

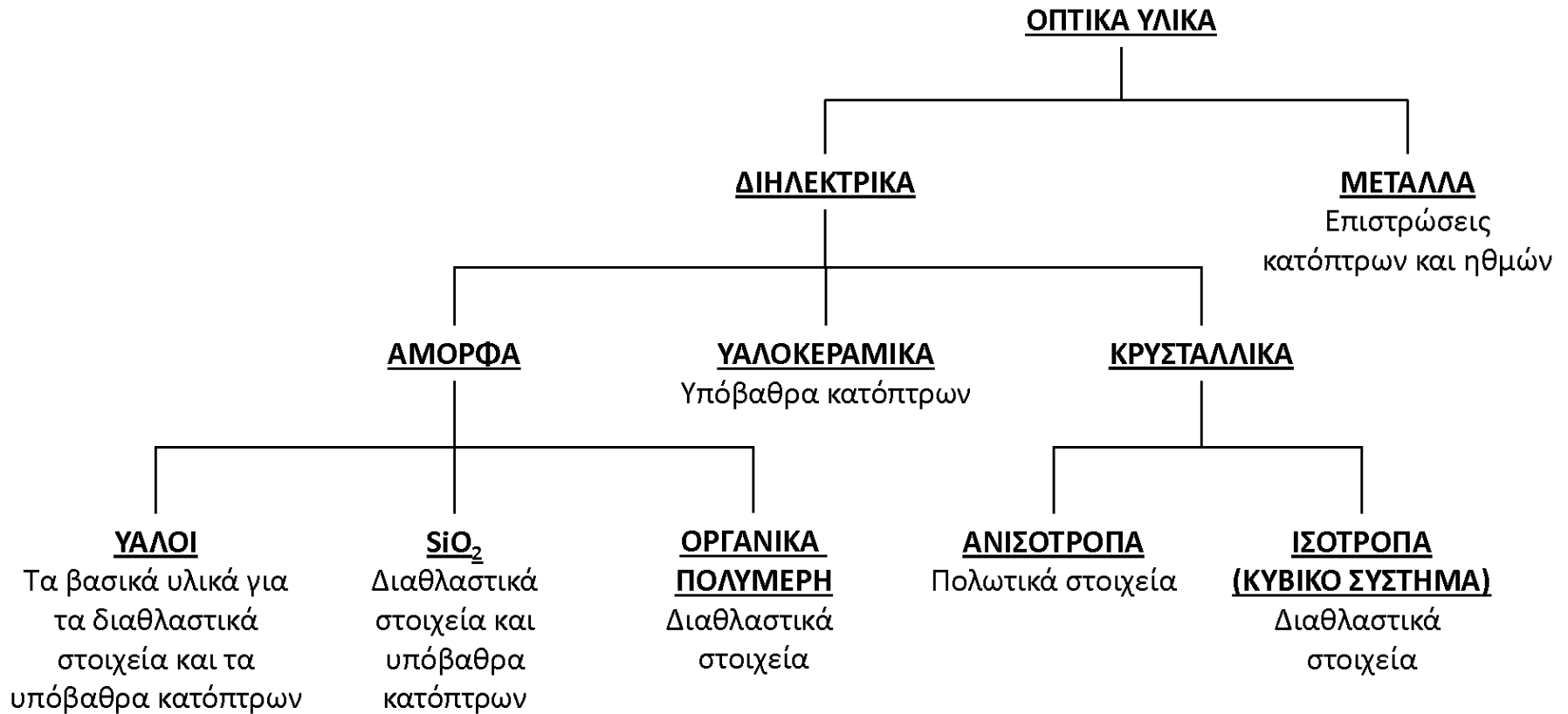
# ΥΑΛΟΣ & ΥΑΛΟΥΡΓΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ-ΥΛΙΚΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Κοσμάς Γαζέας

Αθήνα 2023

# ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ



## Γενικά για το γυαλί

Το γυαλί δεν είναι μια χημική ένωση αλλά είναι ένα μίγμα διαφόρων πυριτικών αλάτων και διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), που μπορεί να χαρακτηριστεί σαν **υγρό** με εξαιρετικά μεγάλο συντελεστή ιξώδους.

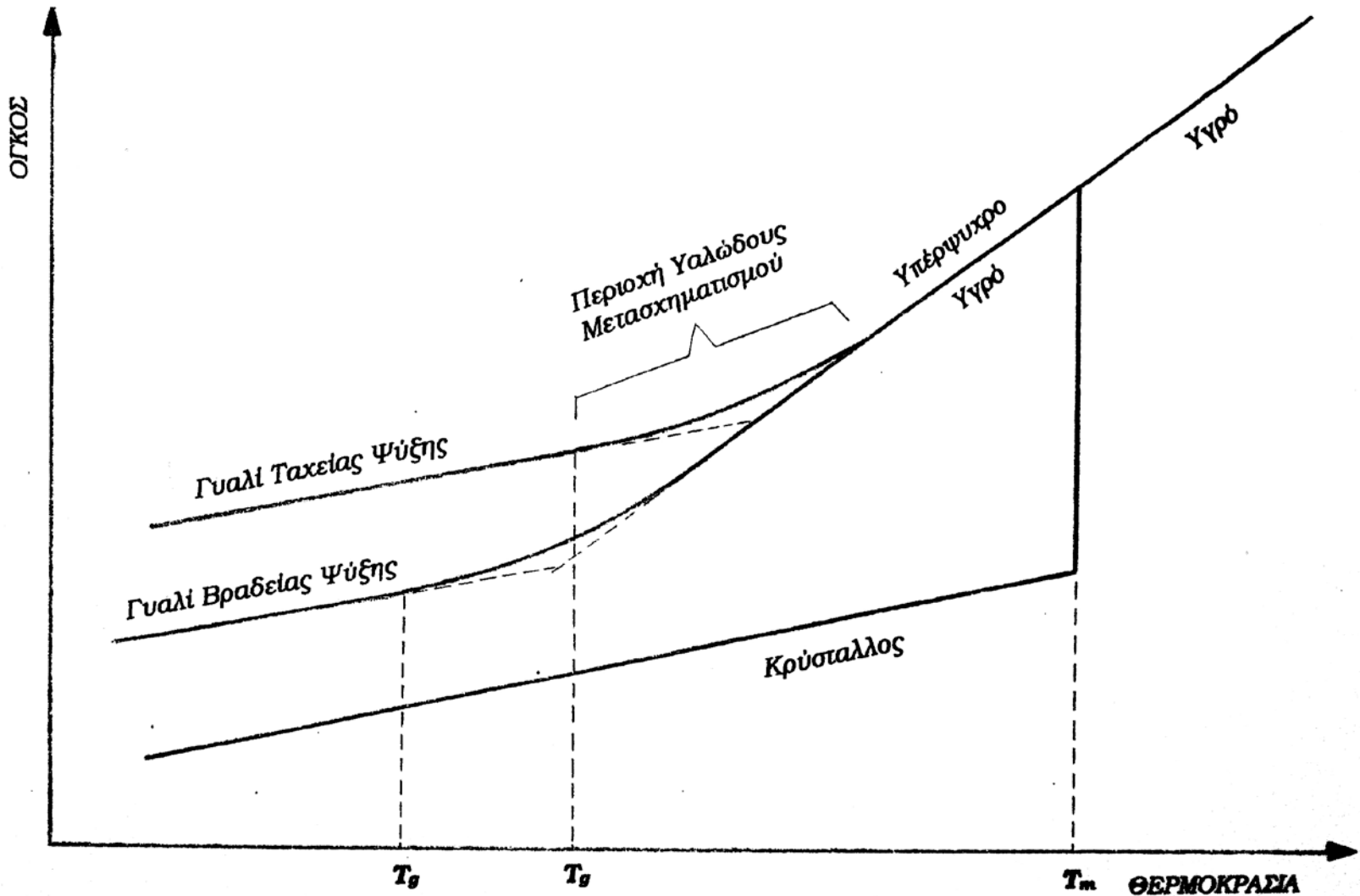
**Δεν είναι κρυσταλλικό** αλλά άμορφο σώμα και δεν έχει συγκεκριμένο σημείο τήξης, αλλά καθώς αυξάνει η θερμοκρασία του διαρκώς μαλακώνει.

Σε υψηλές θερμοκρασίες, το υγρό γυαλί συμπεριφέρεται σαν το ιδανικό γενικό διαλυτικό: αποτελεί πρόβλημα να βρεθεί ένα χημικά ανθεκτικό δύστηκτο υλικό ικανό να το συγκρατήσει.

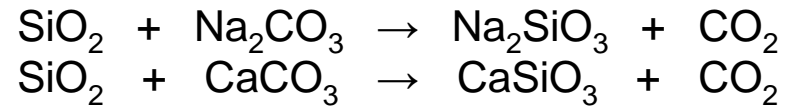
Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του γυαλιού είναι το ότι αλλάζει προοδευτικά από υγρό με μορφή σιροπιού στη θερμοκρασία των  $1.500^\circ \text{C}$  σε συμπαγές (σχεδόν) στερεό, καθώς ψύχεται στους  $400^\circ \text{C}$ , όπου και χάνει την κόκκινη λάμψη του.

**Κατά τη μετάβαση αυτή, το ιξώδες του αλλάζει κατά έξι τρισεκατομμύρια φορές.**

# Θερμική συμπεριφορά τήγματος υαλογόνου υλικού



## Σύνθεση και κατασκευή του γυαλιού



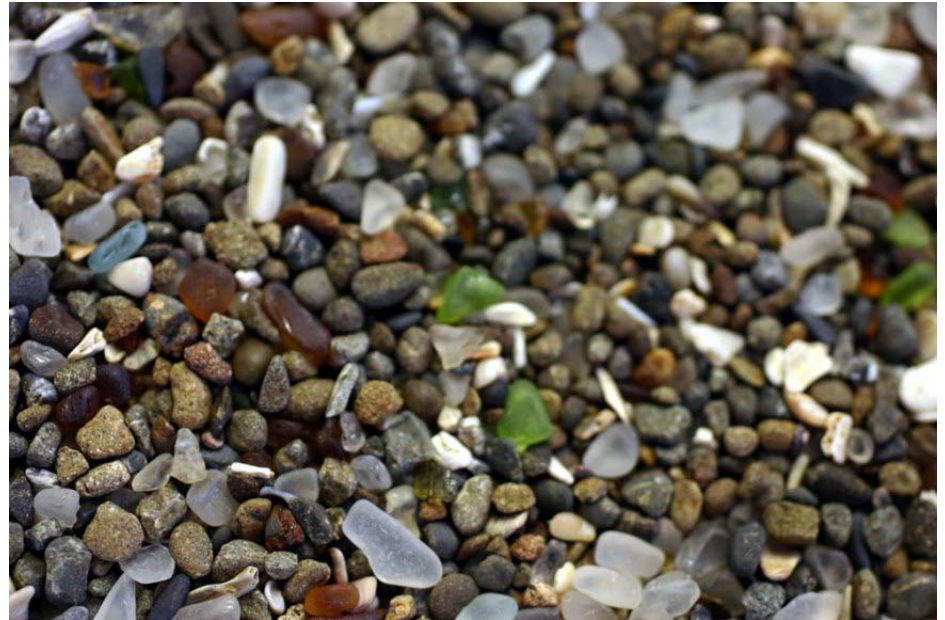
Το κοινό γυαλί παρασκευάζεται μέσα σε καμίνια θερμοκρασίας 1200-1600° C με σύντηξη καθαρής πυριτικής άμμου  $\text{SiO}_2$ , σόδας ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) και μαρμάρου ή ασβεστόλιθων ( $\text{CaCO}_3$ ), δολομίτη, άστριου και θειικών αλάτων.



## Η πρώτη ύλη

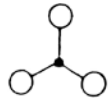
Η παραγωγή γυαλιού απαιτεί τη χρήση πρώτων υλών, οι οποίες αποτελούν πρωτογενή φυσικά υλικά που προέρχονται από πλουτοπαραγωγικά κοιτάσματα. Το σύνολο των πρώτων υλών που απαιτούνται για την παραγωγή γυαλιού και η αντίστοιχη ποσοτική συμμετοχή τους, είναι οι ακόλουθες:

Πρώτη Ύλη	Χημικός Τύπος	% Ποσοτική Συμμετοχή
Χαλαζιακή Άμμος (silica sand)	SiO <sub>2</sub>	59,42%
Ασβεστόλιθος (limestone)	CaO	5,06%
Δολομίτης (dolomite)	MgO	13,90%
Άστριος (feld spar)	-	2,09%
Σόδα (soda carbonate)	Na <sub>2</sub> O	18,42%
Θεικό άλας (soda sulphate)	-	1,11%

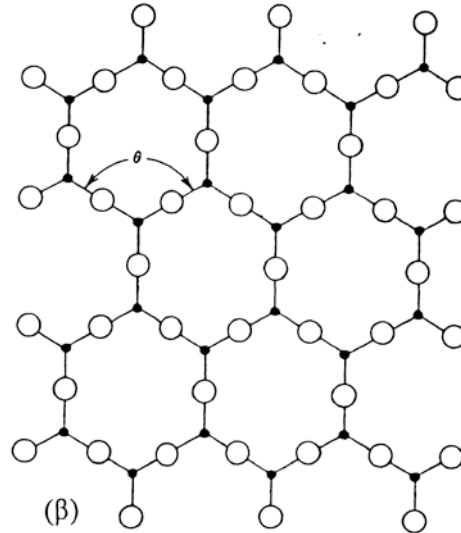




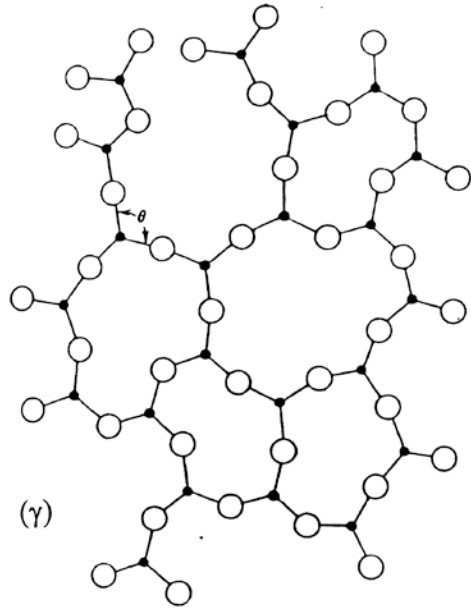




(α)



(β)



(γ)

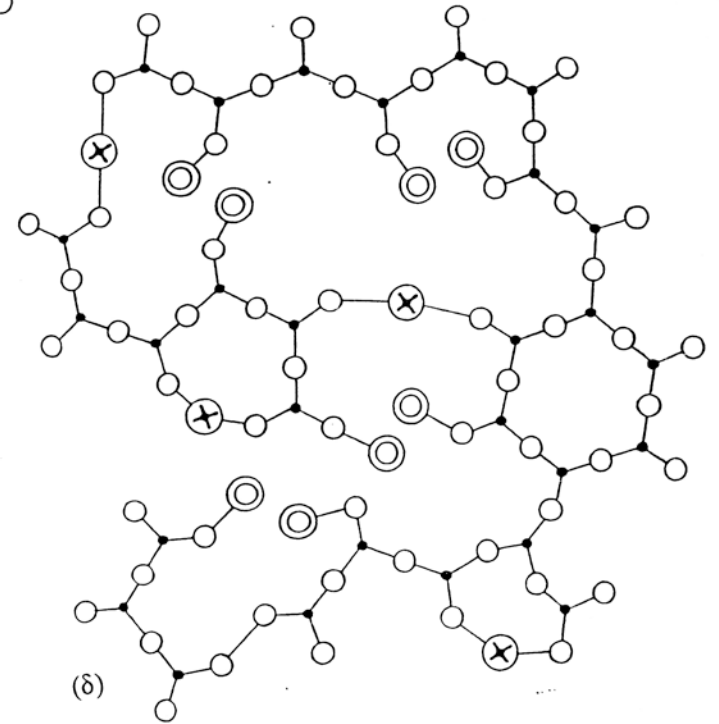
- Οξυγόνο
- Πυρίτιο
- ⊙ Νάτριο
- ⊗ Ασβέστιο

(α) τετραεδρική δομή μορίου  $\text{SiO}_2$

(β) κρύσταλλος χαλαζία

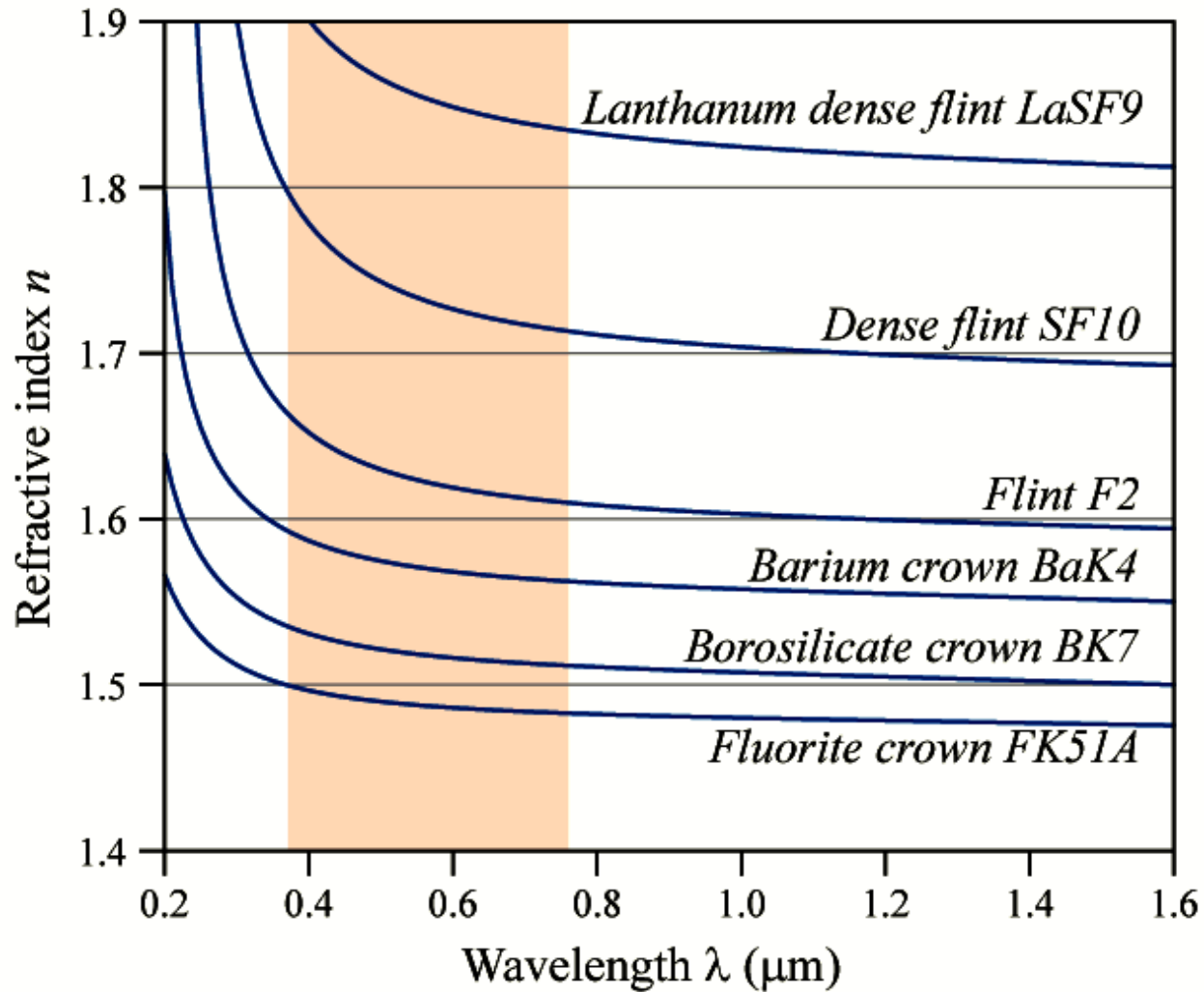
(γ) άμορφος χαλαζίας

(δ) κοινό πυριτικό γυαλί με Na, Ca

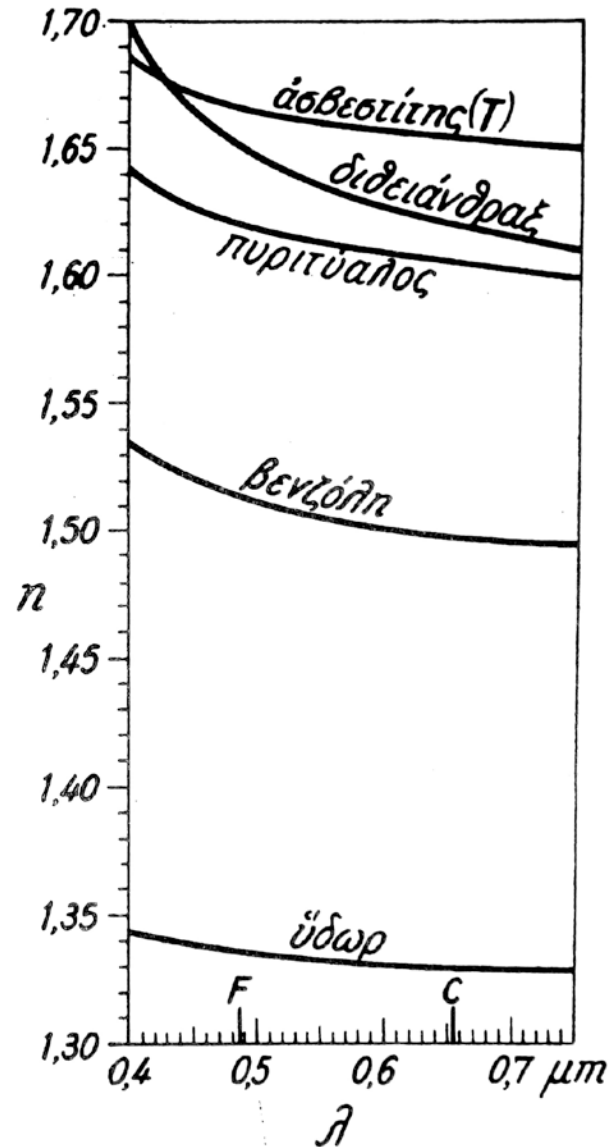


(δ)

Καμπύλες διασκεδάσμου μερικών οπτικών υλικών.  
Η περιοχή του ορατού φαίνεται σκιασμένη.



