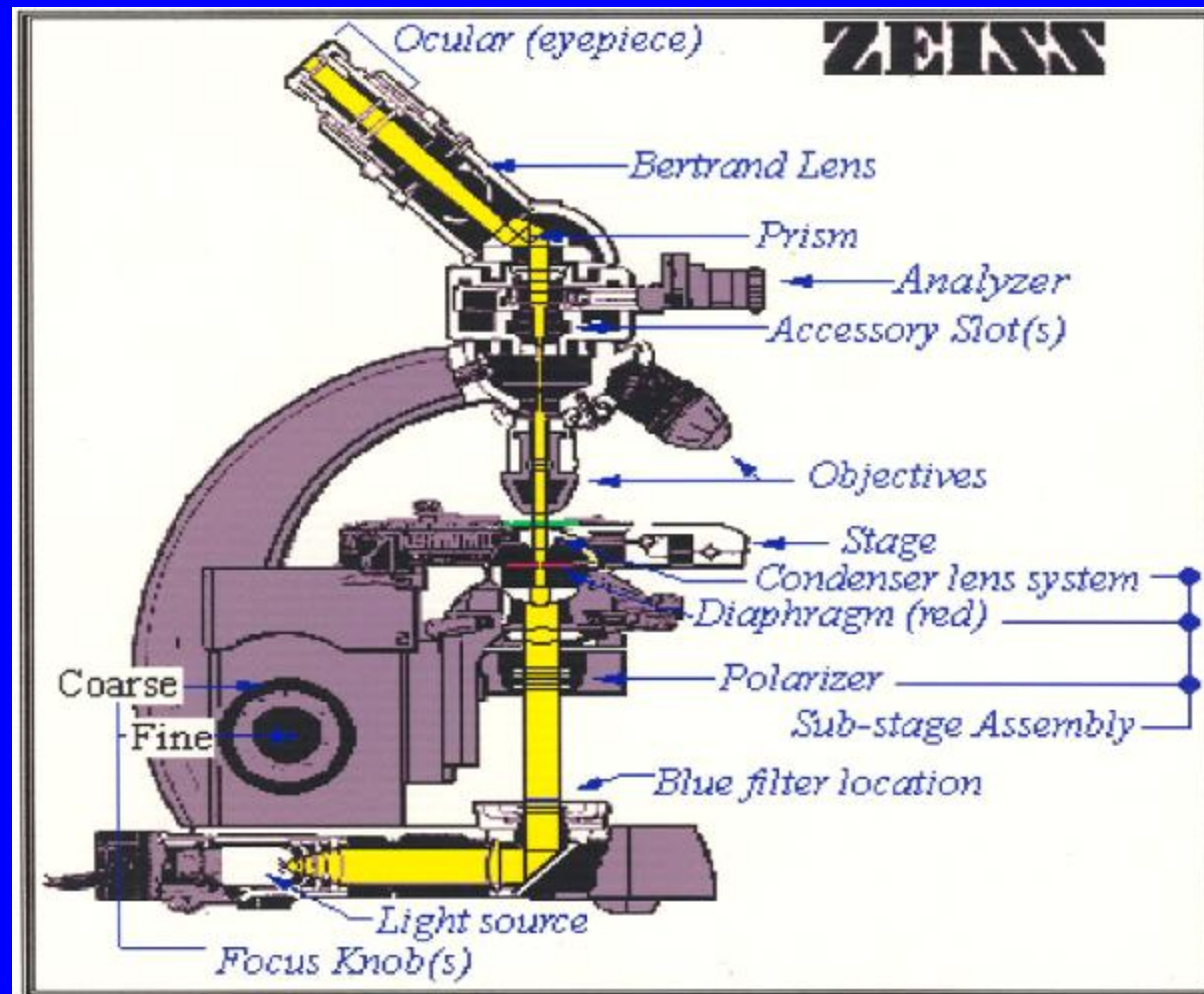


Οπτική Ορυκτολογία-Κρυσταλλογραφία (ΥΟ104)

Π. Βουδούρης



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Οπτική Ορυκτολογία - Οπτική Κρυσταλλογραφία είναι τμήμα της Ορυκτολογίας και εξετάζει την οπτική συμπεριφορά των ορυκτών σε κρυσταλλική ή μη κρυσταλλική κατάσταση.

Η αναγνώριση των ορυκτών γίνεται με τον προσδιορισμό των οπτικών ιδιοτήτων (π.χ το δείκτη διάθλασης, την τιμή της διπλοθλαστικότητας, τη γωνία των οπτικών αξόνων κ.α...)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

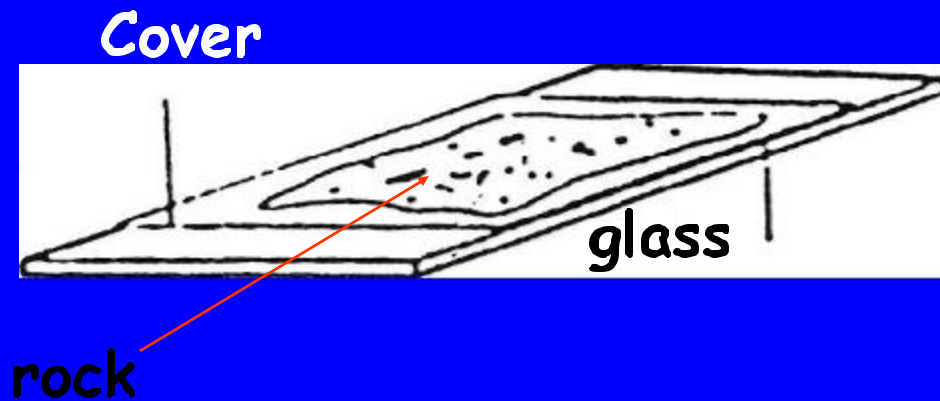
Τα ορυκτά μελετώνται με **πολωτικό μικροσκόπιο**, είτε σε **λεπτές τομές** είτε σε **στιλπνές τομές**.

