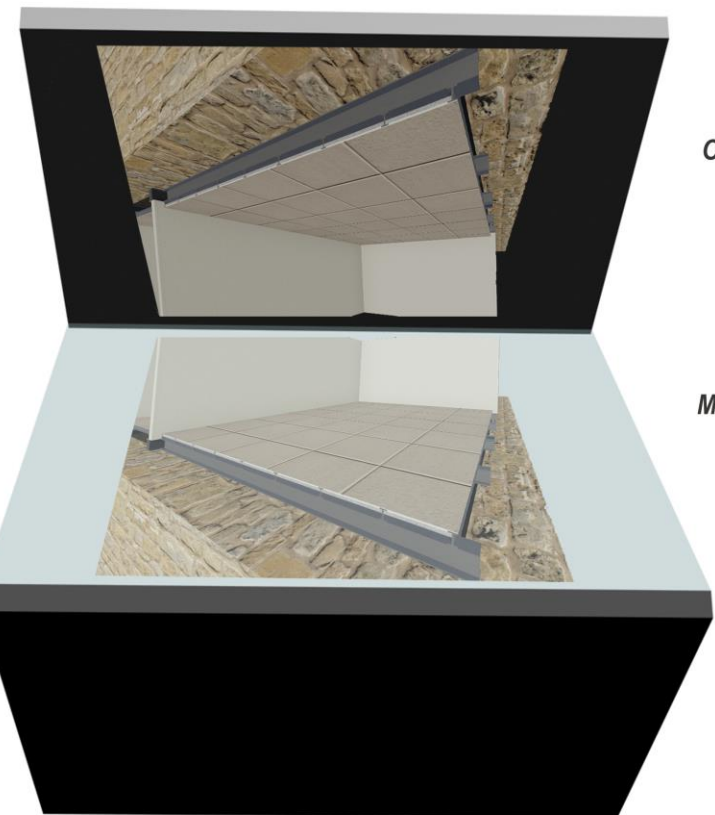
Μέσο Προβολής



εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας

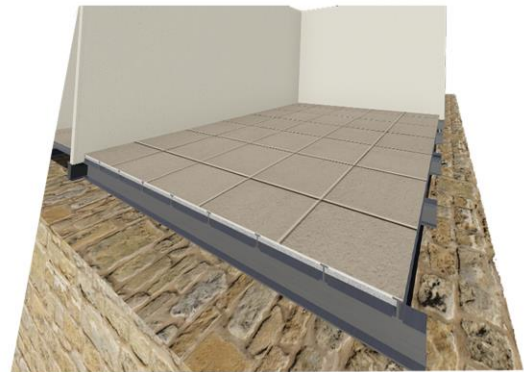


# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



*Οθόνη Προβολής*

*Μέσο Προβολής*



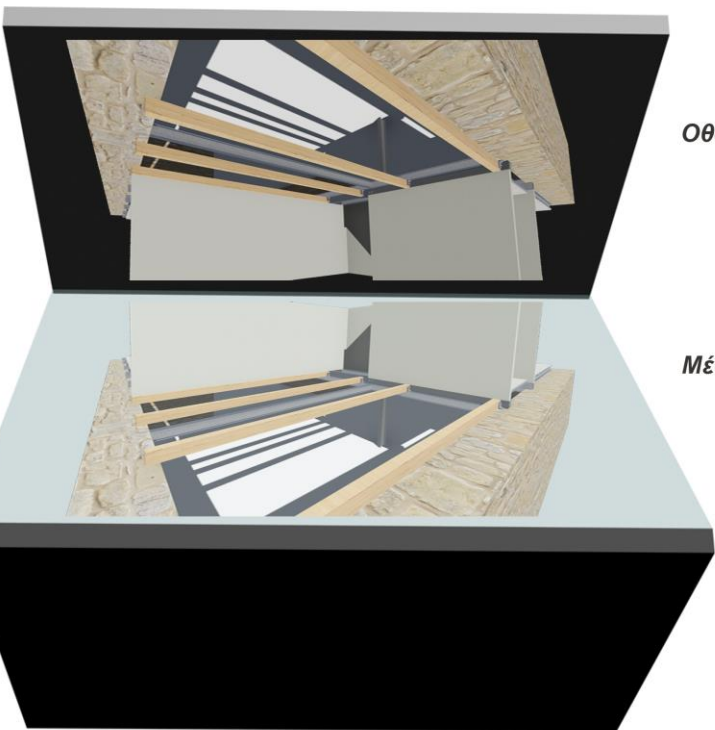
*εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας*