Η σχέση του δείκτη διάθλασης ( $n$ ) με το μήκος κύματος για διάφορα υγρά



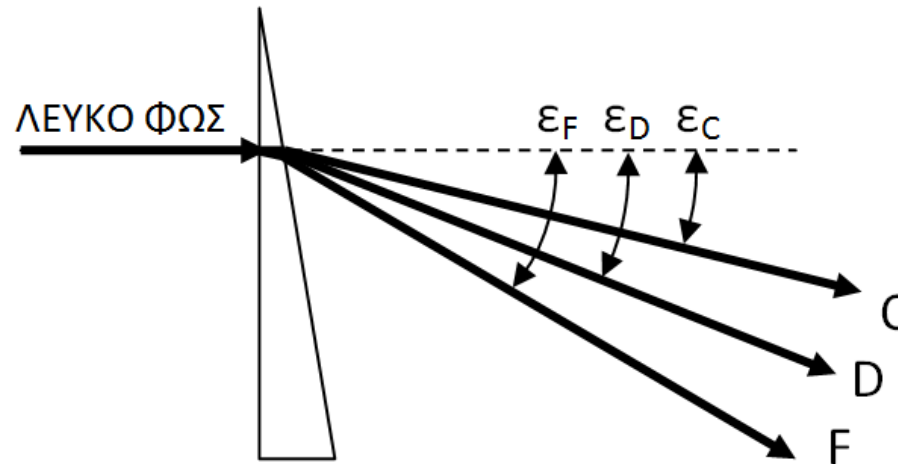
## Κανόνες διασκεδασμού

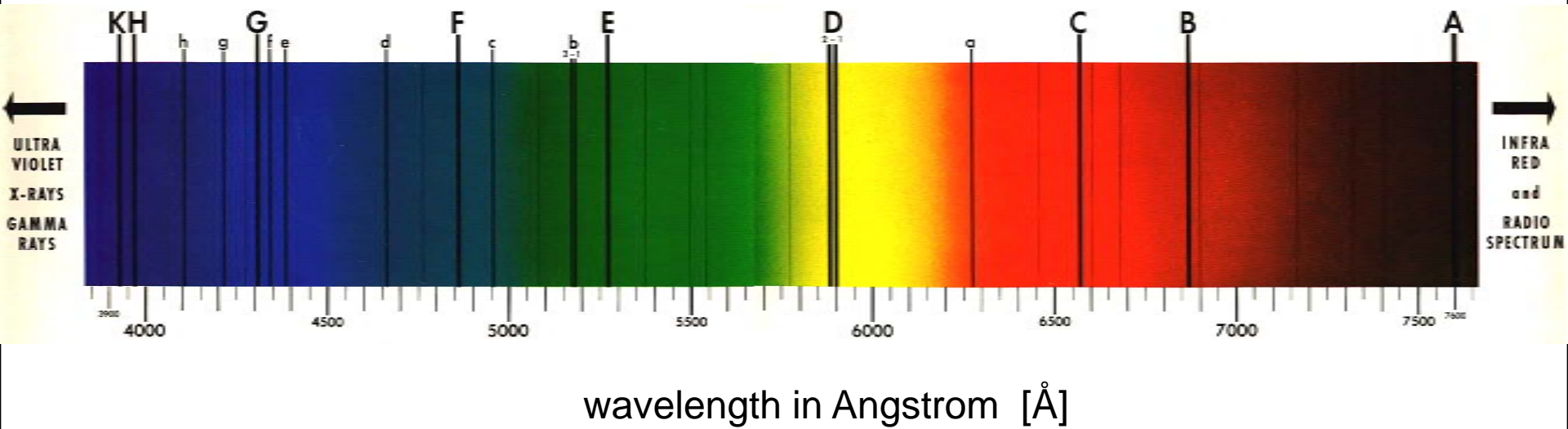
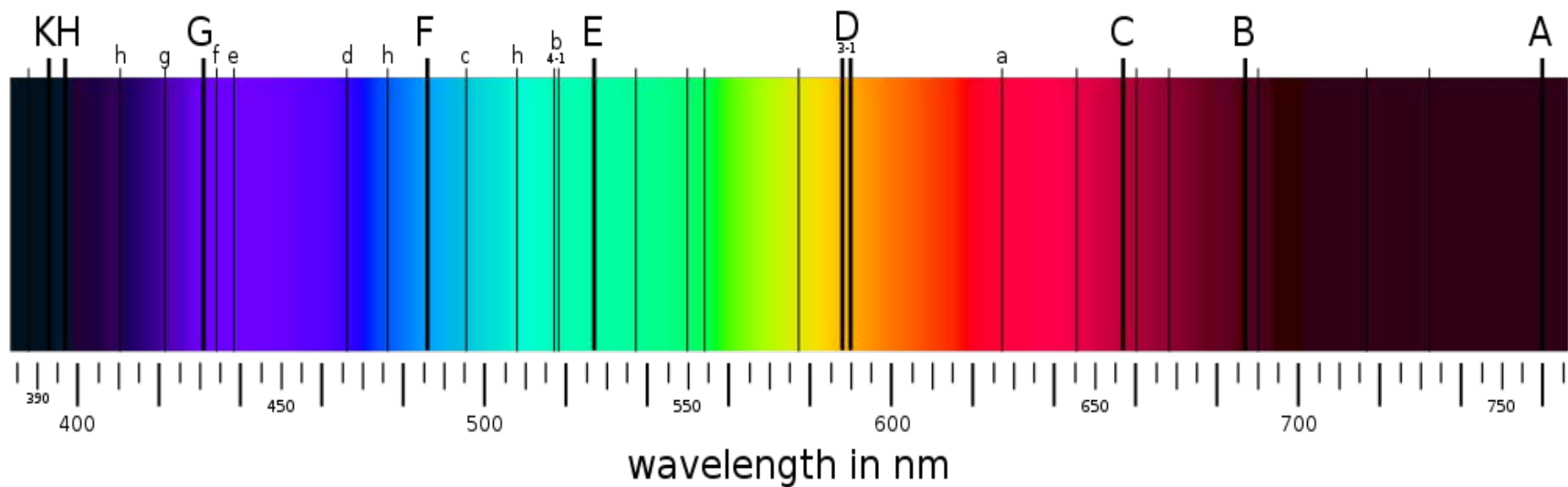
- 1) ο δείκτης διάθλασης αυξάνει προς τα μικρότερα μήκη κύματος
- 2) η κλίση  $dn/d\lambda$  της καμπύλης (δηλαδή ο διασκεδασμός) αυξάνει κατά απόλυτη τιμή προς τα μικρότερα μήκη κύματος
- 3) υλικά με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης σε ορισμένο μήκος κύματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης διασκεδασμού στο μήκος κύματος αυτό, δηλαδή μεγαλύτερο διασκεδασμό
- 4) η καμπύλη διασκεδασμού ενός υλικού δεν μπορεί να ταυτιστεί με την καμπύλη άλλου υλικού αν κάνουμε παράλληλη μετατόπιση ούτε αν αλλάξουμε τις κλίμακες των αξόνων
- 5) όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα ενός οπτικού μέσου τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης και ο διασκεδασμός του.

## Ισχύς διασκεδασμού

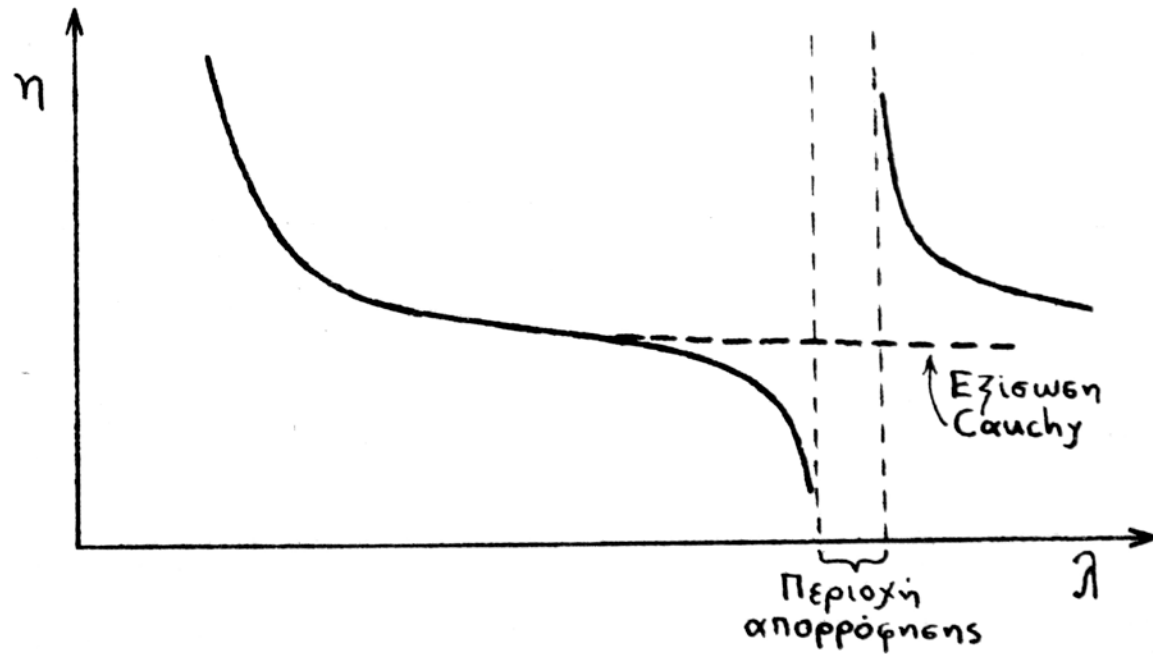
$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Ονομάζεται συντελεστής διασκεδασμού ή αριθμός Abbe.





## Καμπύλη ανώμαλου διασκεδασμού



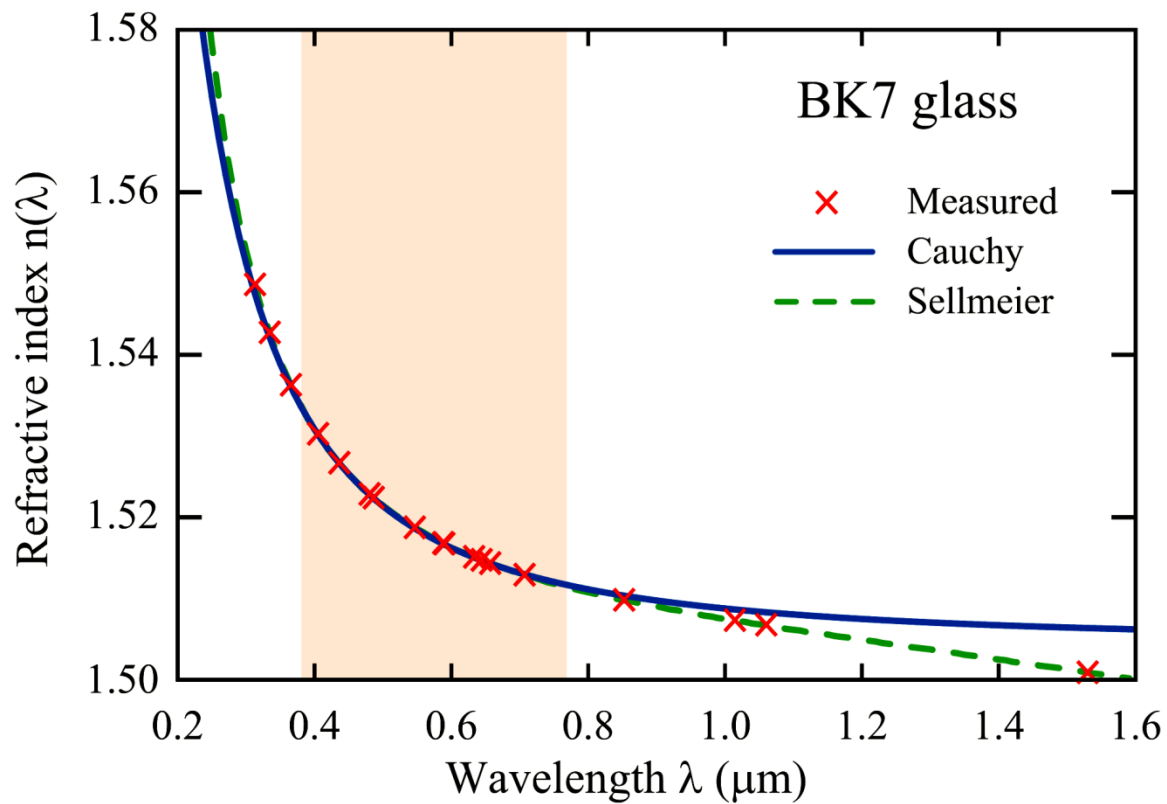
## Εξισώσεις διασκεδασμού

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$$

Εξίσωση Cauchy

$$n^2 = 1 + \frac{A_1 \lambda^2}{\lambda^2 - B_1} + \frac{A_2 \lambda^2}{\lambda^2 - B_2} + \frac{A_3 \lambda^2}{\lambda^2 - B_3}$$

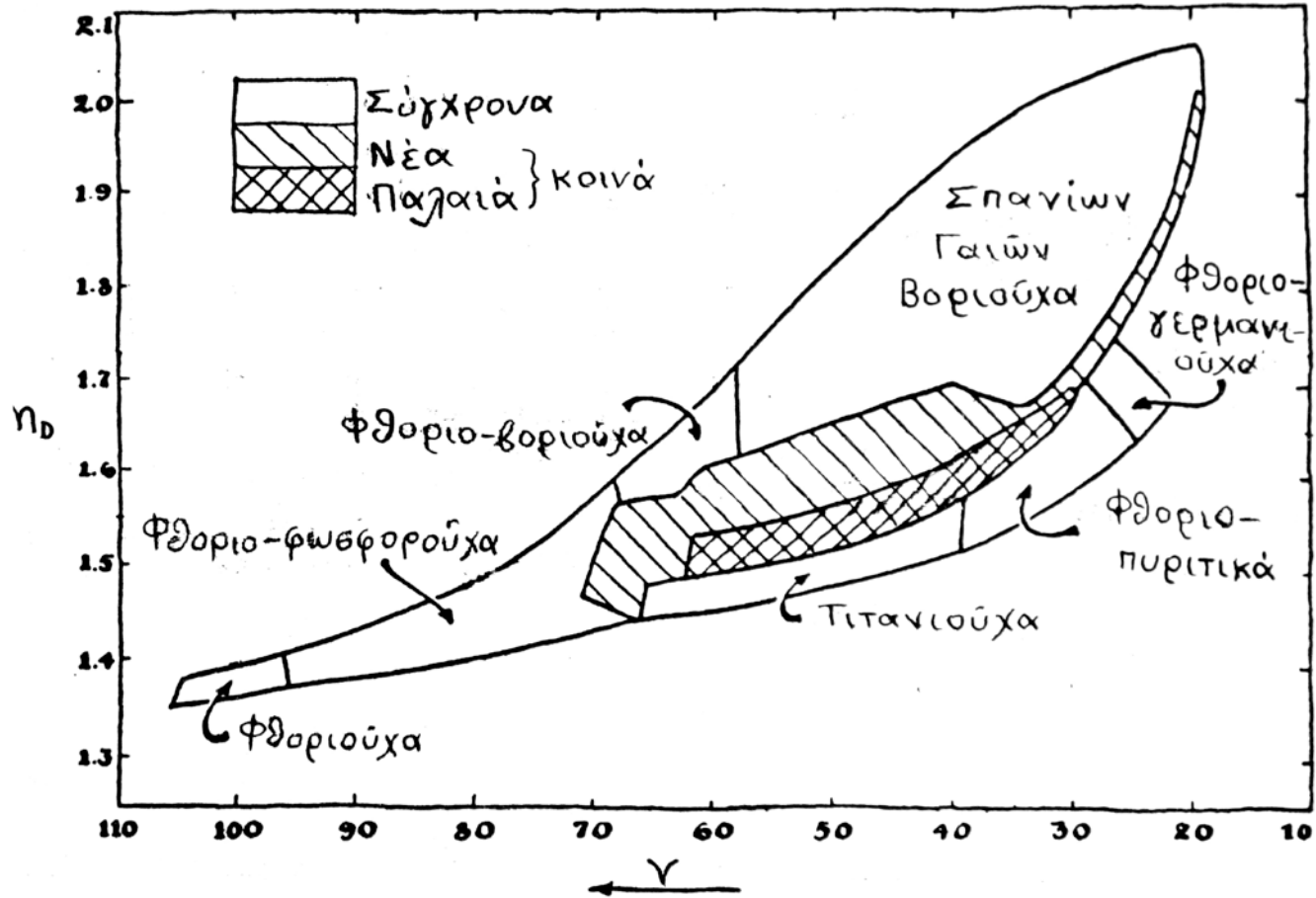
Εξίσωση Sellmeier



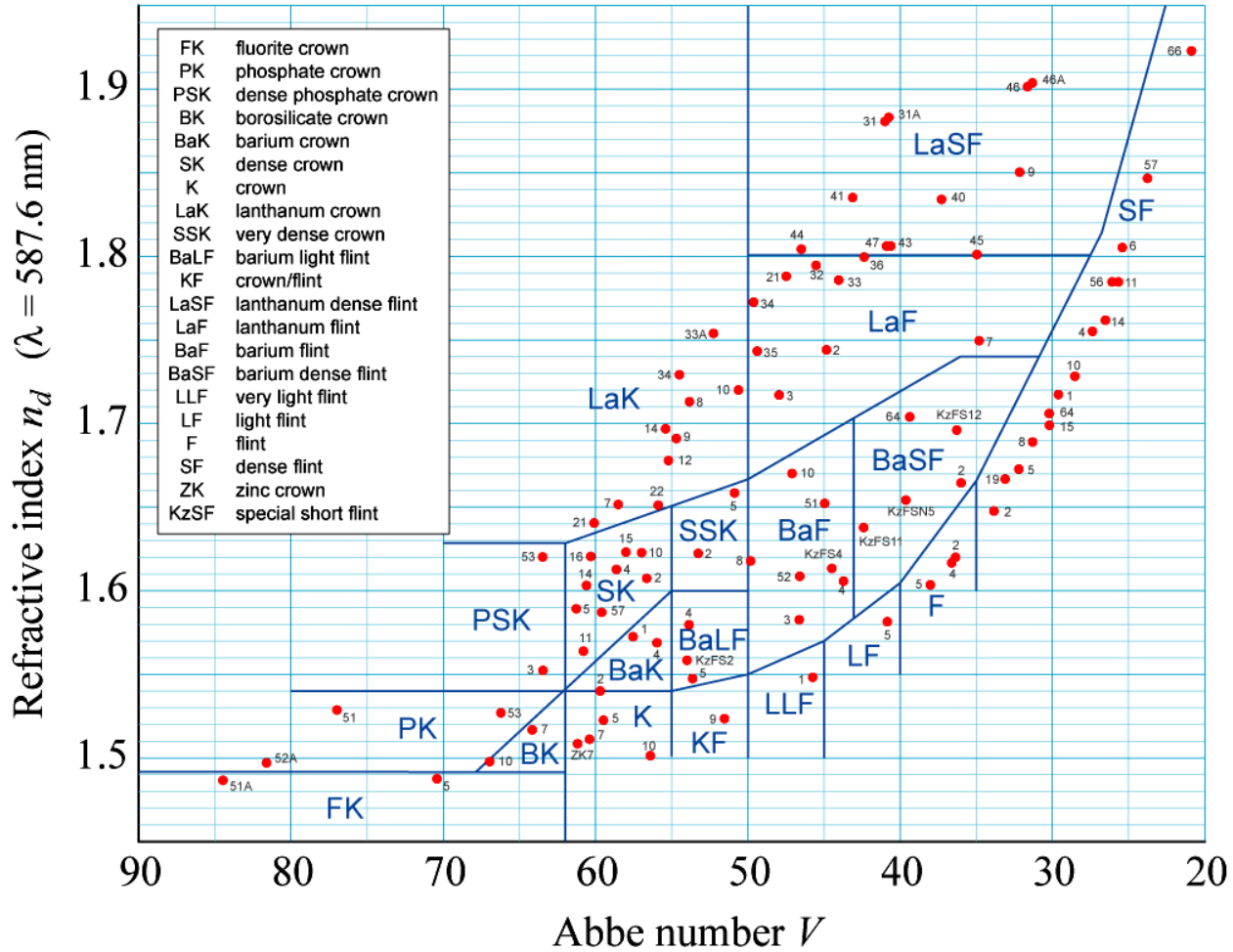
Τυπική καμπύλη διασκεδασμού για το οπτικό γυαλί BK7 και η σύγκριση των πειραματικών τιμών του δείκτη διάθλασης με αυτές που προβλέπονται από τους εμπειρικούς νόμους του Cauchy και Sellmeier.