Το Πολωτικό Μικροσκόπιο διερχομένου φωτός, ή Πετρογραφικό Μικροσκόπιο εξετάζει τις λεπτές τομές των διαφανών ορυκτών. Σε λεπτές τομές, πάχους 0.02-0.03 mm (20 – 30 μm) εξετάζονται με διερχόμενο φως τα διαφανή ορυκτά, στα οποία περιλαμβάνονται τα περισσότερα βιομηχανικά και πετρογενετικά ορυκτά.

Το Πολωτικό Μικροσκόπιο προσπίπτοντος φωτός, ή Μεταλλογραφικό Μικροσκόπιο εξετάζει τα αδιαφανή ορυκτά. Τα μεταλλικά ορυκτά (αδιαφανή ορυκτά), τα οποία για το προαναφερόμενο πάχος δεν επιτρέπουν το φως να περάσει από αυτά, εξετάζονται σε στιλπνές τομές με ανακλώμενο φως.

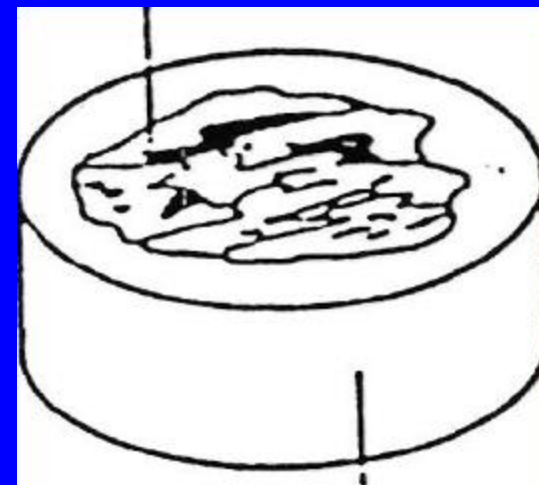
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΑΤΑ

ΠΟΛΩΤΙΚΟ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΜΕ
ΔΙΕΡΧΌΜΕΝΟ ΦΩΣ



ΠΟΛΩΤΙΚΟ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΜΕ
ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝ ΦΩΣ

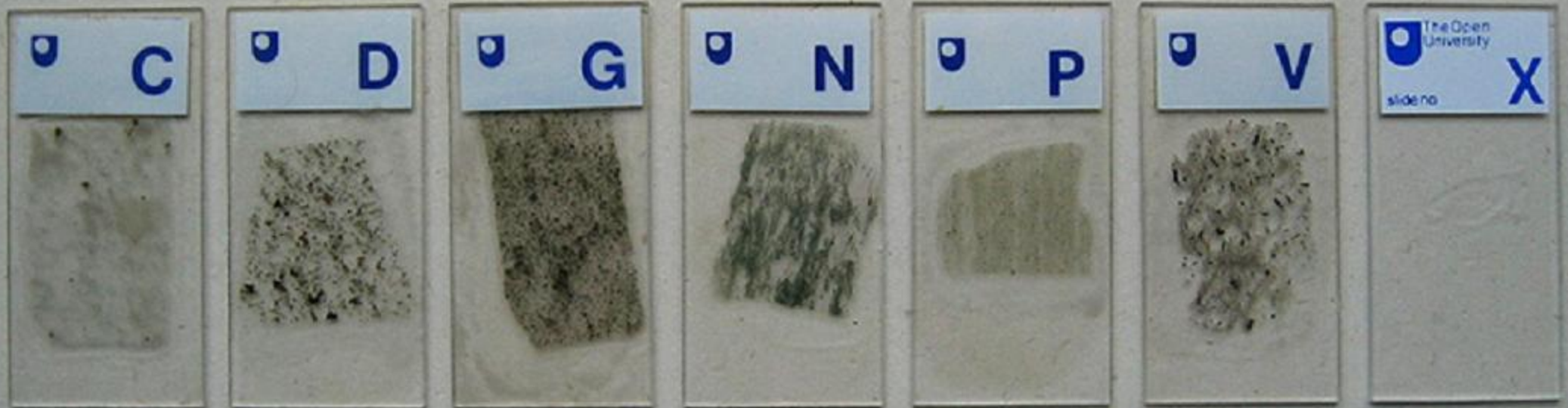
polished surface



Resin block

Κρύσταλλοι ενός Ορυκτού αλλά και Πετρωμάτων μελετώνται σε λεπτές τομές.

Φέτες πετρώματος πάχους 0.03 mm είναι τοποθετημένες σε λεπτή επιφάνεια από ύελο (αντικειμενοφόρο πλάκα) με πλευρικές διαστάσεις συνήθως μεταξύ 10 έως 20 mm εύρος και 20 - 30 mm μήκος. Σταθεροποιούνται επάνω σε αυτή τη επιφάνεια με υλικό γνωστού δείκτη διάθλασης. Το πλέον σύνηθες συστατικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το βάλαμο του Καναδά με δείκτη διάθλασης 1,54. Καλύπτονται από τη καλυπτρίδα. Οι κόκκοι των ορυκτών εντός των λεπτών τομών έχουν λειανθεί σε ένα πάχος από 0.03 mm, πάχος στο οποίο τα περισσότερα ορυκτά επιτρέπουν στο φως να μεταδοθεί δια μέσου αυτών. Αυτή η λεπτή τομή είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό των διαφορετικών ορυκτών αλλά και των διαφορετικών τύπων των πετρωμάτων με βάση τις συναθροίσεις των ορυκτών.



Peridotite

Diorite

Dolerite

Amphibolite

Phyllite

Ignimbrite

Gypsum

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ - ΑΝΑΚΛΑΣΗ - ΔΙΑΘΛΑΣΗ - ΔΙΠΛΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

ΠΟΛΩΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

- ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ
- ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ
- ΠΟΛΩΤΗΣ, ΑΝΑΛΥΤΗΣ
- ΦΑΚΟΣ BERTRAND, ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ,
- ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ
- ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΤΕΣ

ΟΠΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ.

ΙΣΟΤΡΟΠΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ
(ΜΟΝΟ-ΘΛΑΣΤΙΚΑ)

ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ
(ΔΙΠΛΟ-ΘΛΑΣΤΙΚΑ)

ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

1. Μονάξονες κρύσταλλοι
2. Διάξονες κρύσταλλοι

ΟΡΘΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕ ΦΥΣΙΚΟ ΦΩΣ

1. Σχήμα τομής
2. Σχισμός
3. Ανάγλυφο (Άλως ή γραμμή του Becke
Προσδιορισμός του σχετικού δείκτη διάθλασης)

ΟΡΘΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕ ΜΟΝΟ ΤΟΝ ΠΟΛΩΤΗ

1. Πλειοχρωϊσμός

ΟΡΘΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΜΕΝΑ
Nicols (ΠΟΛΩΤΗΣ + ΑΝΑΛΥΤΗΣ)

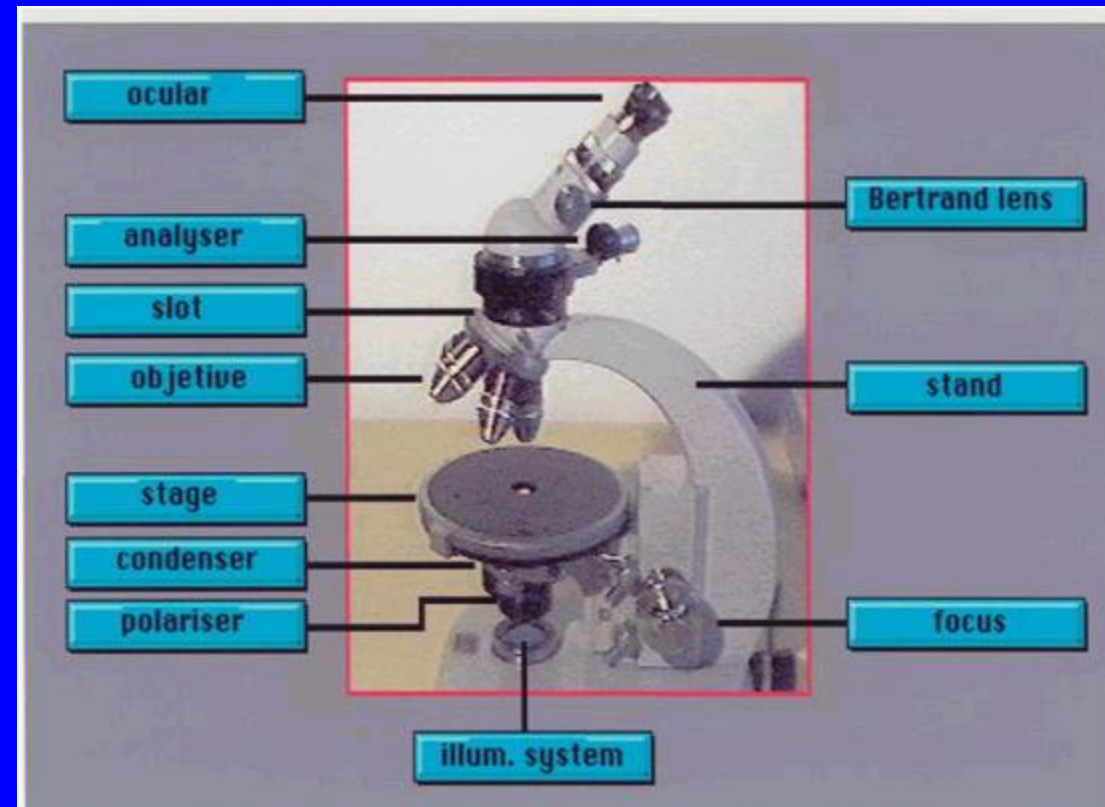
1. Κατάσβεση
2. Έγχρωμη Πόλωση
3. Διπλοθλαστικότητα
4. Αντισταθμιστές
5. Προσδιορισμός του Οπτικού Χαρακτήρα Μοναξόνων-Διαξόνων Κρυστάλλων
6. Επιμήκυνση
7. Μη ομαλά χρώματα πόλωσης

ΚΩΝΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ (ΠΟΛΩΤΗΣ + ΑΝΑΛΥΤΗΣ + BERTRAND)