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Για την κατασκευή του ξύλινου πατώματος η διαδικασία διαφέρει . Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα αρχικά οι ξύλινες τεγίδες τοποθετούντε παράλληλα η μία στην άλλη και κάθετα στην μικρη διάσταση του δωματίου με το ένα άκρο να ακουμπά στην πέτρινη φέρουσα τοιχοποιία ενώ το άλλο συνδέεται με μεταλλικές γωνίες και ήλους στην μεταλλική βοηθητική δοκό.



*Οθόνη Προβολής*

*Μέσο Προβολής*



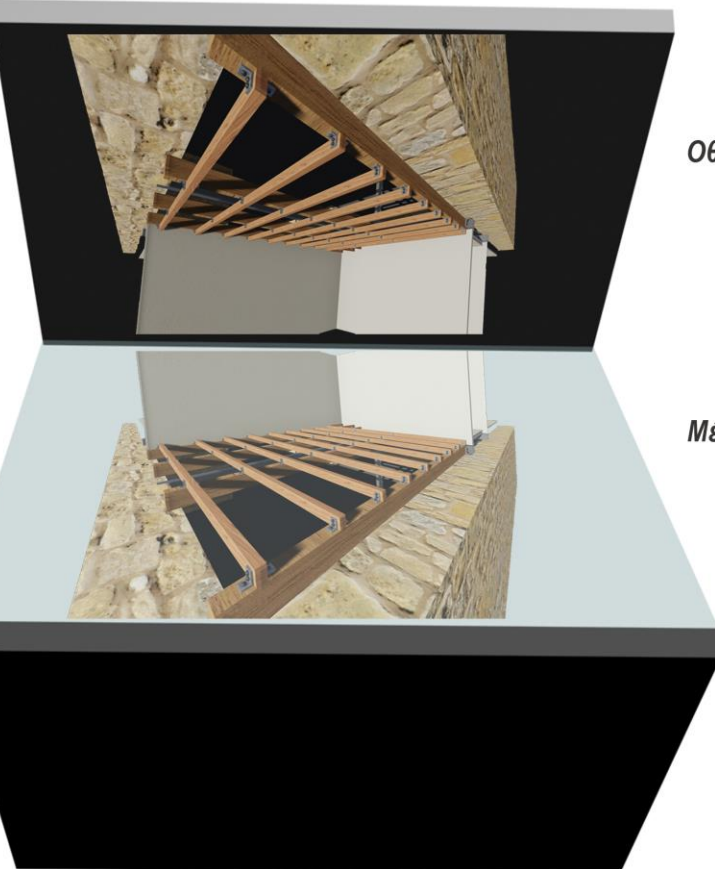
*εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας*



# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Οι επιτεγίδες ( ξύλα μικρότερης διάστασης απο της τεγίδες ) εφαρμόζονται καθετα προς αντίθετη κατεύθυνση απο τις τεγίδες. Τηγίδες και επιτεγίδες συνδέονται μεταξύ τους με την διαδικασία γωνιάς και ήλου.



*Οθόνη Προβολής*

*Μέσο Προβολής*



*εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας*

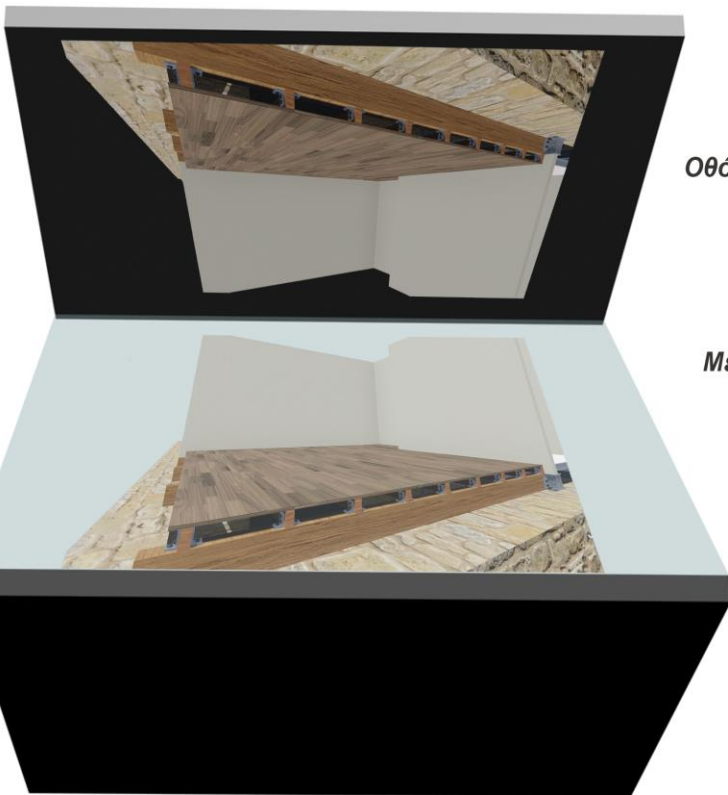




# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Η τελική επιφάνεια αποτελείται από το λεγόμενο πέτσωμα, λωρίδες ξύλου που εφαρμόζονται χωρίς κενά η μία με την άλλη.



Οθόνη προβολής

Μέσο προβολής



εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας

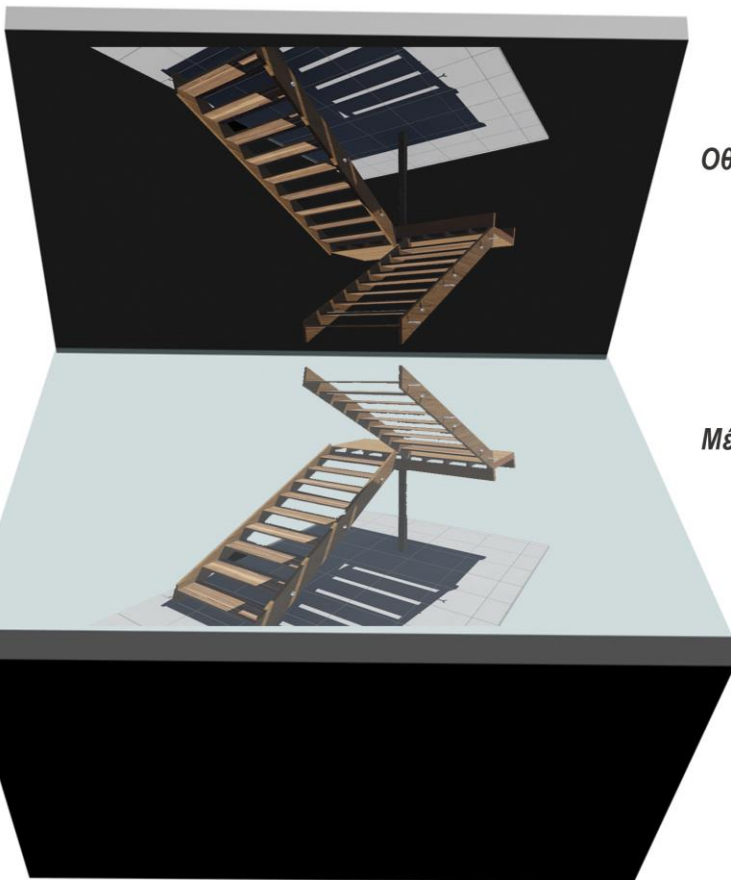




# Δημιουργία συσκευής υποστήριξης τρισδιάστατης προβολής



Τέλος η κατασκευή της σκάλας ολοκληρώνεται συνδέοντας τα επιμέρους τμήματα, βαθμιδοφόρους και σκαλοπάτια με μεταλλικούς ήλους.