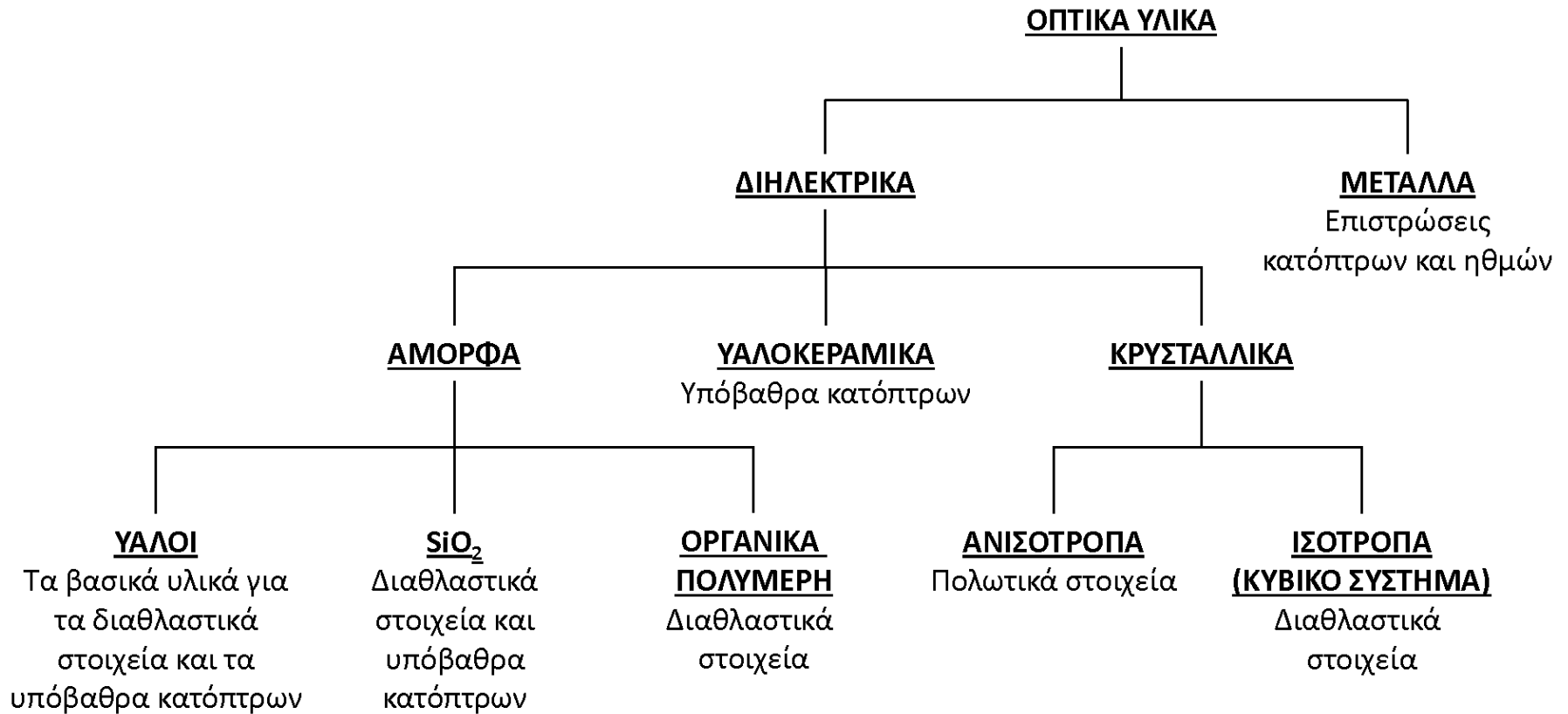
# Το διάγραμμα $n_D$ - $v$



# Το διάγραμμα $n_D - V$



# ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ







Αμένομφις ΙΙ, 15<sup>ου</sup> αι. π.Χ. (4cm)

*Head of Amenhotep II - 18th dynasty  
(Corning Glass Works Museum; U.S.A.)*



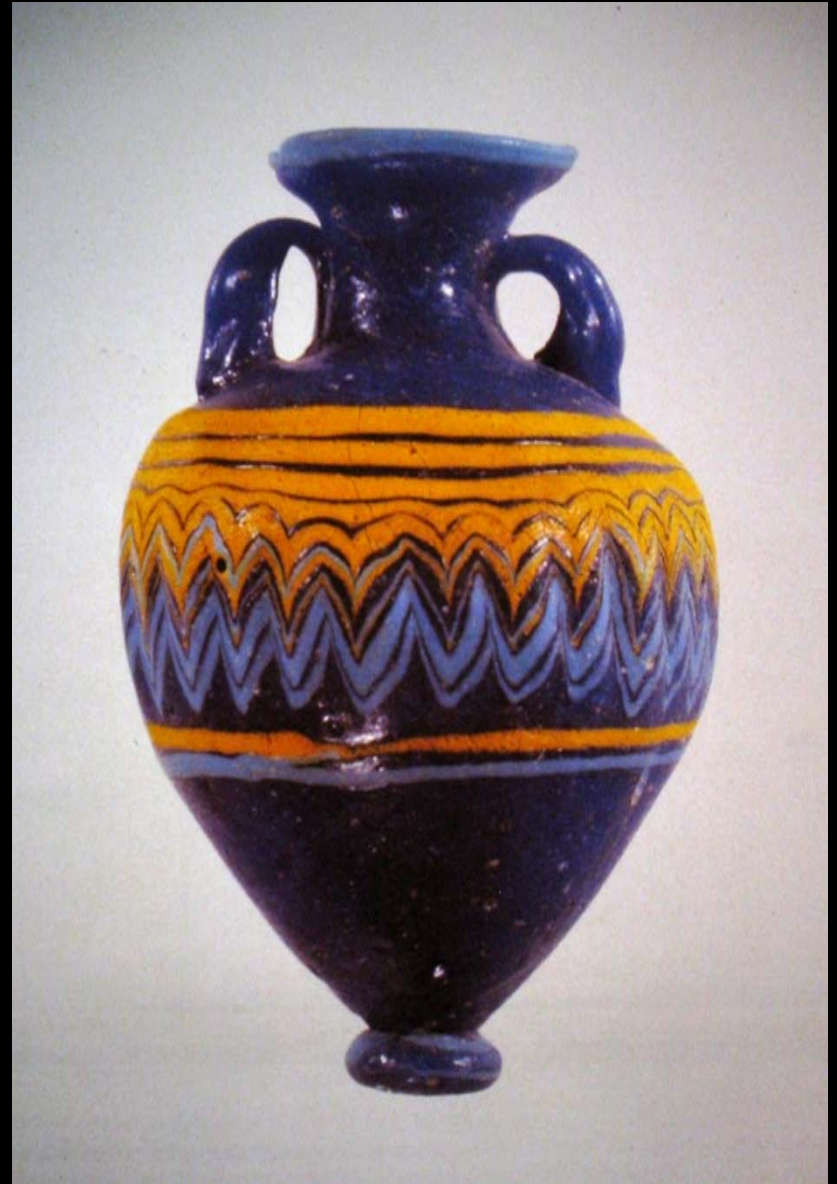
Αλάβαστρα από τον Κεραμεικό. Τέλη 6<sup>ου</sup> αι. π.Χ. (αριστερά – 13.5 cm) Τέλη 5<sup>ου</sup> αι. π.Χ. (δεξιά – 14 cm)



Αμφορίσκοι. 6<sup>ος</sup> π.Χ. Κεραμεικός (11 cm)



Αμφορίσκος. 5<sup>ος</sup> π.Χ. (11.5 cm)

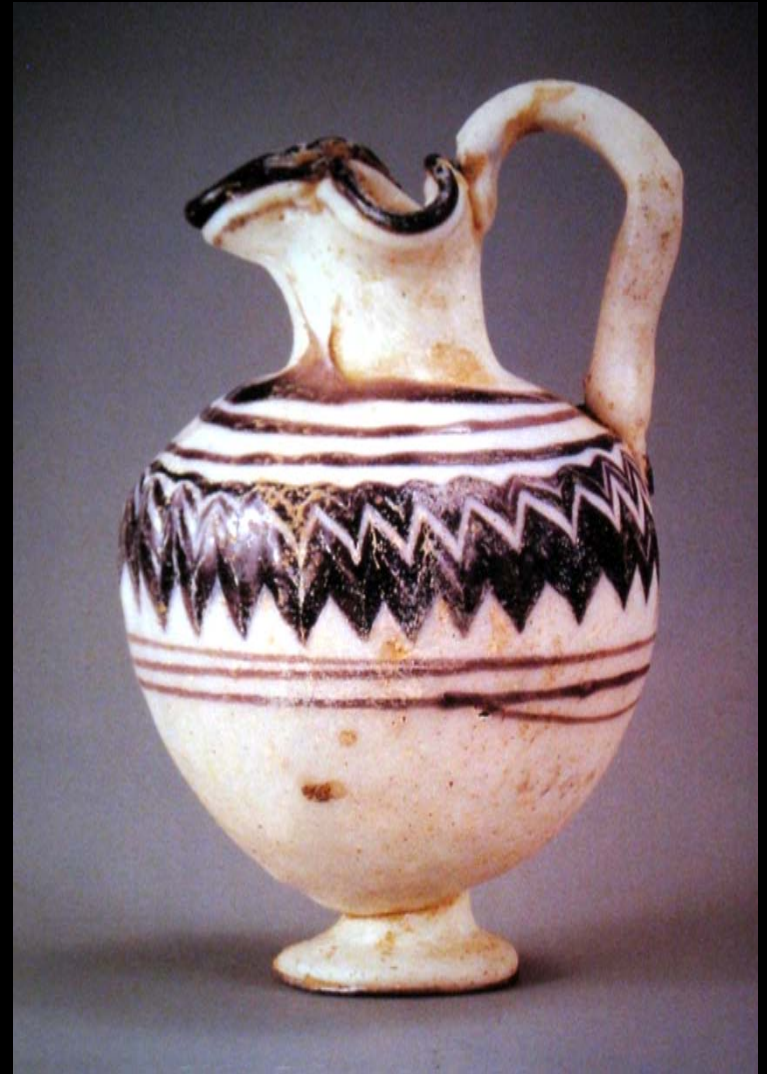


Αμφορίσκος. 5<sup>ος</sup> π.Χ. Ερέτρια (9 cm)





Αμφορίσκος. 5<sup>ος</sup> π.Χ. Σπήλαιο Πανός, Φυλή (8 cm)



Αμφορίσκος. 5<sup>ος</sup> π.Χ. Ερέτρια (7 cm)



Αρύβαλλος. 5<sup>ος</sup> π.Χ. Αθήνα, Παλαιά Ανάκτορα (5 cm)



Δοχείο. 3<sup>ος</sup> – 2<sup>ος</sup> π.Χ. Ελληνιστικό, Ανατολ. Μεσόγειος (Ø17 cm)



Γυάλινο βάζο απομίμησης αχάτη. 2<sup>ος</sup> π.Χ. Παλιόκαστρο Θεσσαλονίκης (Ø35 cm)



Δοχείο. 1<sup>ος</sup> π.Χ. Αντικύθηρα (Ø24 cm)



Δοχείο με διάκοσμο. 1<sup>ος</sup> π.Χ. Αντικύθηρα (στιλβωμένο και εγχάρακτο) (Ø16 cm)



*Basin decorated by internal colouring mosaic style. Roman Empire.  
Colony of Alexandria, second half of the 1st century A.D.  
(Corning Glass Works Museum, U.S.A.)*

Δοχείο με μωσαϊκό διάκοσμο. 1<sup>ος</sup> π.Χ. Αντικύθηρα (Ø9.5 cm)



Δοχείο με βάση και καπάκι. 1<sup>ος</sup> – 2<sup>ος</sup> μ.Χ. (31.5 cm) (λίγα έχουν βρεθεί στην Ελλάδα)





Σφαιρικό δοχείο. 1<sup>ος</sup> μ.Χ. Θήβα (φουσητό γυαλί) (8 cm)



Βάζο με ζώνες διακοσμημένες με χρυσό. 1<sup>ος</sup> μ.Χ. Ανατολική Μεσόγειος (9 cm)



Γυάλινη κανάτα. 19<sup>ος</sup> μ.Χ. Αγγλία (εργασία 2.5 ετών)