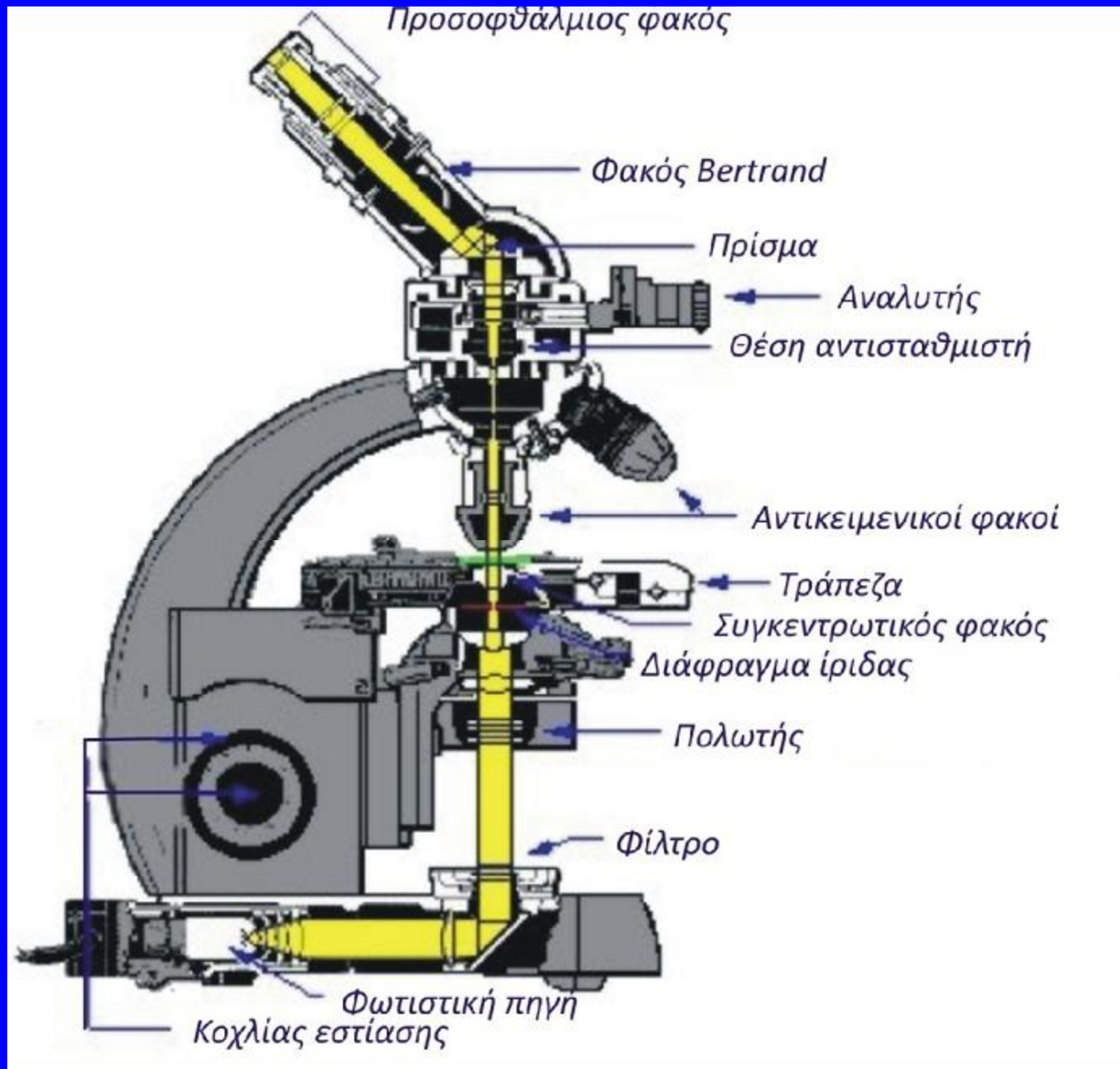
1. Κωνοσκοπικές εικόνες κρυστάλλων κυβικού
2. Κωνοσκοπικές εικόνες μοναξόνων κρυστάλλων
3. Κωνοσκοπικές εικόνες διαξόνων κρυστάλλων
4. Προσδιορισμός οπτικού χαρακτήρα (+, -)

ΠΟΛΩΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

- ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΗΓΗ
- ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ
- ΠΡΟΣΟΦΘΑΛΜΙΟΣ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ
- ΠΟΛΩΤΗΣ
- ΑΝΑΛΥΤΗΣ
- ΣΥΓΚΛΙΝΟΝ ΦΑΚΟΣ
- BERTRAND ΦΑΚΟΣ - ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΤΕΣ

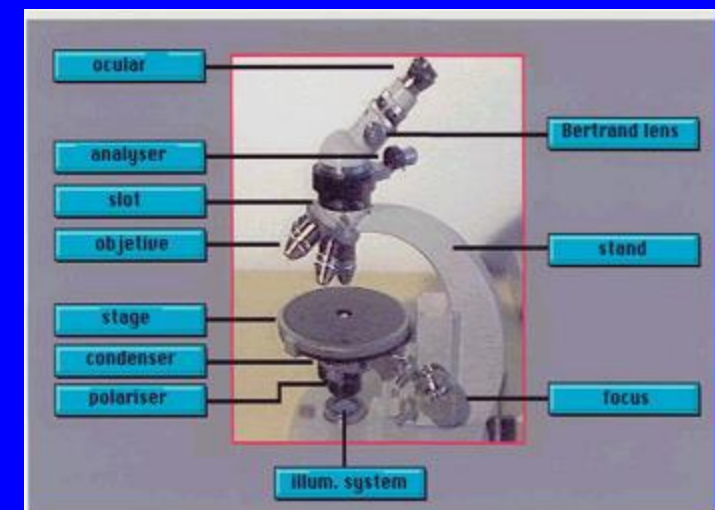


ΠΟΛΩΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



Τράπεζα μικροσκοπίου

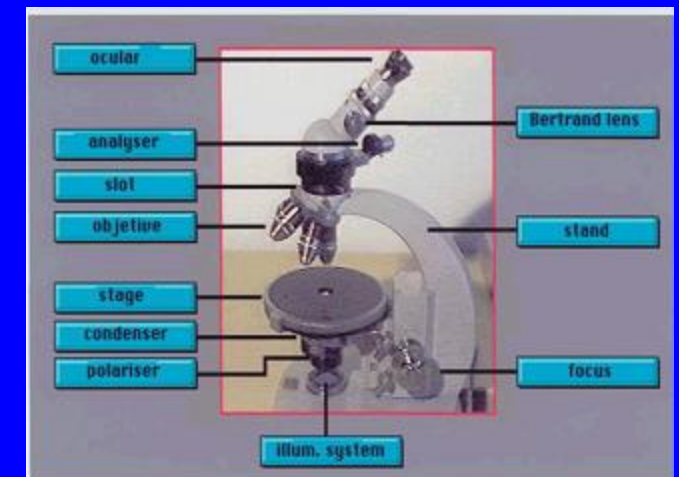
Η στρεφόμενη τράπεζα ή απλώς τράπεζα του πολωτικού μικροσκοπίου είναι κυκλική και τοποθετημένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να περιστρέφεται περί κατακόρυφο άξονα. Στην εξωτερική της πλευρά είναι βαθμολογημένη σε μοίρες και στο πλάι υπάρχει ένας βερνιέρος για την ακριβή μέτρηση διαφόρων γωνιών. Η λεπτή τομή του πετρώματος τοποθετείται στο κέντρο της τράπεζας όπου υπάρχει μία οπή για να επιτρέπει τη διέλευση του φωτός.