Οθόνη Προβολής

Μέσο Προβολής



εικονοστοιχείο από αρχείο κινούμενης εικόνας



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aguilar, M. M. , Galina, C. S. , Merchant, H. , Montiel, F. , Canseco, R. , & Marquez, Y. C. (2002). Comparison of stereoscopy, light microscopy and ultrastructural methods for evaluation of bovine embryos. *Reproduction in domestic animals*, 37(6), 341-346.
2. Banks, M. S. , Read, J. C. , Allison, R. S. , & Watt, S. J. (2012). Stereoscopy and the human visual system. *Motion Imaging Journal, SMPTE*, 121(4), 24-43.
3. Baños, R. M. , Botella, C. , Rubió, I. , Quero, S. , Garcia-Palacios, A. , & Alcañiz, M. (2008). Presence and emotions in virtual environments: The influence of stereoscopy. *CyberPsychology & Behavior*, 11(1), 1-8.
4. Brewster, D. (2001). An account of a new stereoscope. *SPIE MILESTONE SERIES MS*, 162, 111-112.
5. Chon, S. , Lee, H. , & Yoon, J. (2011). 3D architectural projection, *Light Wall. Leonardo*, 44(2), 172-173.
6. Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2011). 3d projection on physical objects: design insights from five real life cases. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1041-1050). ACM.
7. Dalsgaard, P. , & Halskov, K. (2012). Tangible 3D tabletops: combining tangible tabletop interaction and 3D projection. In *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design* (pp. 109-118). ACM.
8. Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. *CRITICAL REVIEWS OF OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CR*, 76, 168-191.
9. Holmes, O. W. (1859). The stereoscope and the stereograph. *Atlantic Monthly*, 3(20).
10. Hsu, F. H. (2008). U. S. Patent No. 7,425,070. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.



11. Inhester, B. (2006). Stereoscopy basics for the STEREO mission. arXiv preprint astro-ph/0612649.
12. Käding, S. , & Melzer, A. (2006). Three-dimensional stereoscopy of Yukawa (Coulomb) balls in dusty plasmas. *Physics of Plasmas* (1994-present), 13(9), 090701.
13. Kaufman, S. P. , & Savikovsky, A. (2005). U. S. Patent No. 6,935,748. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.
14. Keller, K. (2010). U. S. Patent Application No. 12/846,262.
15. Kim, C. , Hornung, A. , Heinzle, S. , Matusik, W. , & Gross, M. (2011). Multi-perspective stereoscopy from light fields. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 30(6), 190.
16. Kunita, Y. , Ogawa, N. , Sakuma, A. , Inami, M. , Maeda, T. , & Tachi, S. (2001). Immersive autostereoscopic display for mutual telexistence: TWISTER I (Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope model I). In *Virtual Reality, 2001. Proceedings. IEEE* (pp. 31-36). IEEE.
17. Lee, S. , & Kim, G. J. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.
18. Mendiburu, B. , Pupulin, Y. , & Schklair, S. (2011). 3d TV and 3d cinema: tools and processes for creative stereoscopy. Taylor & Francis.
19. Mountney, P. , Stoyanov, D. , Davison, A. , & Yang, G. Z. (2006). Simultaneous stereoscope localization and soft-tissue mapping for minimal invasive surgery. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2006* (pp. 347-354). Springer Berlin Heidelberg.
20. Ogino, S. (2004). U. S. Patent No. 6,762,794. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.



21. Qi, L. , Wang, Q. , Luo, J. , Wang, A. , & Liang, D. (2012a). Autostereoscopic 3D projection display based on two lenticular sheets. *Chinese Optics Letters*, 10(1), 011101.
22. Qi, L. , Wang, Q. H. , Luo, J. Y. , Zhao, W. X. , & Song, C. Q. (2012b). An autostereoscopic 3D projection display based on a lenticular sheet and a parallax barrier. *Journal of Display Technology*, 8(7), 397-400.
23. Quevedo, R. , & Aguilera, J. M. (2010). Computer vision and stereoscopy for estimating firmness in the salmon (Salmon salar) fillets. *Food and Bioprocess Technology*, 3(4), 561-567.
24. Wiegmann, T. , & Inhester, B. (2006). Magnetic stereoscopy. *Solar Physics*, 236(1), 25-40.