Τραπέζι. 19<sup>ος</sup> μ.Χ. Γαλλία



Πιάτο. 20<sup>ος</sup> αι. μ.Χ. Αμερική



Φθορίζον βάζο (ουρανίου). 20<sup>ος</sup> αι. μ.Χ. Αμερική



Metallion με τεχνική millefiori

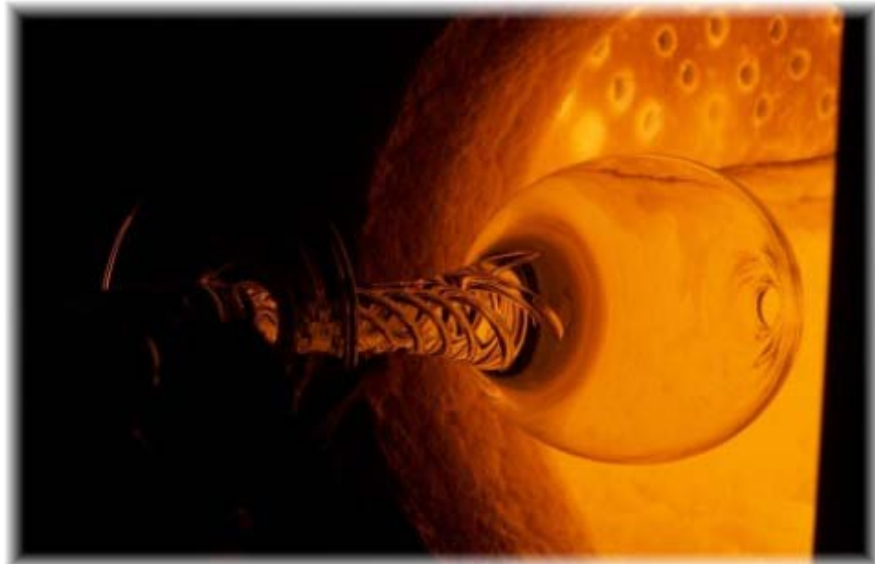


Πιάτο με τεχνική Cameo

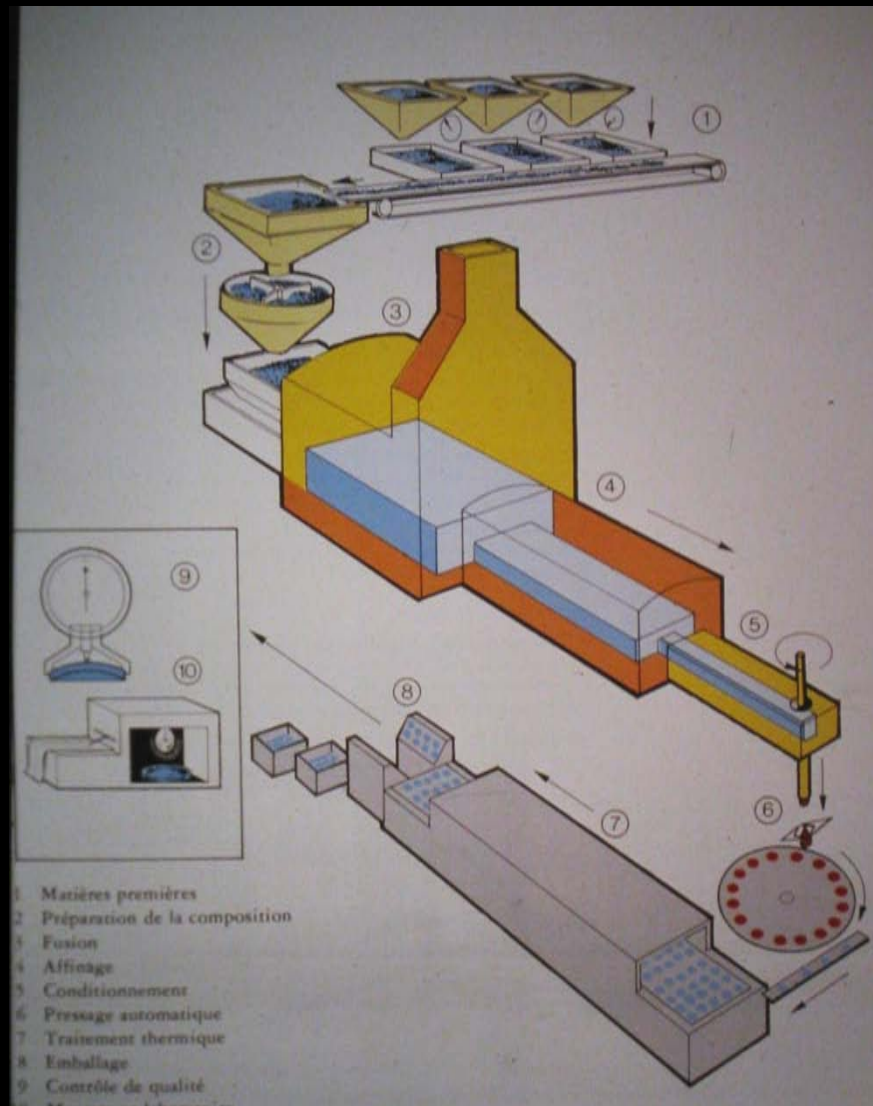




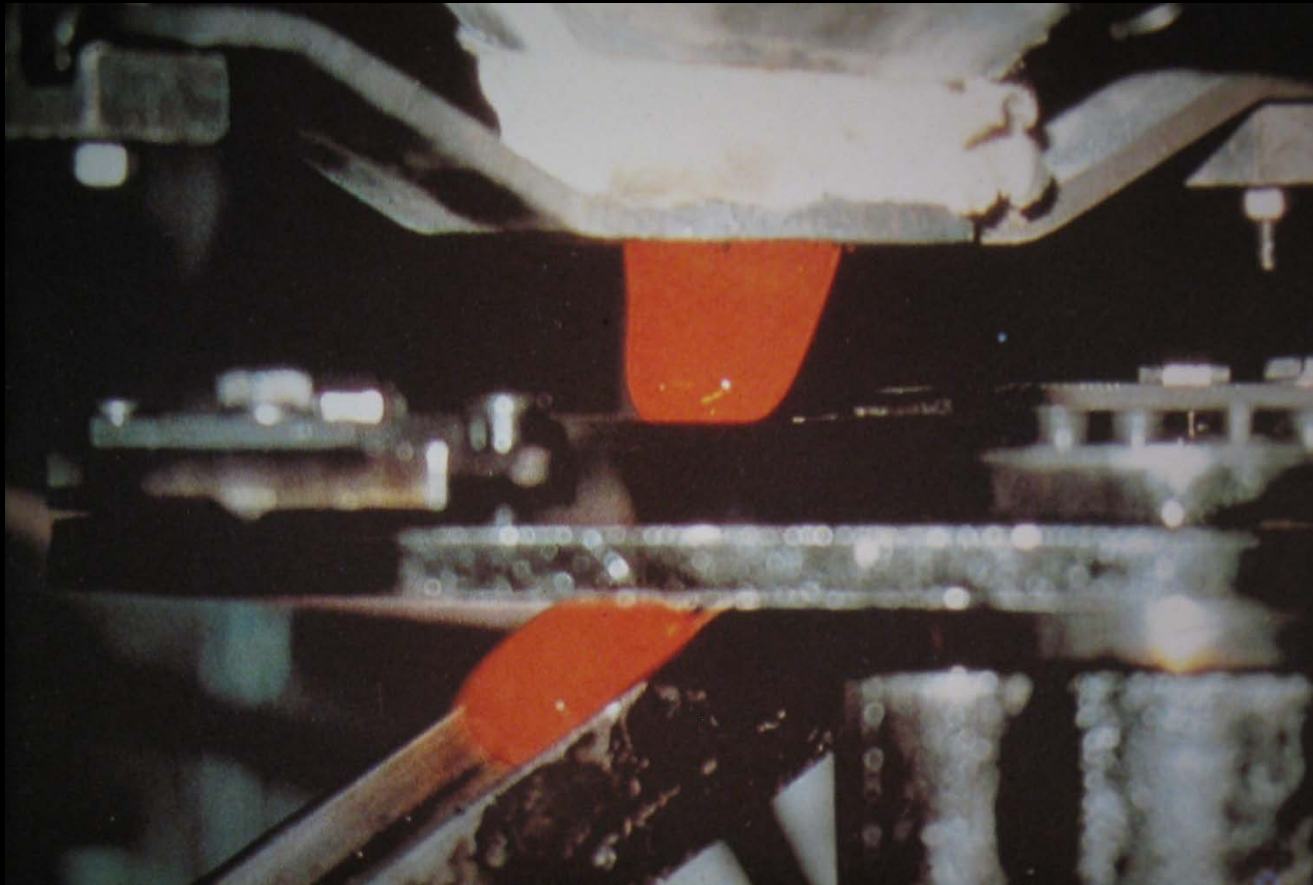




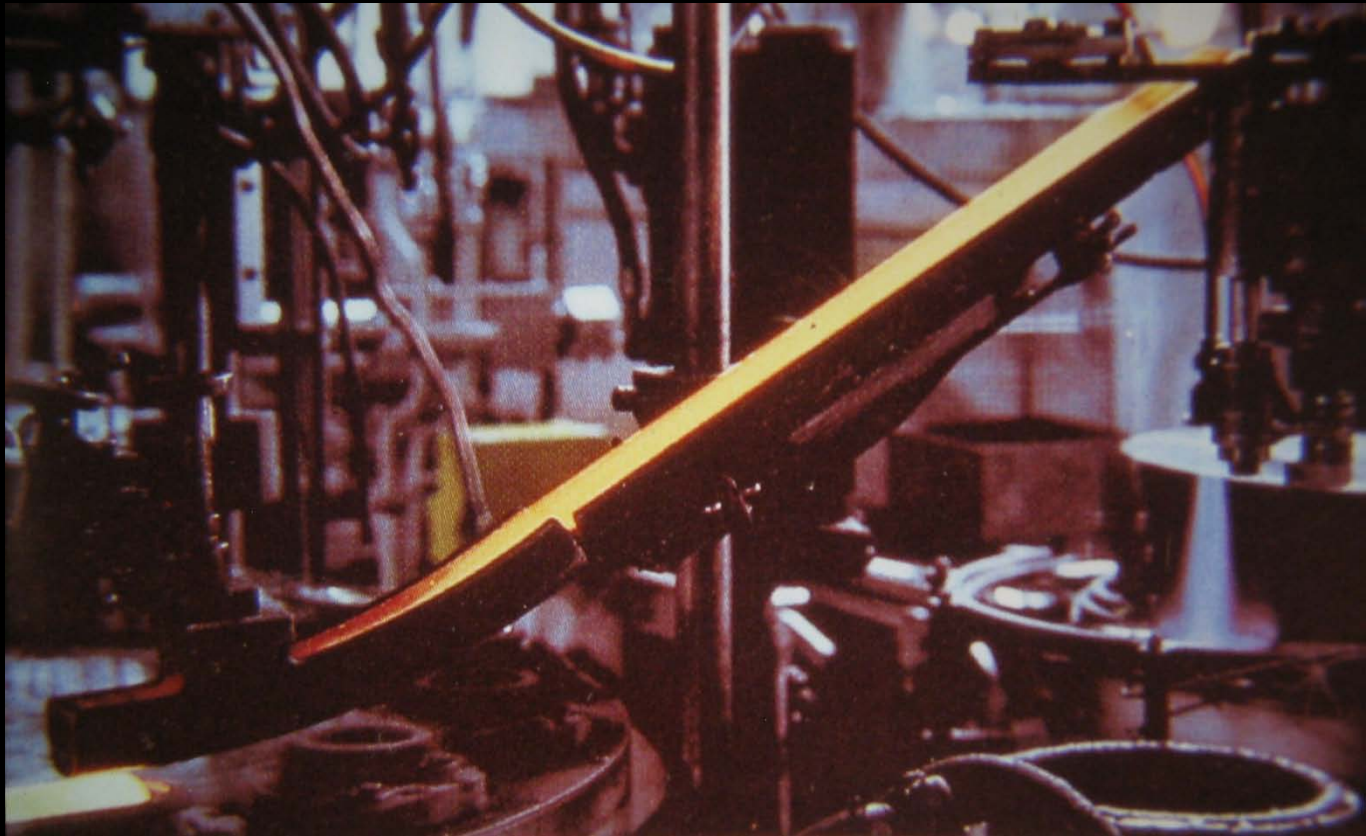




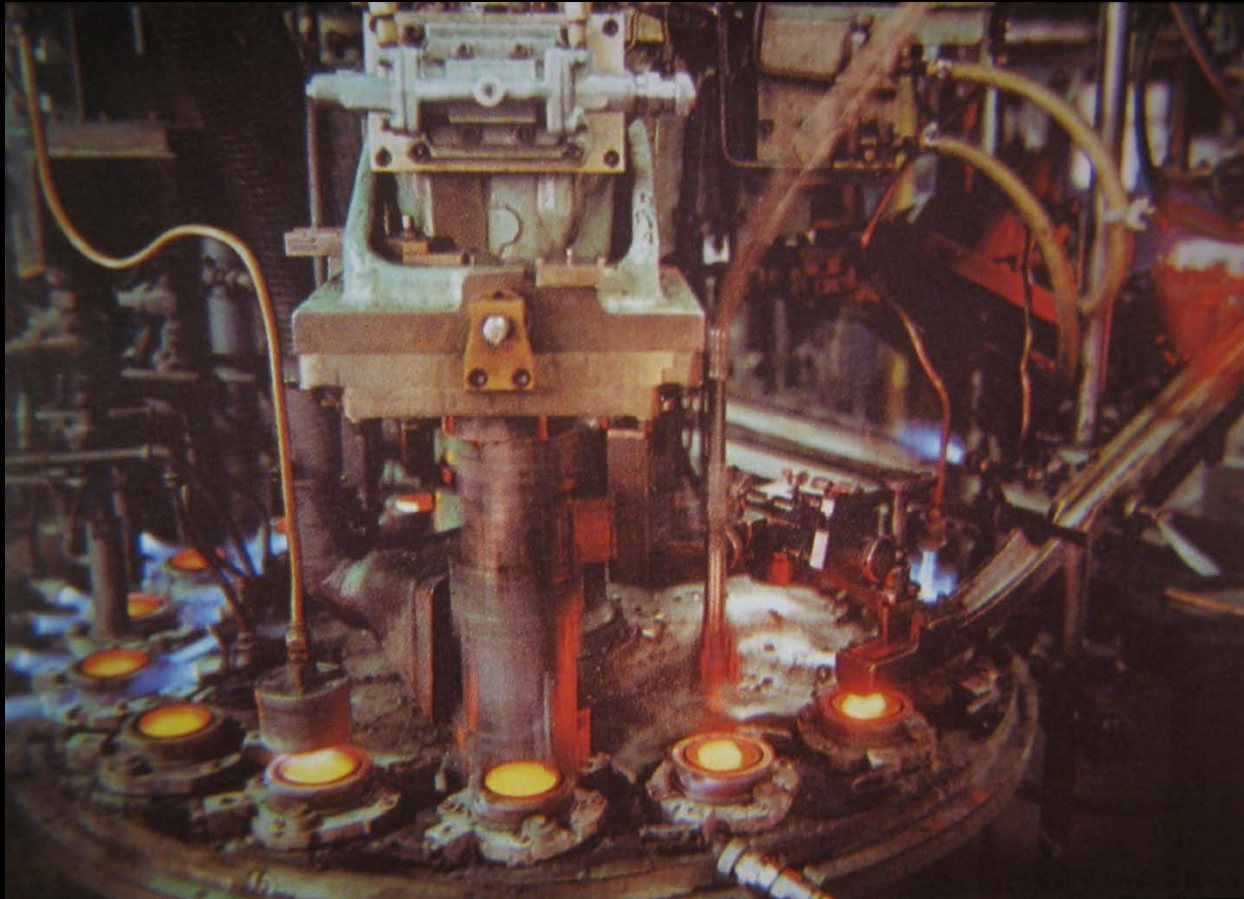
Διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής προπλασμάτων γυάλινων οφθαλμικών φακών



Αποκοπή προϋπολογισμένης ποσότητας πυρακτωμένης υαλόμαζας, που εκρέει από τον κλίβανο

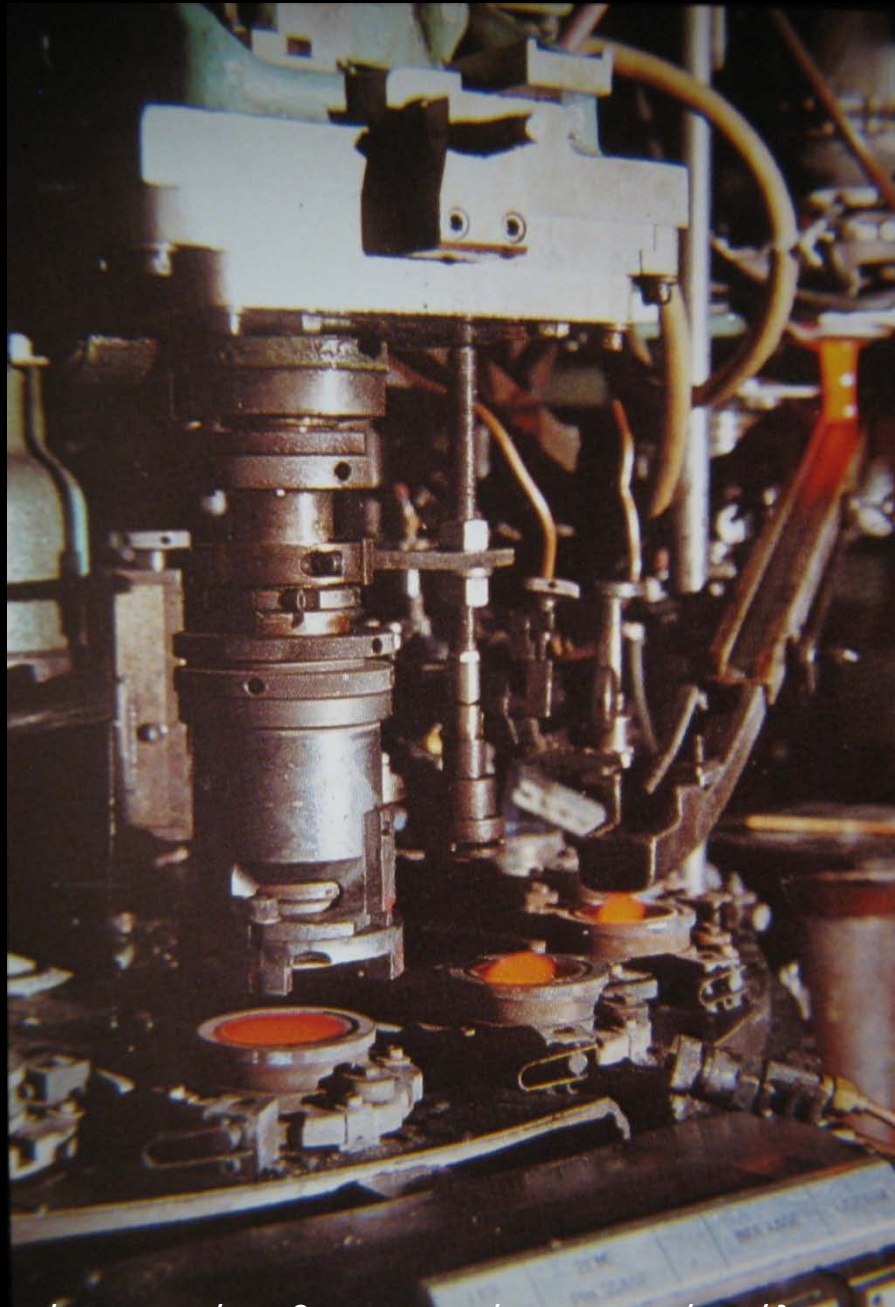


Στιγμιότυπο από τη βιομηχανική παραγωγή γυάλινων φακών

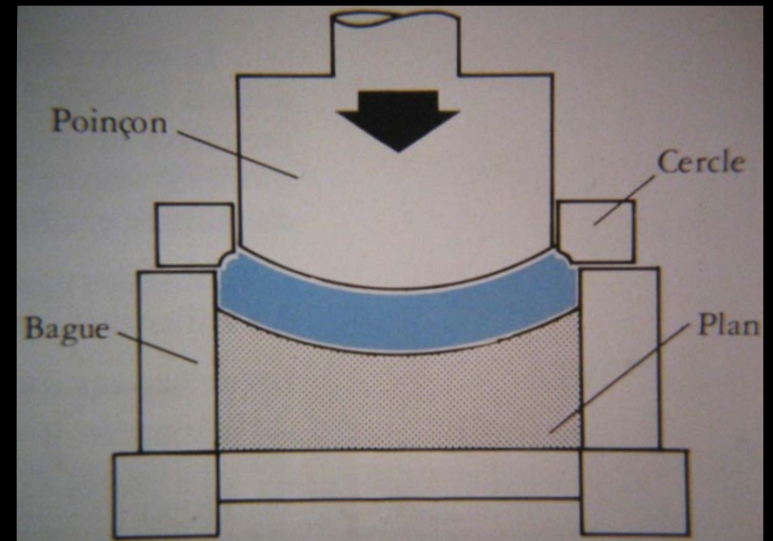
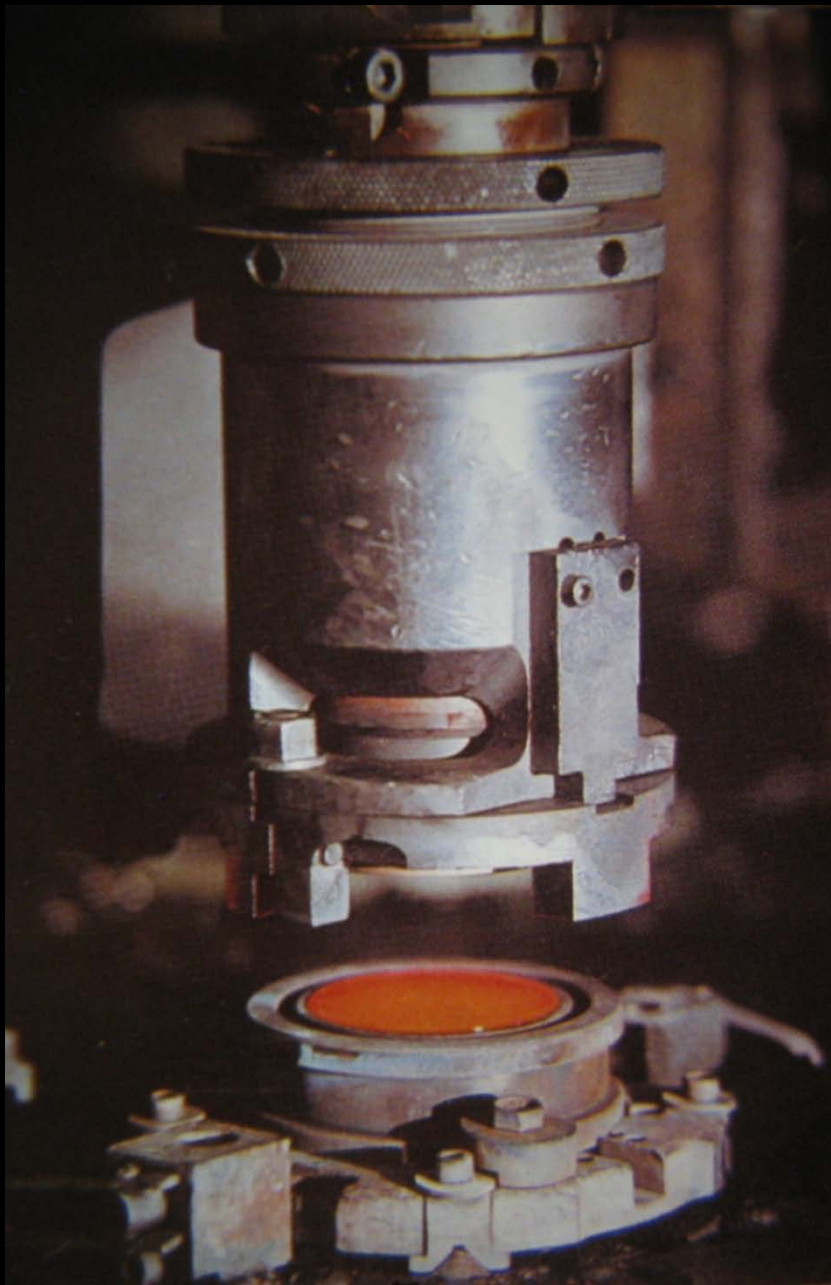