Το προσοφθάλμιο σύνολο μεγεθύνει και βελτιώνει την καθαρότητα της εικόνας του ορυκτού που παρέχεται από το αντικειμενικό σύστημα. Ο προσοφθάλμιος φακός περιέχει το σταυρόνημα που αποτελείται από δύο κάθετα νήματα και εστιάζεται με την περιστροφή του ανώτερου τμήματος του προσοφθάλμιου.

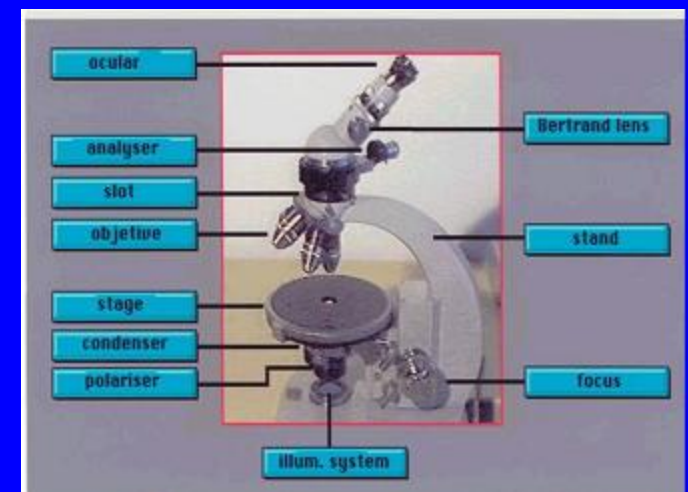
Το αντικειμενικό σύνολο παρέχει ένα οξύ καθαρό σχήμα του ορυκτού. Χαρακτηρίζεται από τους αντικειμενικούς φακούς που είναι μεγεθυντικοί φακοί προσαρμοσμένοι σε ένα περιστρεφόμενο σύστημα. Τα περισσότερα πετρογραφικά μικροσκόπια περιλαμβάνουν αντικειμενικούς που διαφέρουν στην ενέργεια του φωτός που συγκεντρώνουν μεταξύ της μικρότερης (μεγέθυνση 10 φορές), μέσης (25 φορές) και υψηλής (50 φορές). Αν και κάθε πολωτικό μικροσκόπιο έχει μόνο ένα προσοφθάλμιο (ή ένα ζεύγος προσοφθαλμίων) έρχονται σε ένα εύρος διαφορετικών μεγεθύνσεων (5,7 και 10 φορές).

Μεγέθυνση ενός ορυκτού πραγματοποιείται με το συνδυασμό των δύο συνόλων φακών του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου. Η ολική μεγέθυνση προσδιορίζεται με πολλαπλασιασμό της μεγέθυνσης του αντικειμενικού επί τον προσοφθάλμιο.



Ένα διάφραγμα (Διάφραγμα ίριδας), τοποθετημένο κάτω από τη τράπεζα του μικροσκοπίου, μπορεί να ρυθμιστεί για να ελέγξει την ένταση του φωτός που εισέρχεται στο ορυκτό.

Κλείνοντας το διάφραγμα μειώνεται η διάμετρος της φωτεινής δέσμης και τα όρια των ορυκτών διαγράφονται εντονότερα. Η δέσμη αποτελείται από σχεδόν παράλληλες φωτεινές ακτίνες και η παρατήρηση που γίνεται με τέτοιο φωτισμό ονομάζεται ορθοσκοπική παρατήρηση. Κατά την ορθοσκοπική παρατήρηση το διάφραγμα πρέπει να είναι ελαφρώς κλειστό, ενώ αντίθετα κατά την κωνοσκοπική παρατήρηση πρέπει να είναι τελείως ανοικτό.

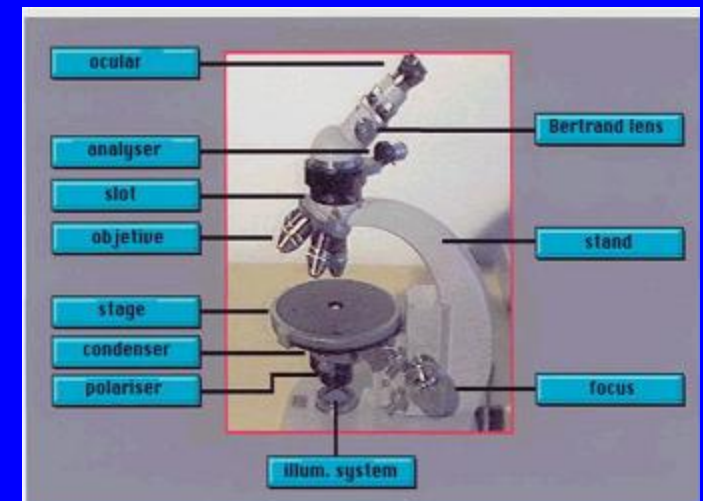


Ένας συγκεντρωτικός φακός τοποθετημένος κάτω από τη τράπεζα του μικροσκοπίου και μπορεί να δώσει σύγκλιση του φωτός για παρατήρηση των κωνοσκοπικών εικόνων των ορυκτών.

Ο συγκεντρωτικός φακός είναι τοποθετημένος πάνω από το διάφραγμα και περιστρέφεται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα έτσι ώστε να παρεμβάλλεται κατά βούληση στην πορεία του φωτός.

Δημιουργεί μία ισχυρά συγκλίνουσα δέσμη φωτός και χρησιμοποιείται για την κωνοσκοπική παρατήρηση, κατά την οποία σχηματίζονται κωνοσκοπικές εικόνες που εξετάζονται με το μεγάλης μεγέθυνσης αντικειμενικό φακό και το φακό Bertrand.