Στιγμιότυπο από τη βιομηχανική παραγωγή γυάλινων φακών





Στιγμιότυπο από τη βιομηχανική παραγωγή γυάλινων φακών



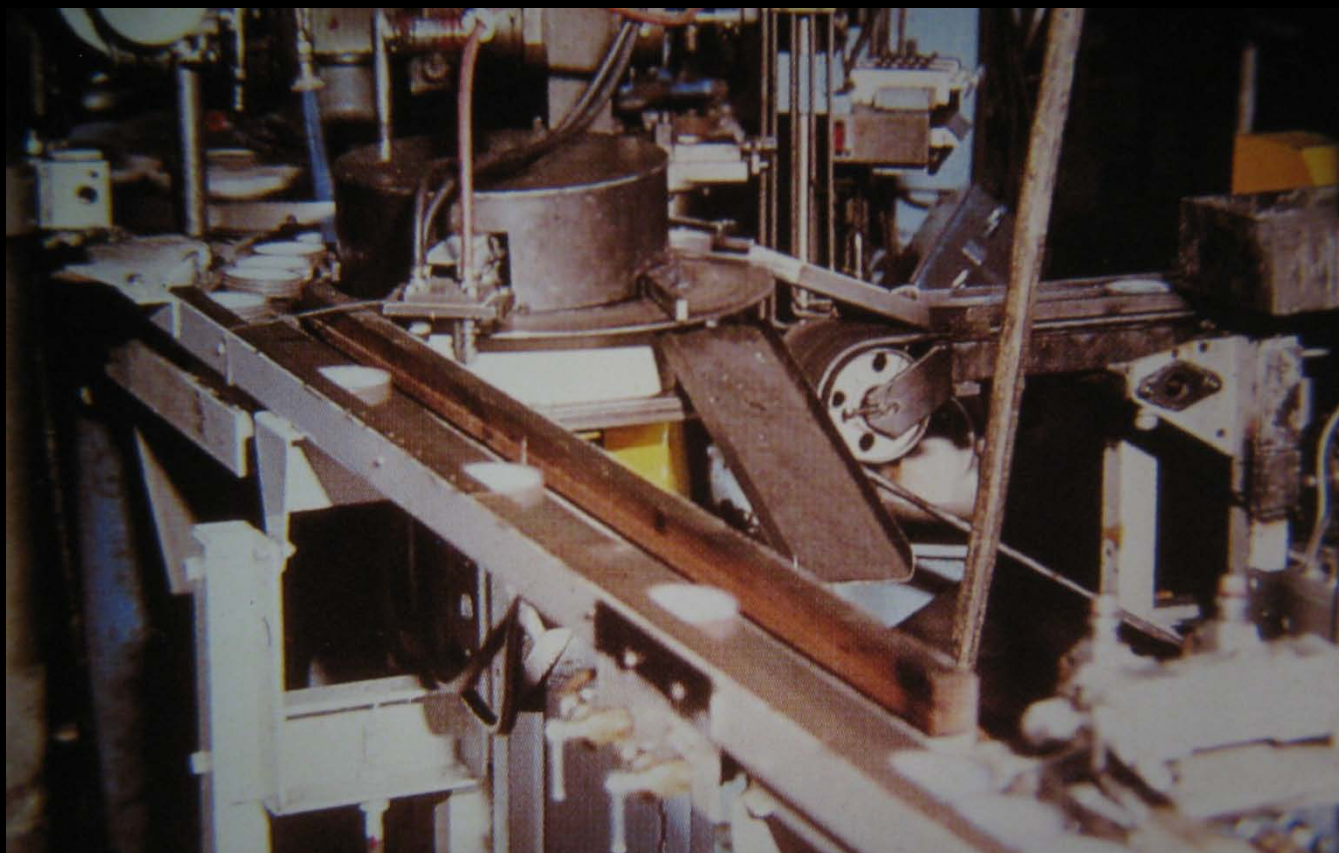
Δημιουργία κυλινδρικού δίσκου σε καλούπι



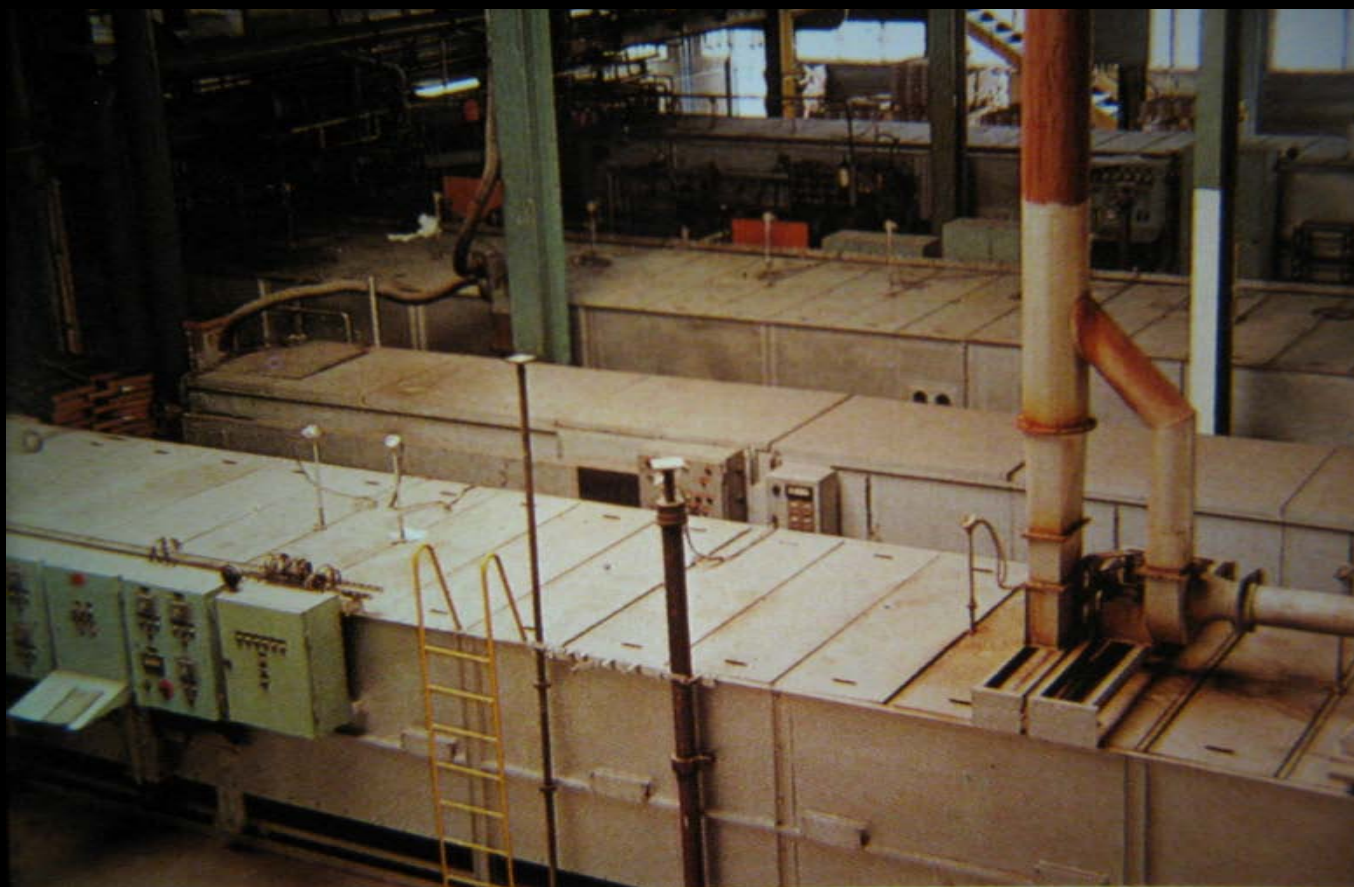
Το πυρακτωμένο γυάλινο πρόπλασμα οφθαλμικού φακού



Η θερμοκρασία των προπλάσμάτων ρυθμίζεται με τη φλόγα των ακροφυσίων



Οι γυάλινοι φακοί βγαίνουν από το καλούπι και απομακρύνονται



Πανοραμική εικόνα του εργοστασίου παραγωγής φακών με τρεις σήραγγες ανόπτησης

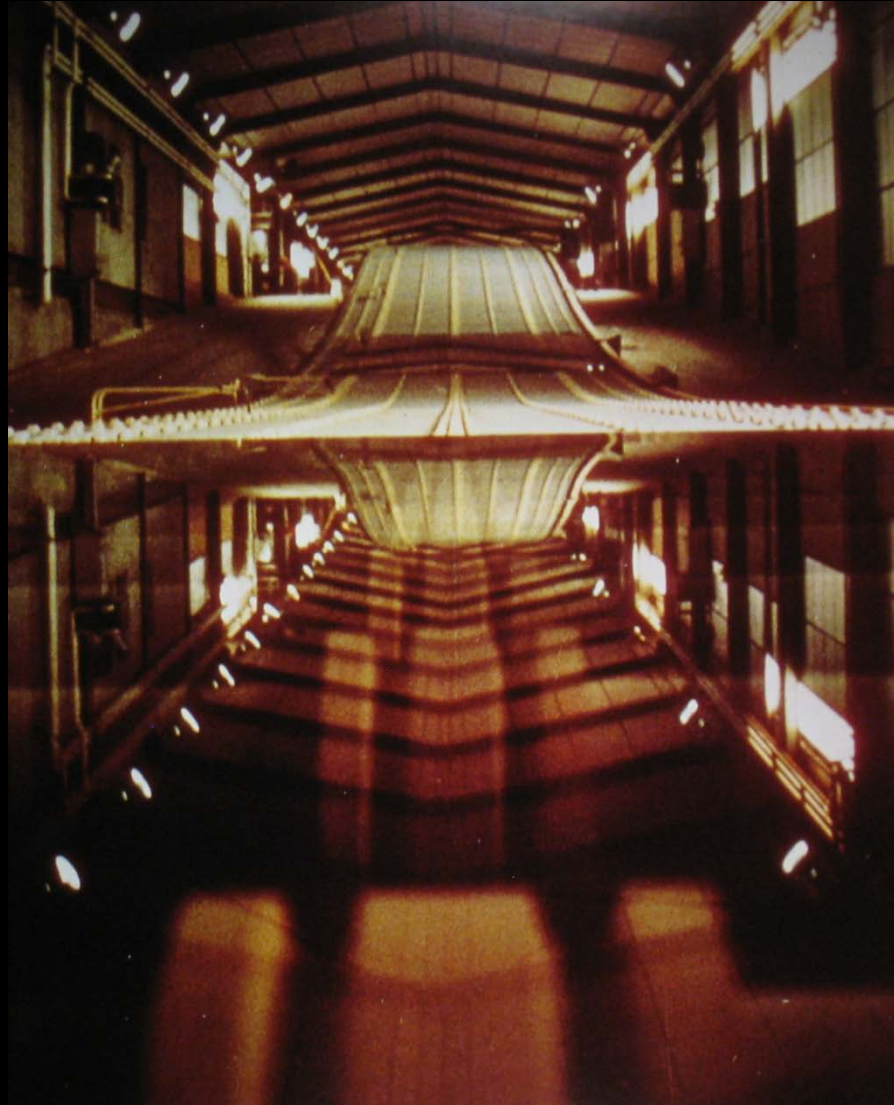


Διαδικασία συσκευασίας προπλασμάτων



Διαδικασία δημιουργίας ενός μεγάλου γυάλινου φακού





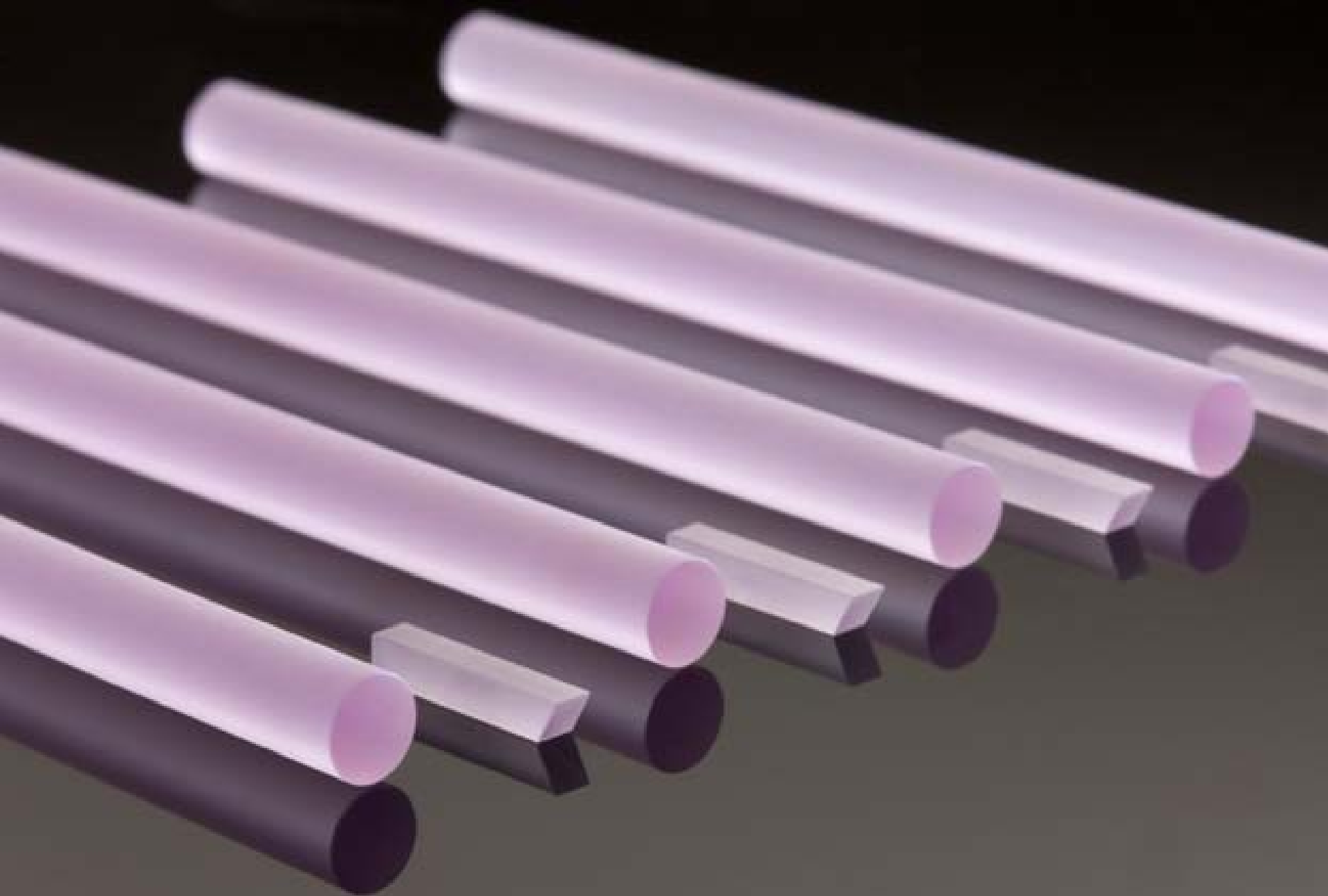
Δοχείο επίπλευσης (λιωμένος κασσίτερος) για τη δημιουργία επίπεδων υάλινων πλακών



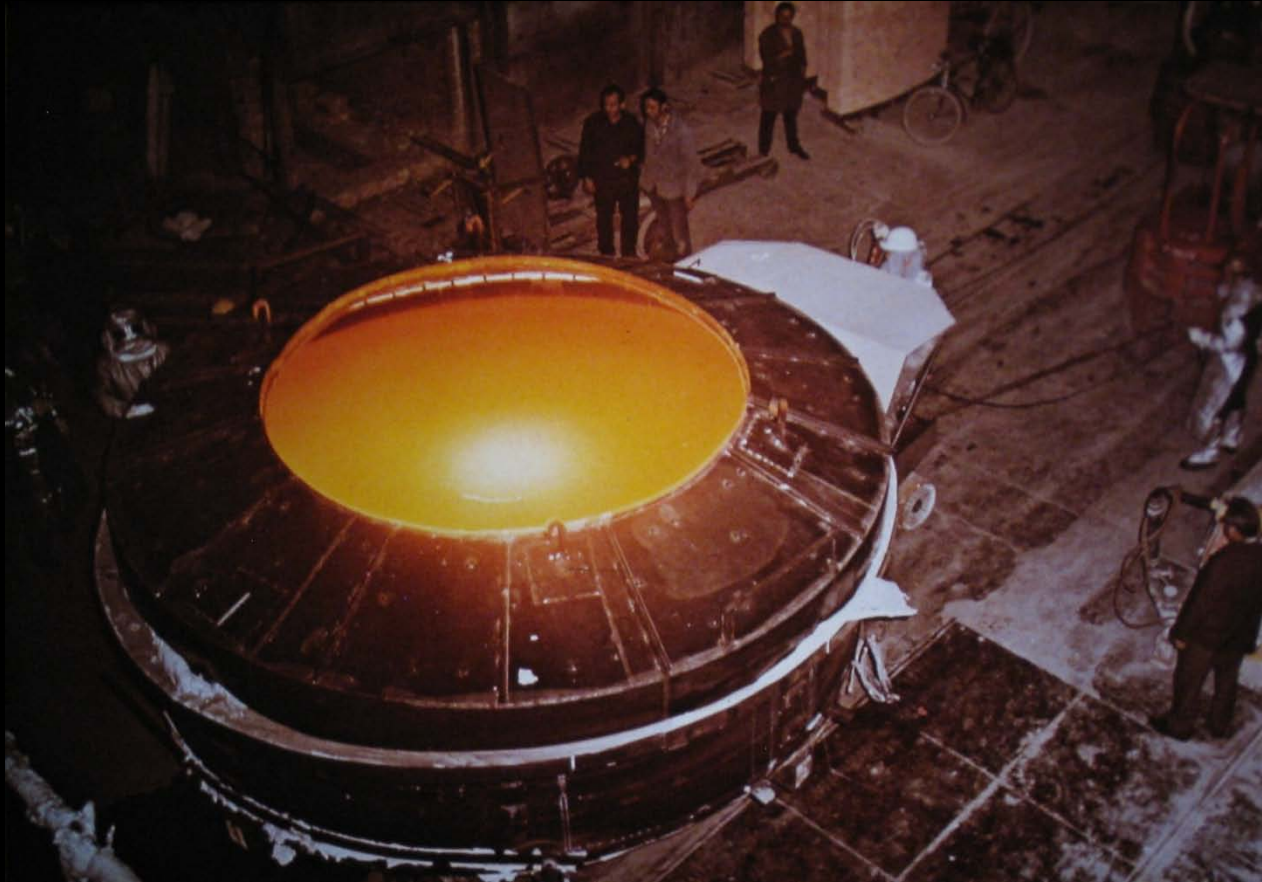
Ράβδοι υαλοκεραμικού υλικού ZERODUR



Ράβδοι υαλοκεραμικού υλικού ZERODUR και QUARZ



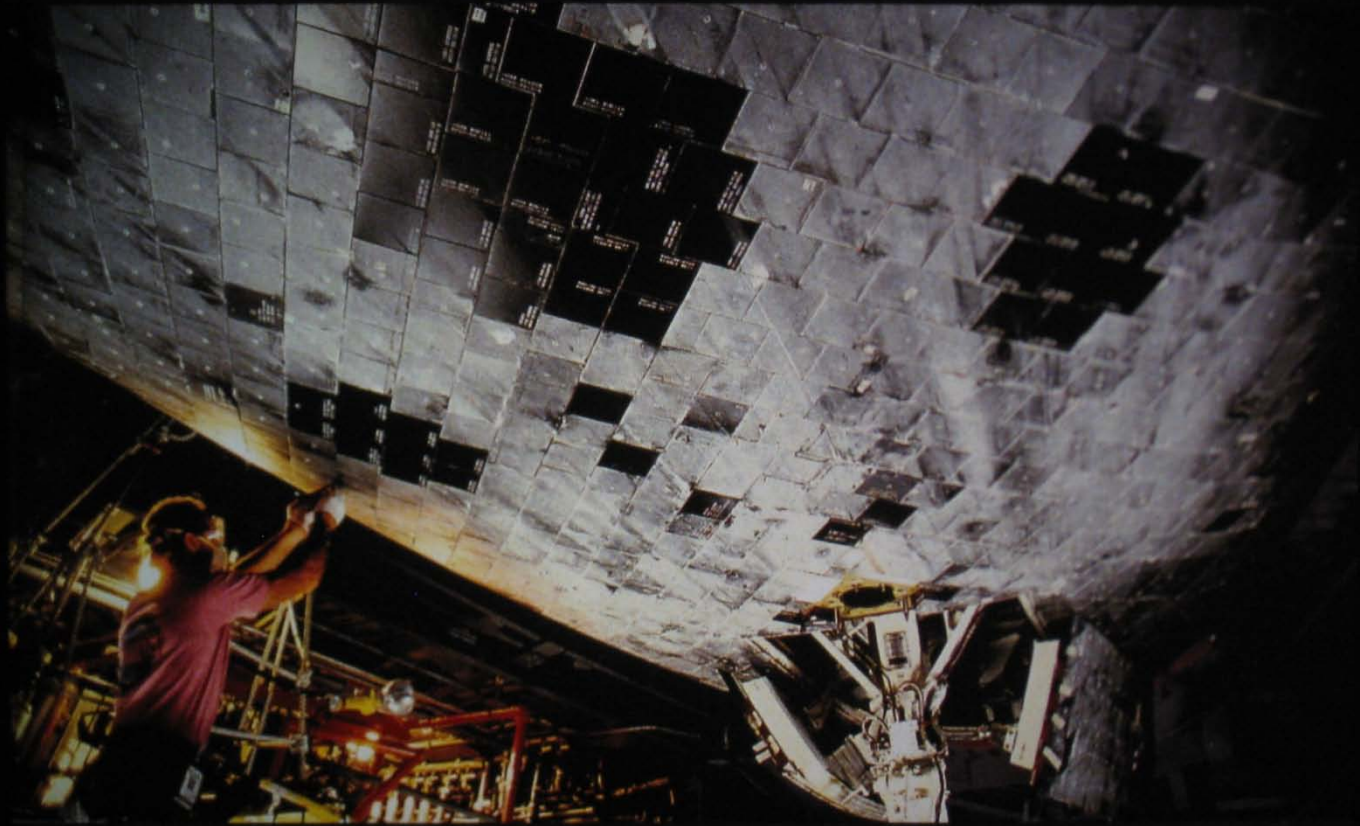
Ράβδοι υαλοκεραμικού υλικού (Nd:YAG)



Κλίβανος με λιωμένο γυαλί για την κατασκευή κατόπτρου τηλεσκοπίου



Υαλοκεραμικό υλικό με ελάχιστη θερμική αγωγιμότητα

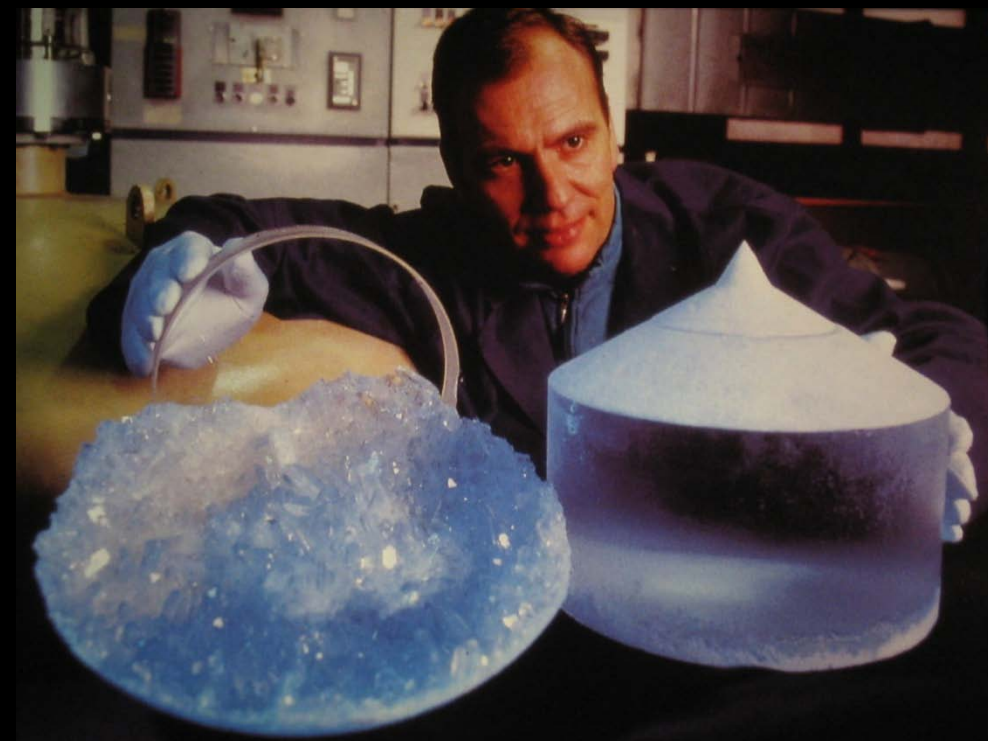


Χρήση υαλοκεραμικών υλικών στη διαστημική τεχνολογία

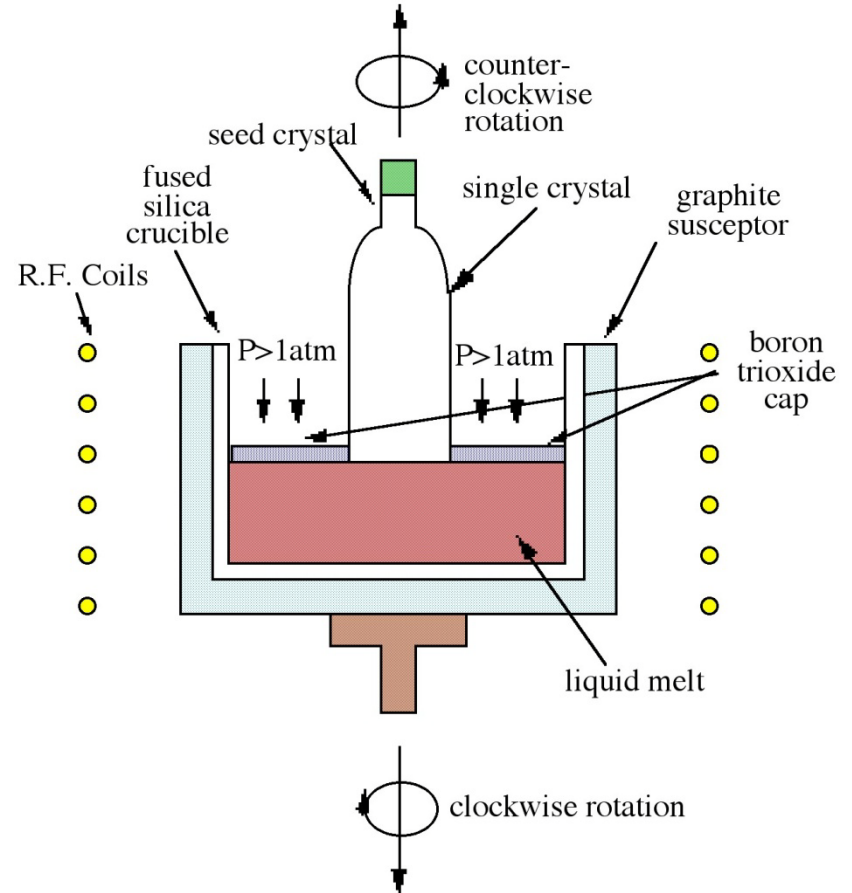
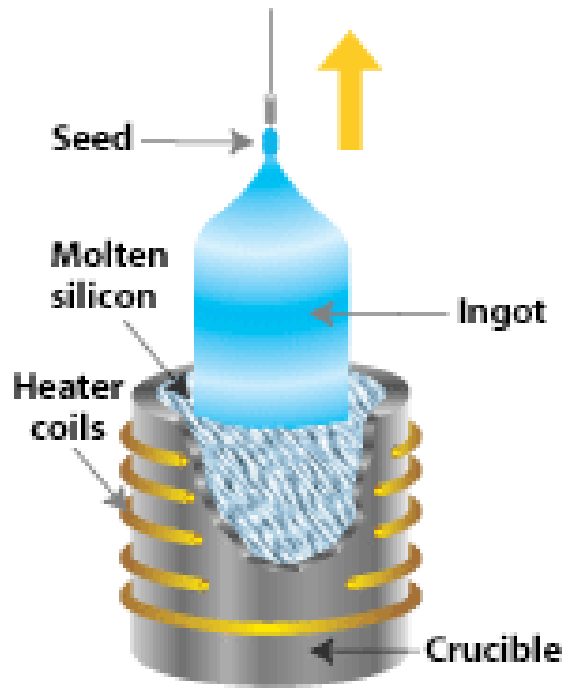


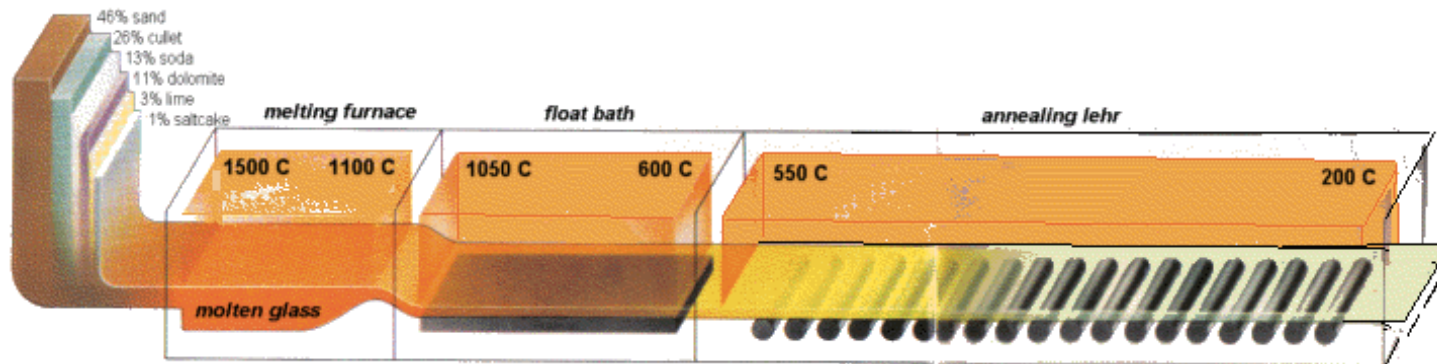
Κρύσταλλοι φθορίτη ( $\text{CaF}_2$ )– εφαρμογές σε φακούς με ειδικές χρήσεις





Φυσικοί και τεχνητοί κρύσταλλοι ζαφειριού ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) για την κατασκευή ειδικών φακών UV





Φούρνος Τήξης

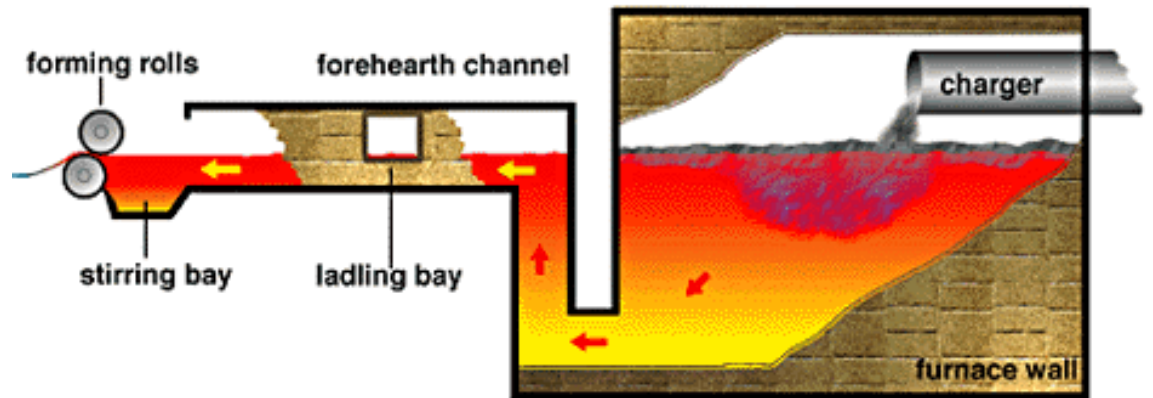
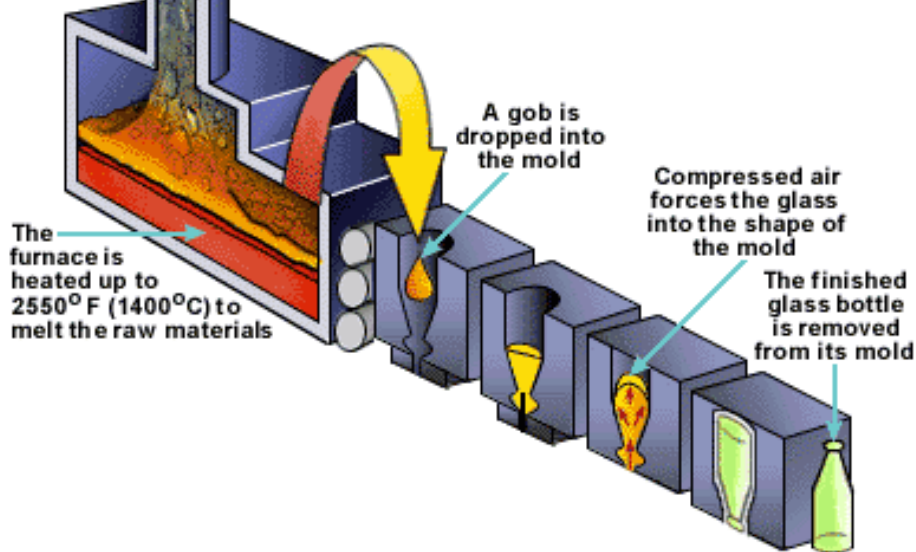
Λουτρό Πλεύσης  
(Κασσίτερος)

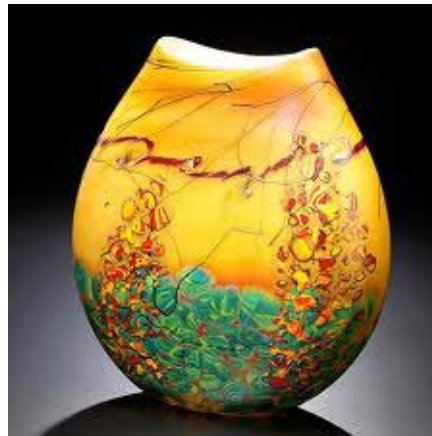
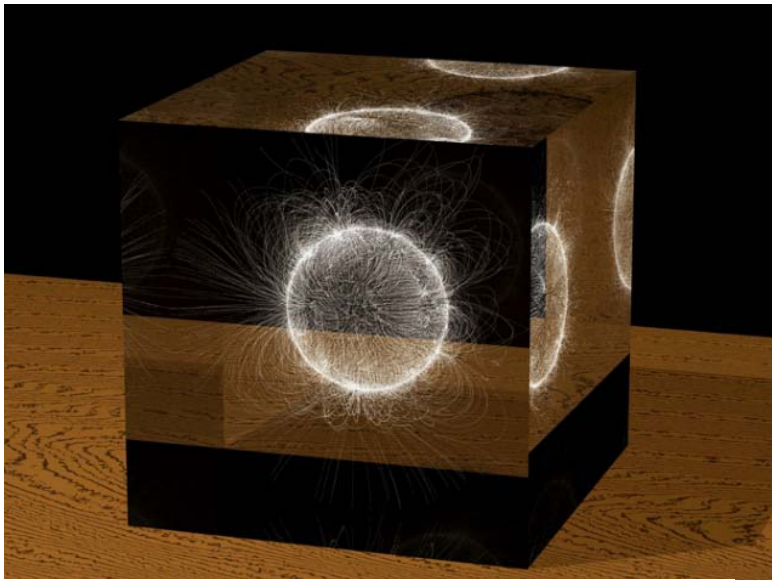
Φούρνος Ανόπτησης

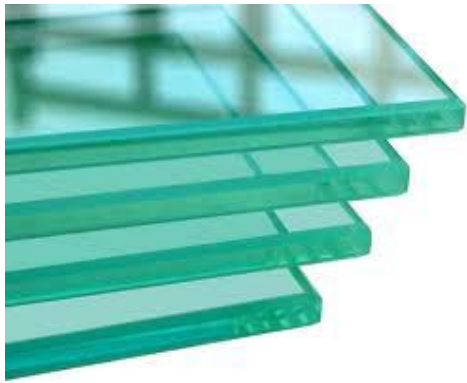




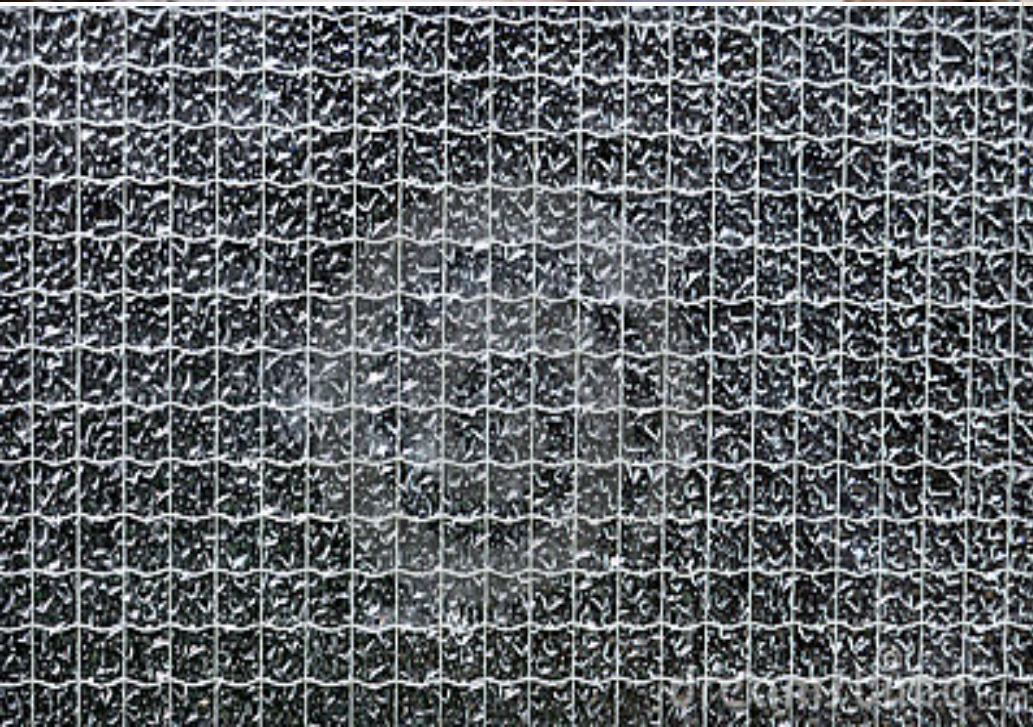
The raw ingredients of glass are fed into the furnace





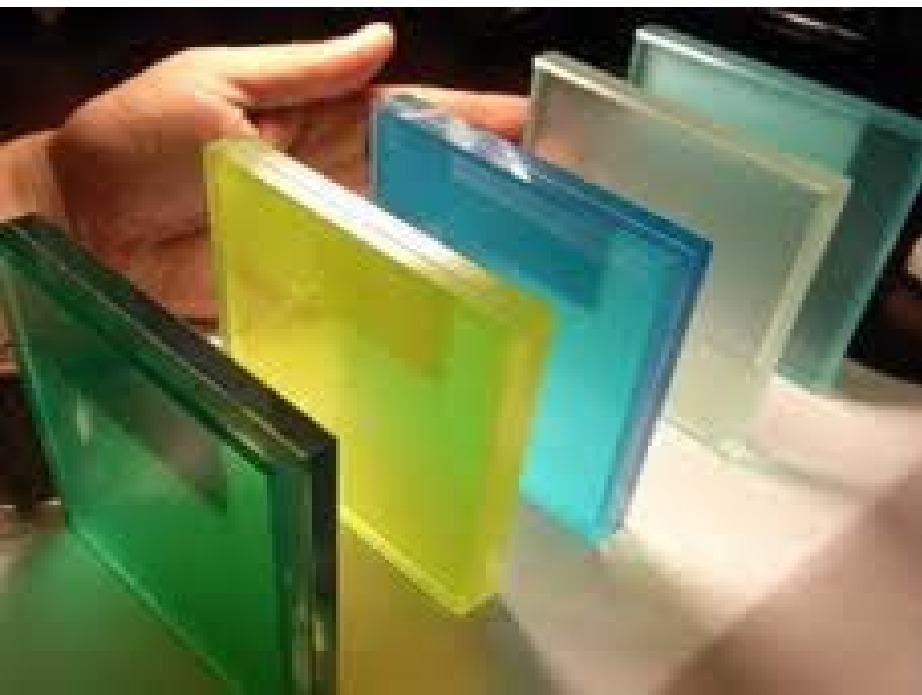




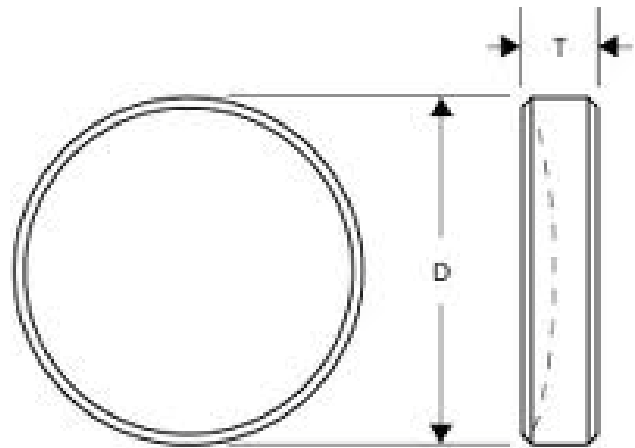
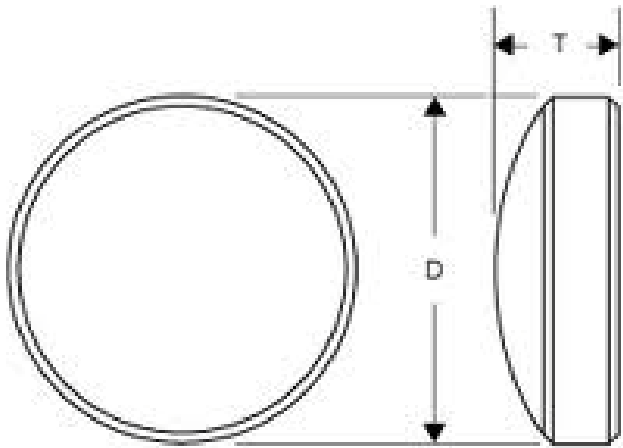






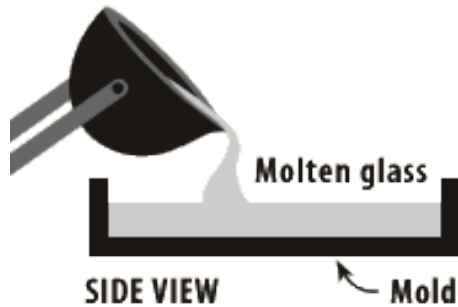






### Casting the glass disk

Molten glass is poured into a mold. Molds have become more complicated over the years. Some molds today form disks with a honeycomb-like structure that makes the disks stronger and lighter.