Ο πολωτής (βλέπε παρακάτω), το διάφραγμα και ο συγκεντρωτικός φακός αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα τοποθετημένο κάτω από την τράπεζα του μικροσκοπίου.

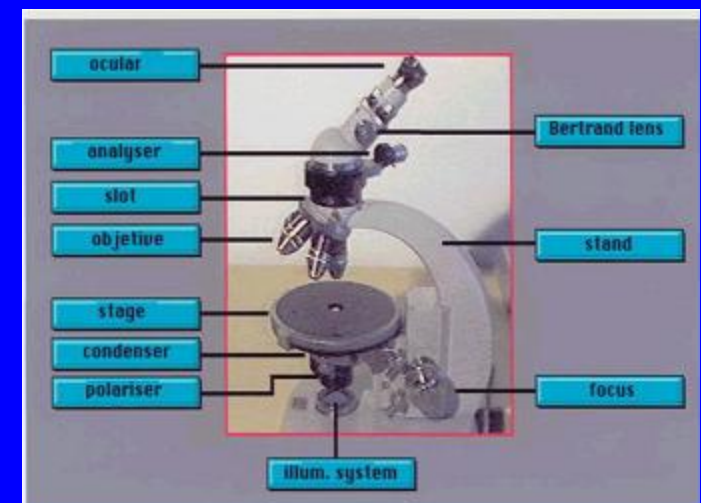


ΠΟΛΩΤΗΣ - ΑΝΑΛΥΤΗΣ

Το πολωτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί δύο πολωτές, τον κατώτερο πολωτή και τον ανώτερο πολωτή. Πρόκειται για πολωτικά φίλτρα που μετατρέπουν το φυσικό φως σε ευθύγραμμο πολωμένο.

Το κατώτερο πολαροειδές ή πρίσμα Nicol (πολωτής) είναι τοποθετημένο κάτω από τη τράπεζα όπου και ο συγκεντρωτικός φακός και εκπέμπει φως κατά το επίπεδο $A-\Delta$ του μικροσκοπίου ή και το αντίθετο (διεύθυνση ταλάντωσης $A-\Delta$).

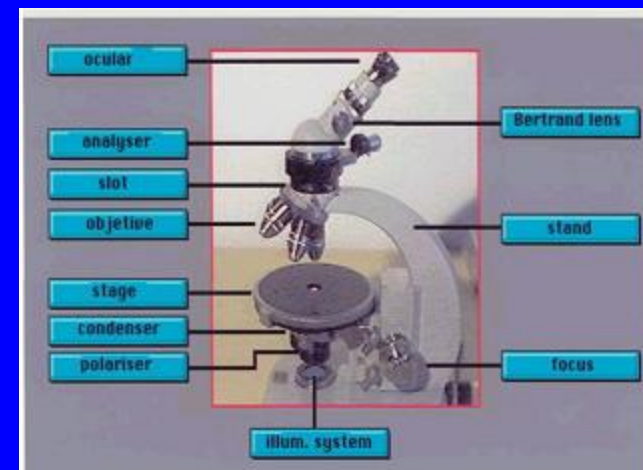
Ο ανώτερος πολαροειδές ή πρίσμα Nicol (αναλυτής) προσαρμόζεται στον ανώτερο σωλήνα του μικροσκοπίου. Είναι επίσης ένα πρίσμα προσανατολισμένο έτσι που αυτό μόνο εκπέμπει φως κατά το επίπεδο $B-N$ ή και το αντίθετο (διεύθυνση ταλάντωσης $B-N$).



Το κατώτερο πολαροειδές (ή πρίσμα Nicol) παραμένει στη θέση του πάντα, ενώ ο αναλυτής (ανώτερο πολαροειδές) μπορεί να μετακινηθεί εκτός της οπτικής πορείας.

Διασταυρωμένα Nicols (Nicols X): Όταν ο αναλυτής παρεμβάλλεται στην πορεία του φωτός, τότε ο πολωτής και ο αναλυτής είναι διασταυρωμένοι και η παρατήρηση γίνεται με πολωτή και αναλυτή ή με διασταυρωμένα Nicols. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει τίποτε στην τράπεζα του μικροσκοπίου το πεδίο παρατήρησης φαίνεται σκοτεινό, διότι το πολωμένο φως που φθάνει στον αναλυτή έχει διεύθυνση ταλάντωσης κάθετη και επομένως δεν περνά.

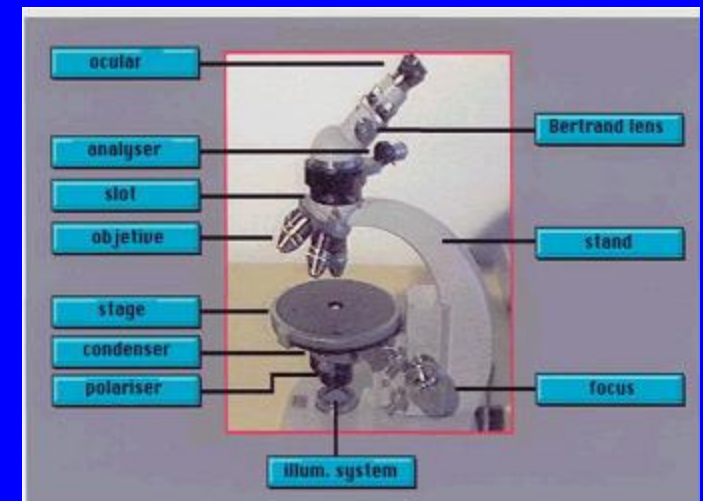
Παράλληλα Nicols (Nicols //): Όταν ο αναλυτής απομακρυνθεί από την πορεία του φωτός, τότε το πεδίο είναι φωτεινό. Ο πολωτής και ο αναλυτής είναι παράλληλοι και η παρατήρηση γίνεται μόνο με πολωτή ή με παράλληλα Nicols.