### Resulting disk, or "blank"

Two astronomers stand atop the 200-inch Hale telescope mirror disk.

### Grinding the disk

The top of the glass disk is ground to the perfect concave, parabolic shape.



### Ground disk

The parabolic shape above has been greatly exaggerated.

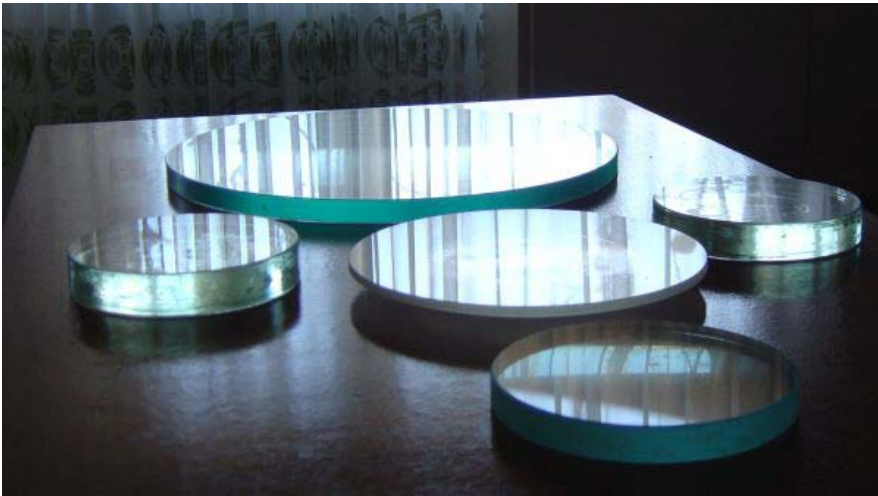
### Applying the mirrored surface

A thin, shiny metal coating is applied to the top of the disk.



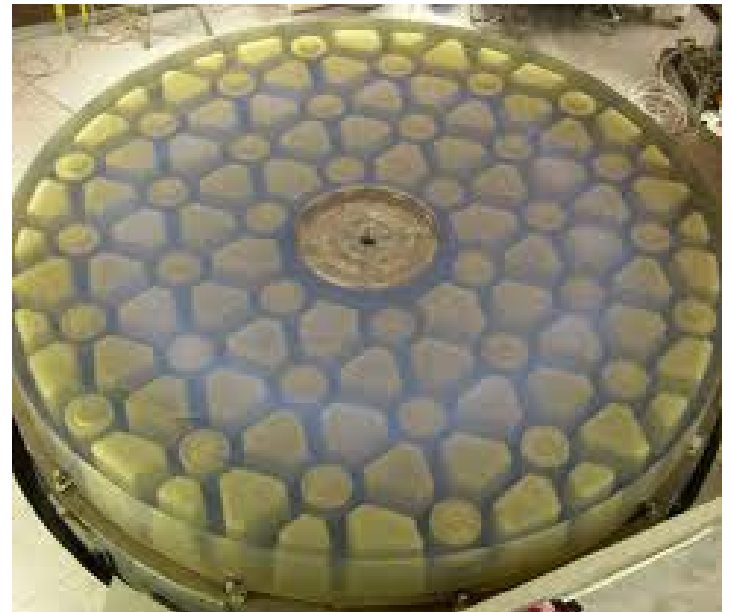
Mirror coatings are made of the shiniest metals, like silver or aluminum.

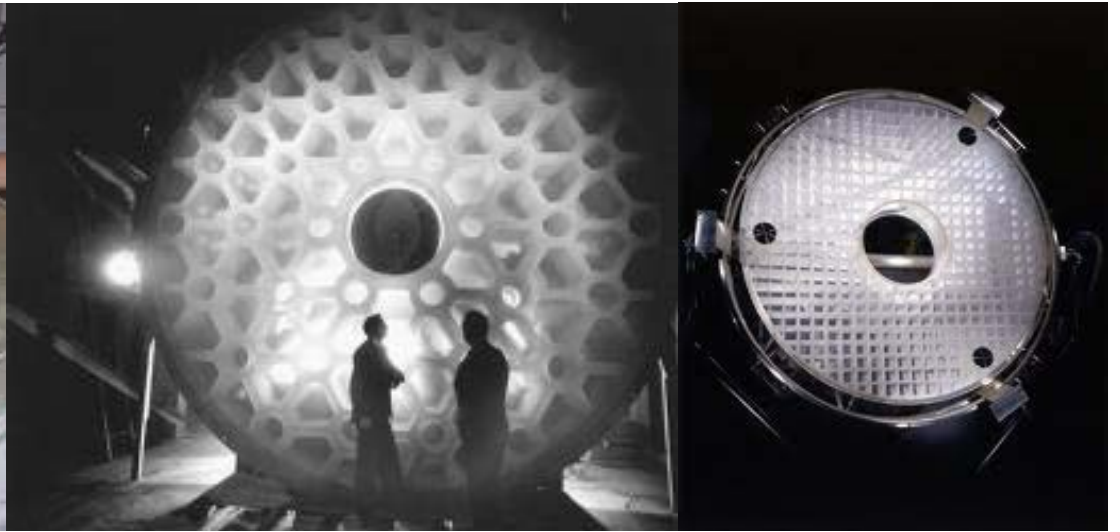


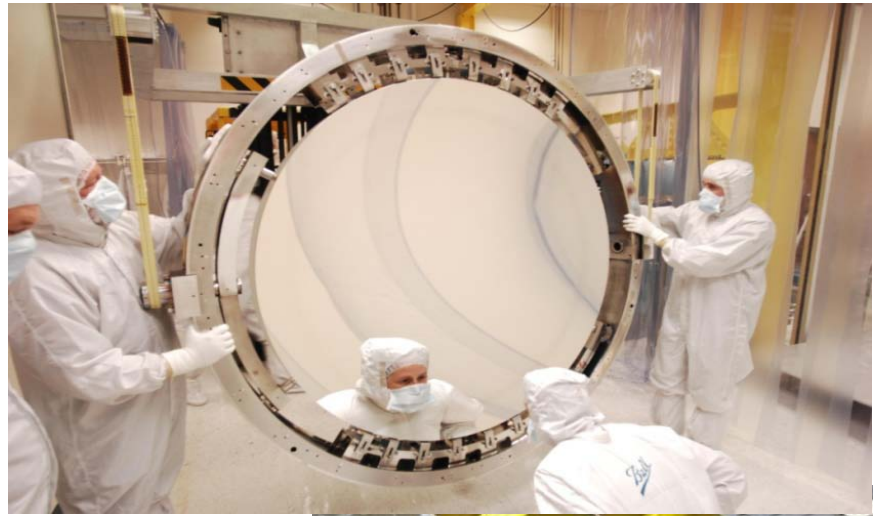




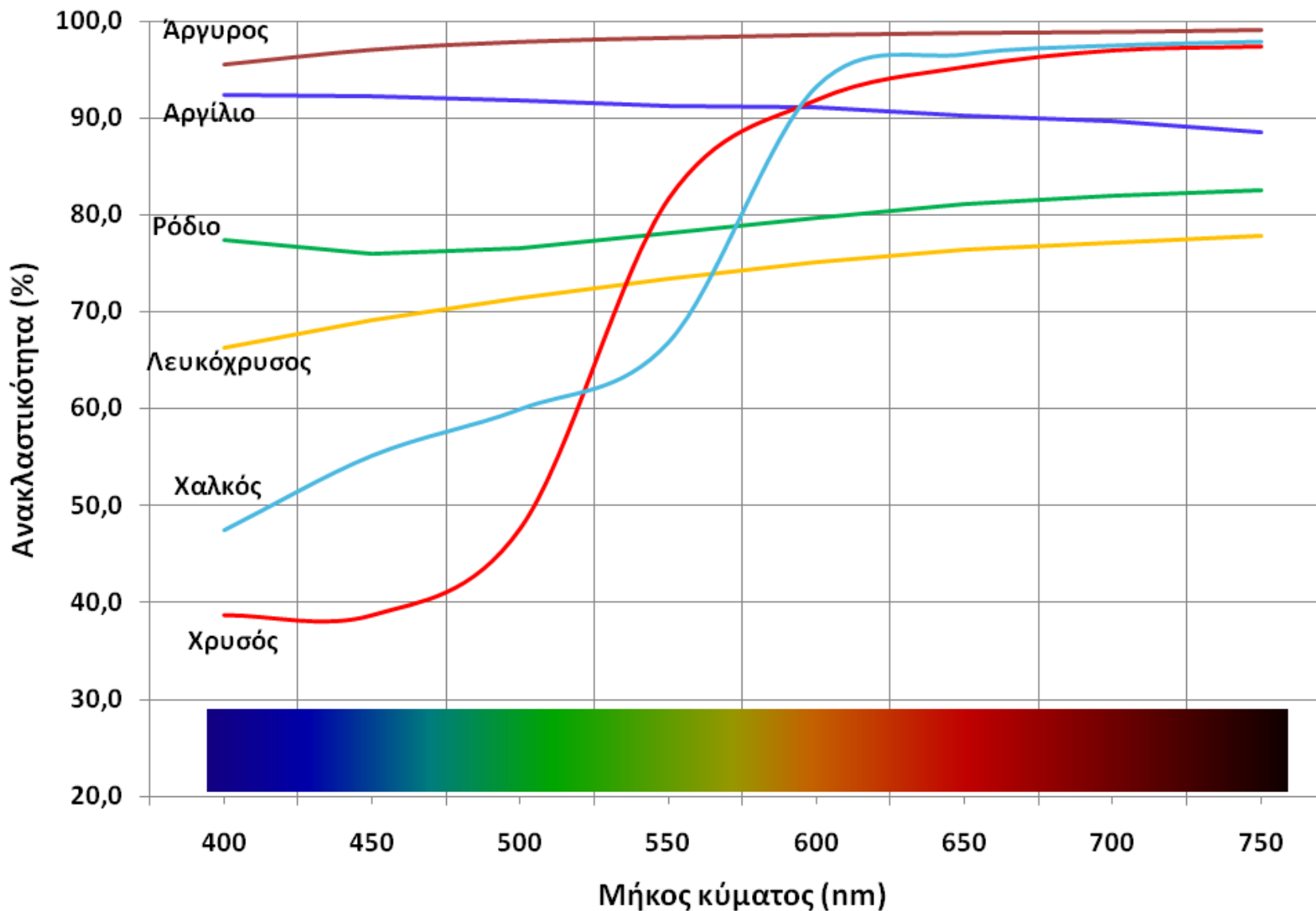




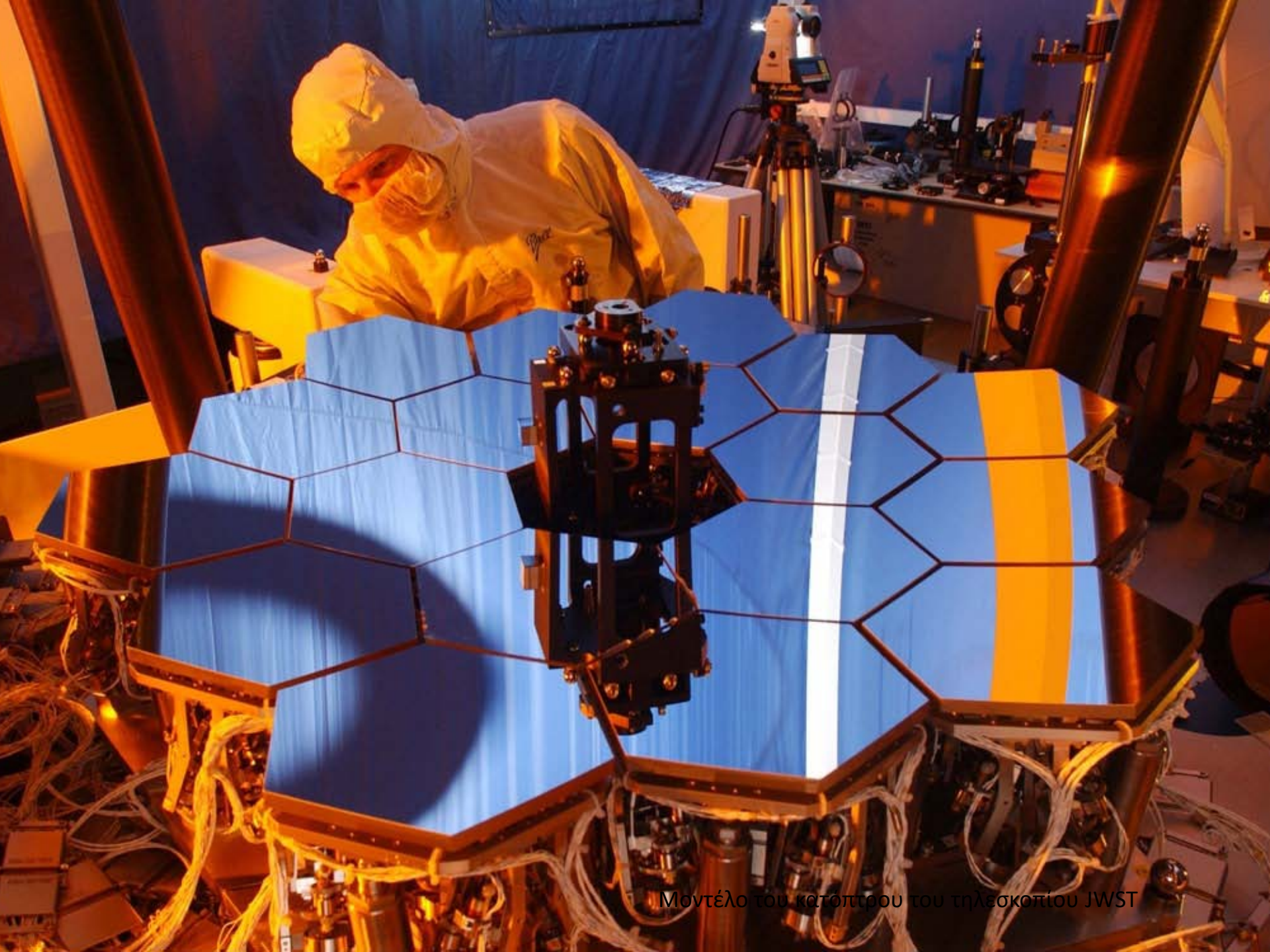




Η ανακλαστική ικανότητα των επιφανειών εξαρτάται από την μεταλλική επίστρωση.





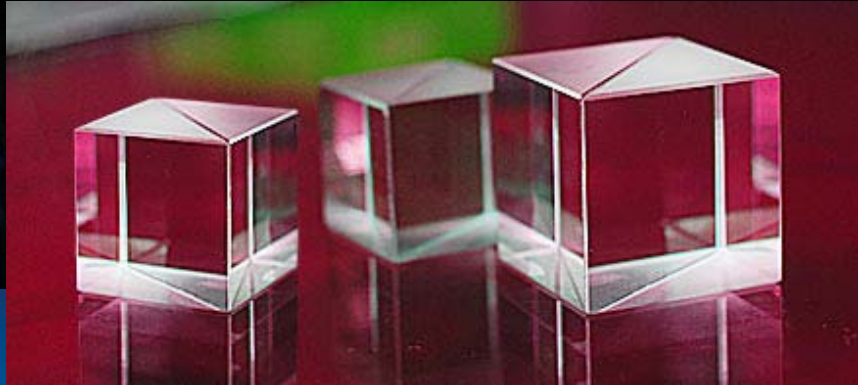
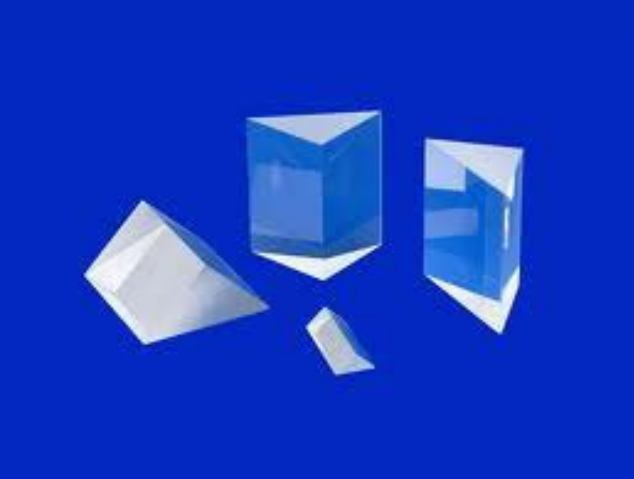


Μοντέλο του κατόπτρου του τηλεσκοπίου JWST



Το μεγαλύτερο κάτοπτρο τηλεσκοπίου μέχρι το 2012 (HET και SALT). Οι διαστάσεις του είναι 11 x 9.8m.

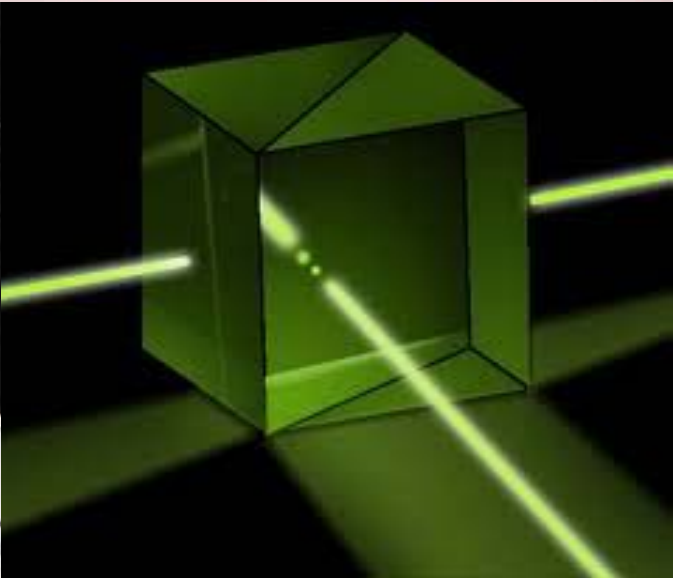
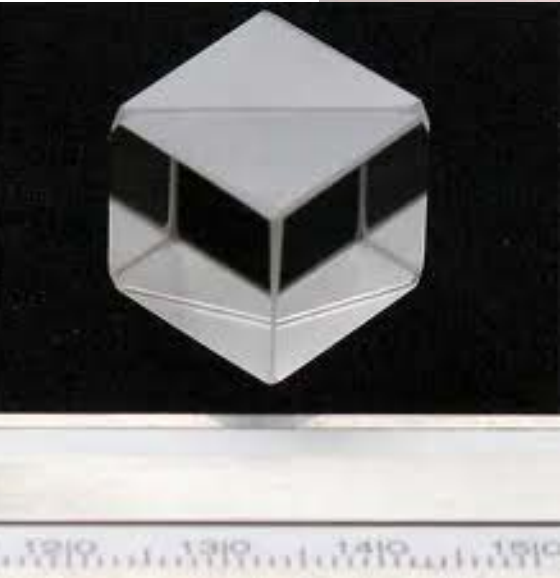
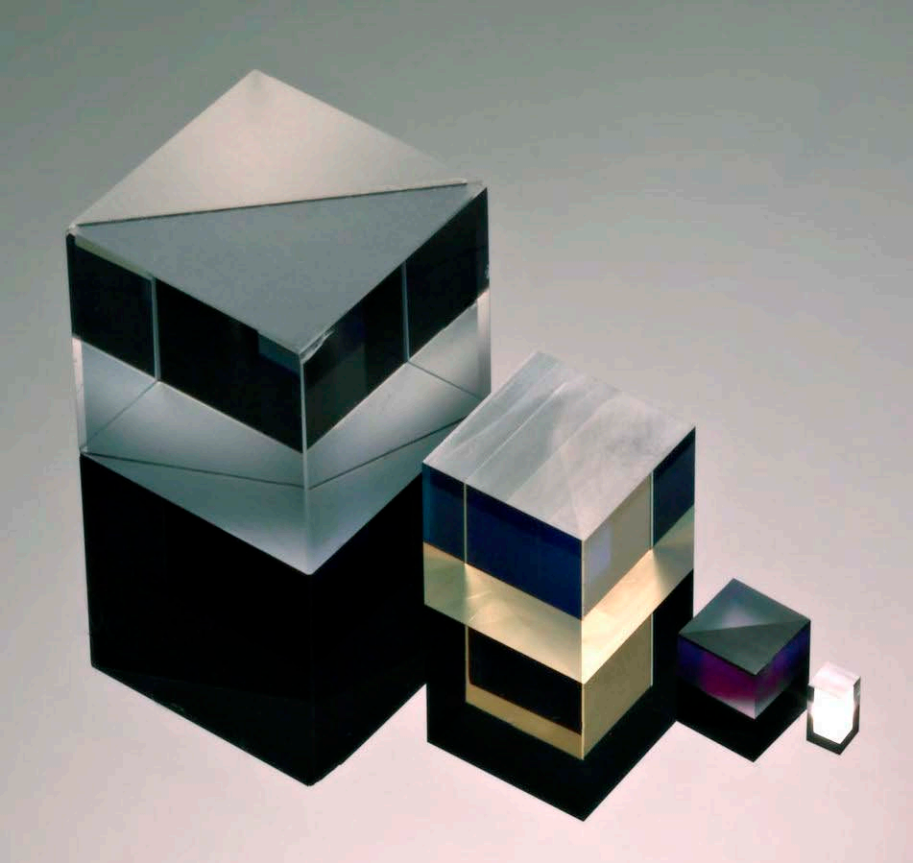
# ΠΡΙΣΜΑΤΑ



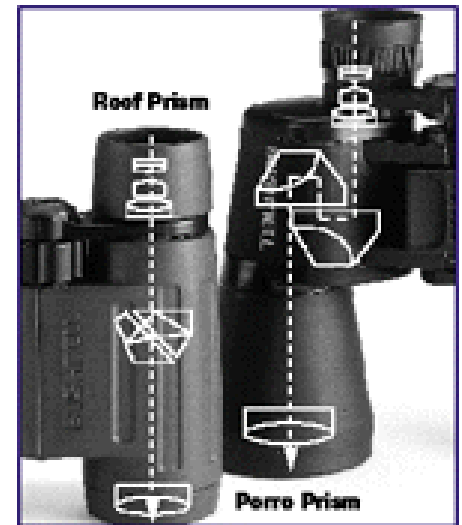
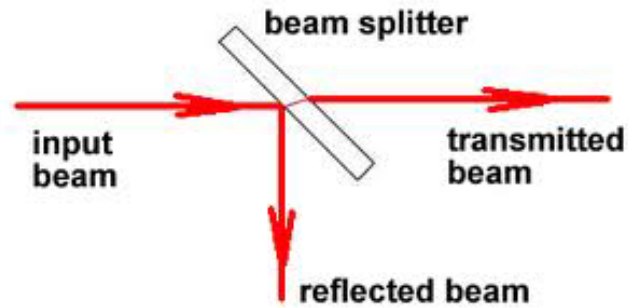
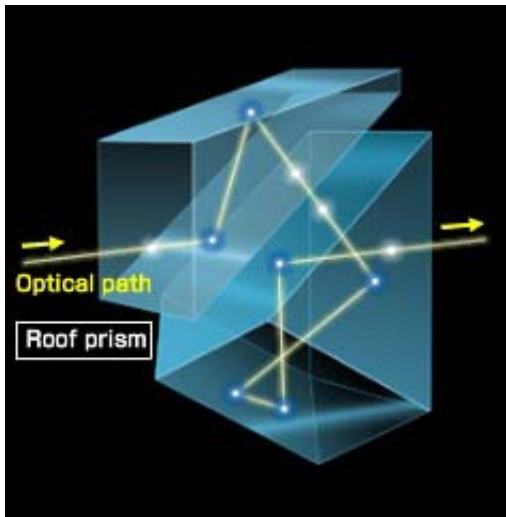
Κοσμάς Γαζέας  
Αθήνα 2014





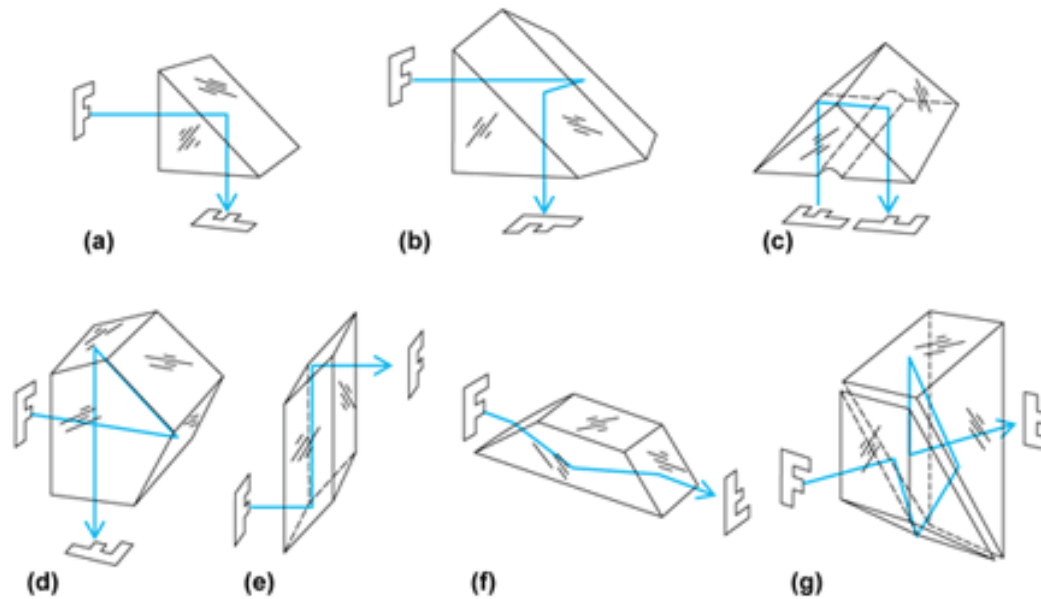


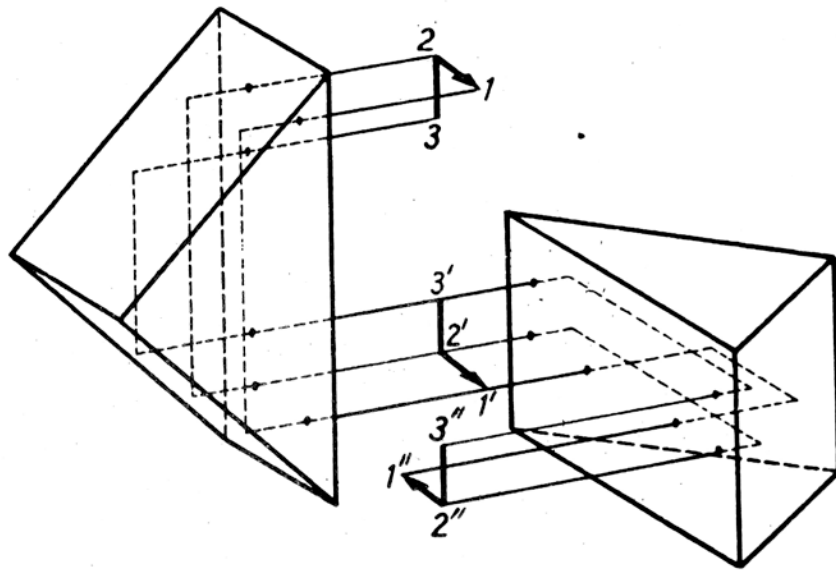
# εφαρμογές πρισμάτων



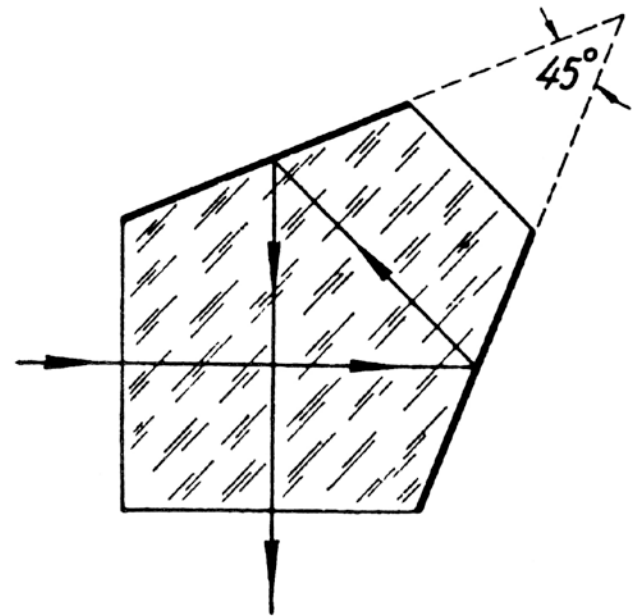
## είδη πρισμάτων

- a) Ορθής εκτροπής ( $90^\circ$ )
- b) Amici (roof)
- c) Porro
- d) Πεντάπρισμα
- e) Ρομβοειδές
- f) Dove
- g) Roof (Pechan)

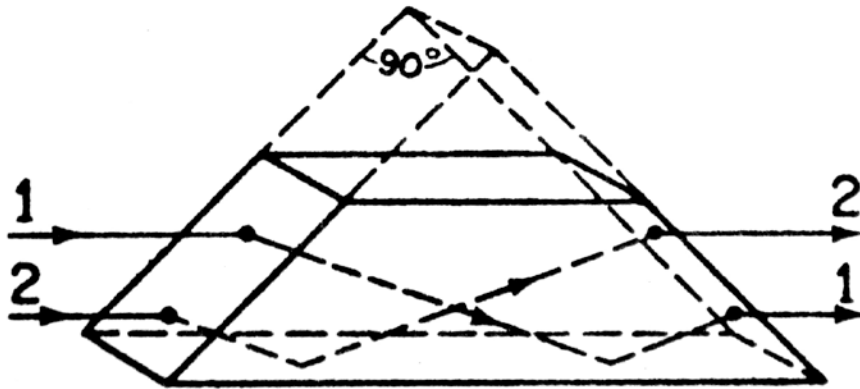




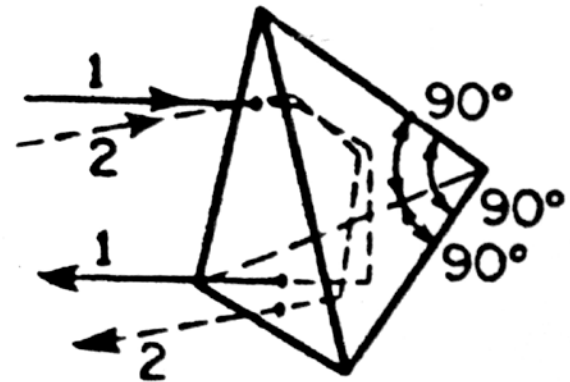
porro prism



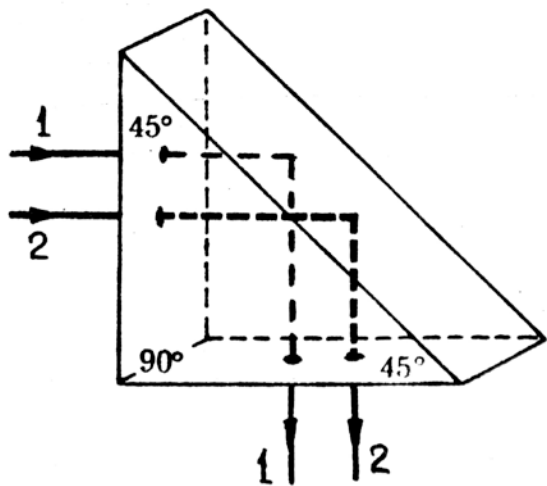
πεντάπρισμα



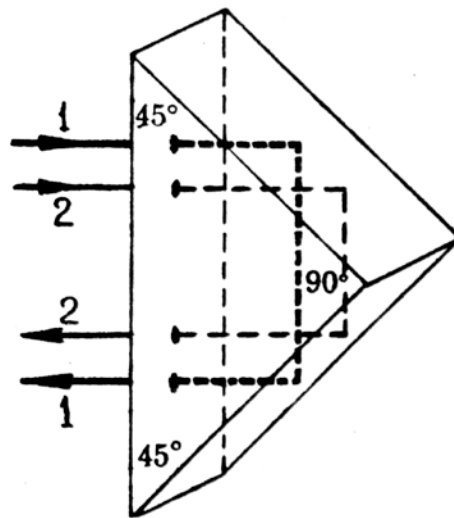
Πρίσμα Dove



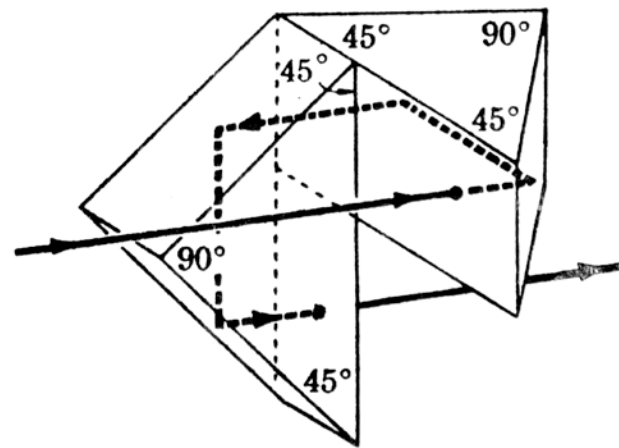
«Τριπλό κάτοπτρο»  
(corner cube ή retroreflector)



πρίσμα εκτροπής  $90^\circ$

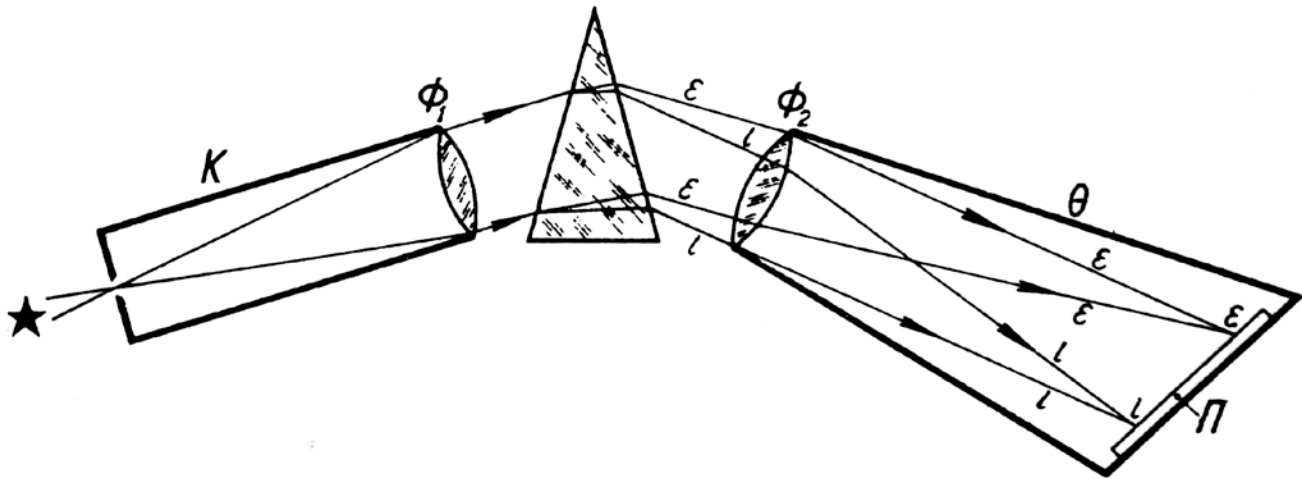


πρίσμα Porro

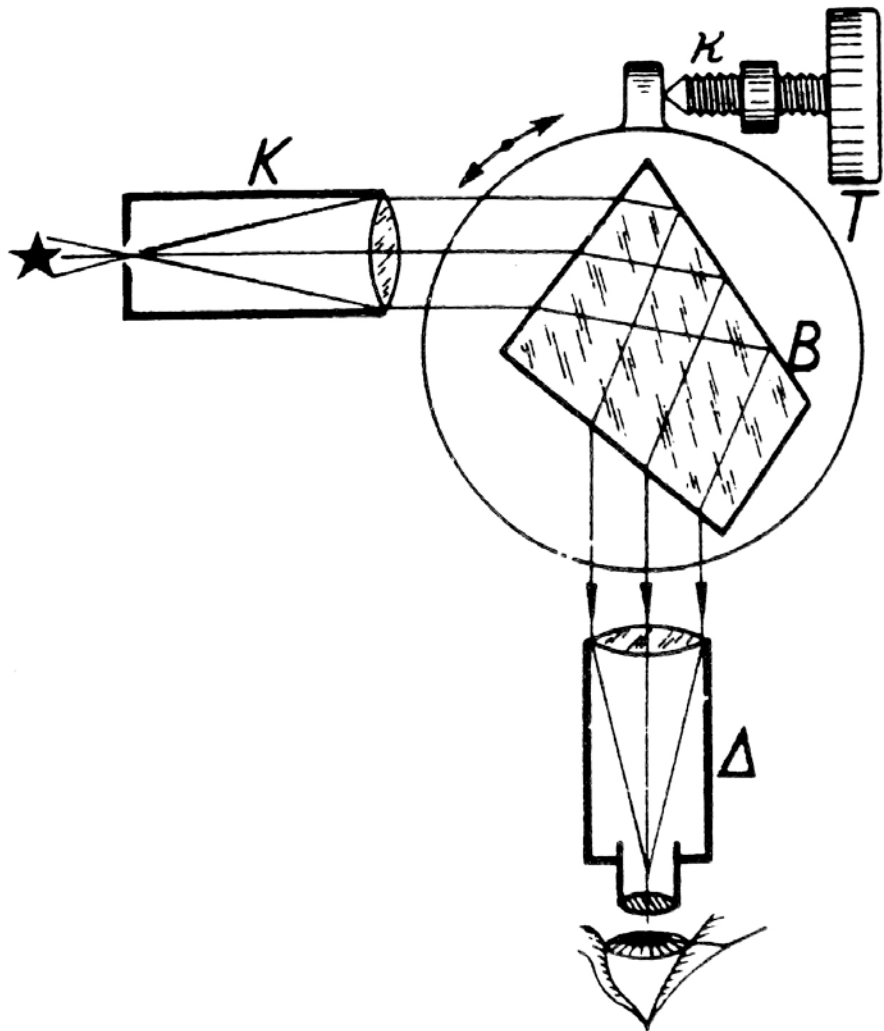


Σύνθετο πρίσμα Porro

# Η διάταξη του απλού φασματογράφου



# Φασματοσκόπιο σταθερής εκτροπής (πρίσμα Pellin-Broca)





Φορητό φασματοσκόπιο ευθυσκοπίας