Ο Φακός Bertrand είναι ένας μικρός φακός ακριβώς πάνω από τον αναλυτή και παρεμβάλλεται στην πορεία του φωτός κατά βούληση. Χρησιμεύει για την παρατήρηση των κωνοσκοπικών εικόνων.

Ένα βοηθητικό πλακίδιο (αντισταθμιστής) θα εισαχθεί στο μικροσκόπιο για να προσδιοριστούν τα οπτικά σημεία (+, -) των ορυκτών.

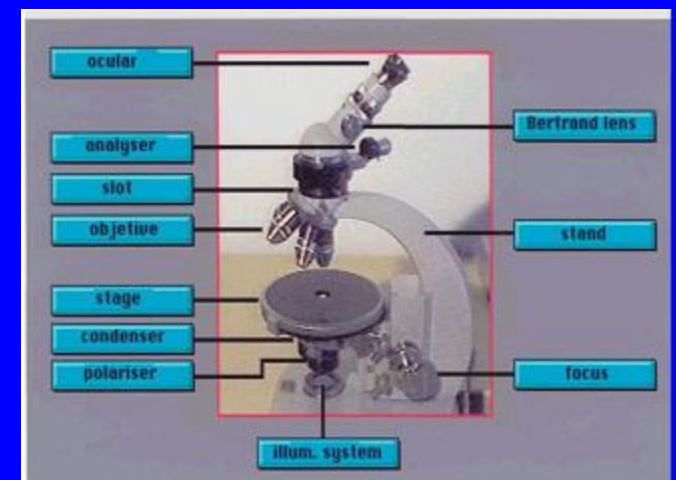
Ο αντισταθμιστής τοποθετείται σε μία σχισμή υπό γωνία 45ο ως προς το σταυρόνημα ακριβώς πάνω από το περιστρεφόμενο σύστημα των αντικειμενικών φακών και κάτω από τον αναλυτή.



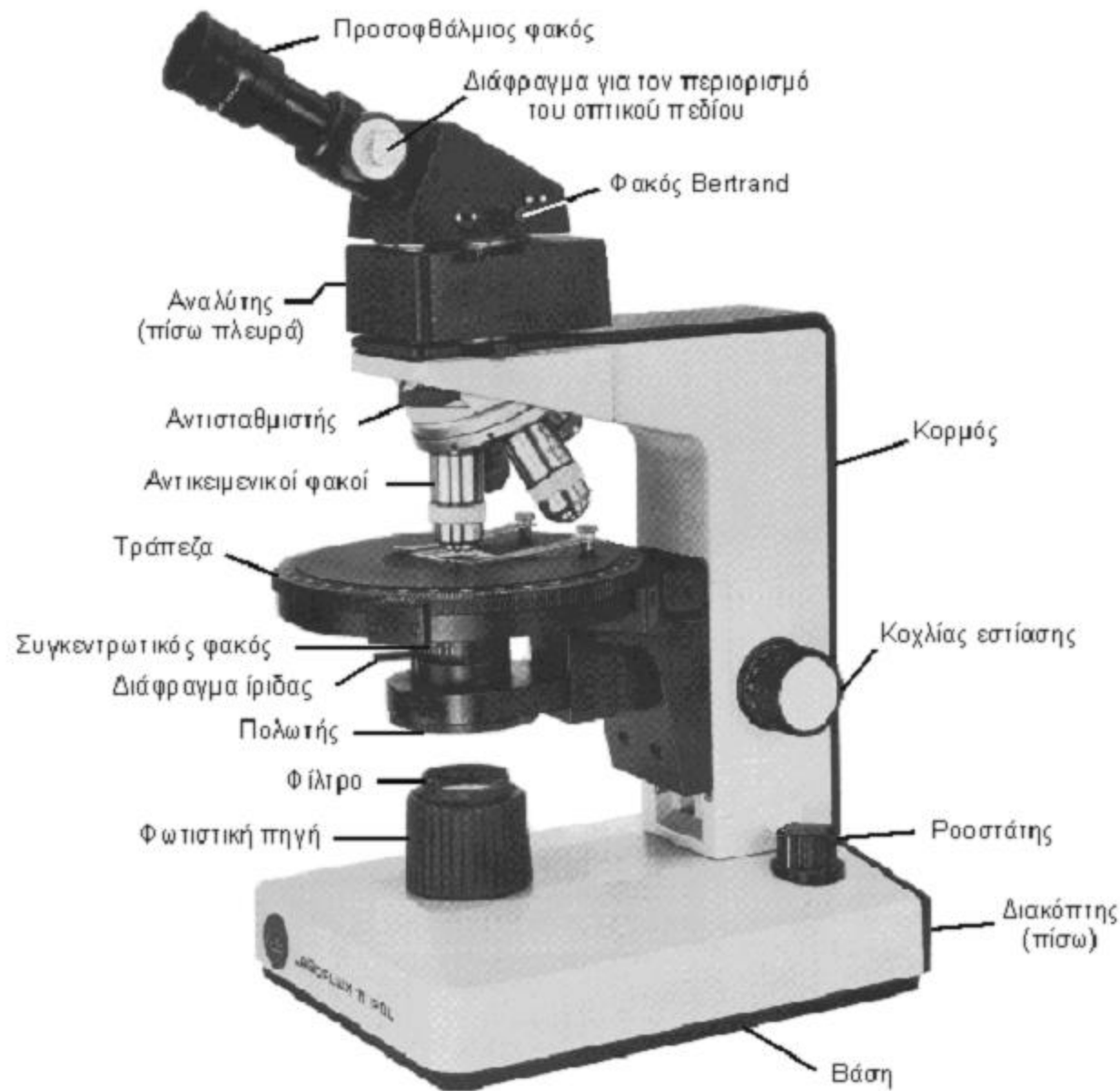
Φίλτρο : Συνήθως ένα μπλε φίλτρο τοποθετείται πάνω από τη φωτιστική πηγή, έτσι ώστε να δίνει μια μπλε ουδέτερη χροιά στο κίτρινο χρώμα του φωτός.

Φωτιστική πηγή : Η φωτιστική πηγή βρίσκεται στη βάση του μικροσκοπίου και αποτελείται από μία λάμπα αλογόνου λευκού φωτός και ένα σύστημα φακών και κατόπτρων, που κατευθύνουν το φως προς τα επάνω. Η ένταση του φωτός ρυθμίζεται με ένα ροοστάτη.

Μηχανισμός εστίασης: Η εστίαση πραγματοποιείται ανεβάζοντας ή κατεβάζοντας την τράπεζα με τη βοήθεια ενός ή δύο κοχλιών που βρίσκονται στον κορμό του μικροσκοπίου. Υπάρχει δυνατότητα για δύο εστιάσεις, μία κατά προσέγγιση με μεγάλες μετακινήσεις και μία λεπτομερή με πάρα πολύ μικρές μετακινήσεις.



Σχ. 1. Πολωτικό μικροσκόπιο



Σχ. 2. Σύστημα κάτω από την τράπεζα



Σχ. 3. Σύστημα αντικειμενικών φακών



Παρατήρηση λεπτής τομής με το πολωτικό μικροσκόπιο

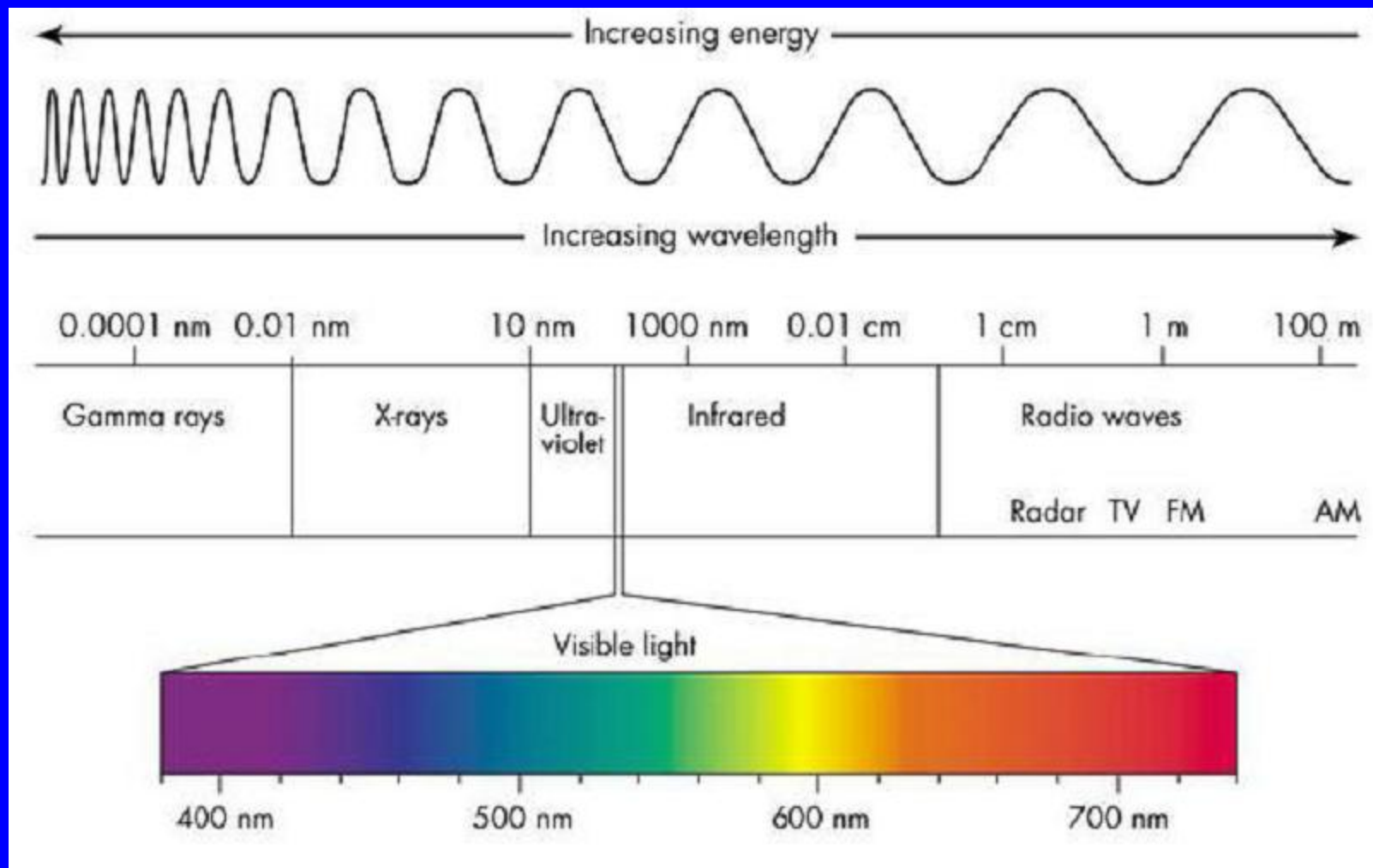
- Μόνο με τον πολωτή εστιάζουμε τον προσοφθάλμιο φακό έτσι ώστε να βλέπουμε καθαρά το σταυρόνημα.
- Ελέγχουμε αν ο πολωτής και ο αναλυτής βρίσκονται στη σωστή θέση.
- Τοποθετούμε τη λεπτή τομή στην τράπεζα του μικροσκοπίου με την καλυπτρίδα προς τα πάνω.
- Χρησιμοποιούμε καταρχήν το μικρό φακό, ώστε το πεδίο παρατήρησης να είναι το μέγιστο.
- Μετακινώντας την τράπεζα πάνω-κάτω με τον κοχλία εστιάζουμε στο παρασκεύασμα ώστε να βλέπουμε καθαρά.
- Με μόνο τον πολωτή παρατηρούμε την τομή στο σύνολό της μετακινώντας την, έτσι ώστε να σχηματίσουμε μια γενική εικόνα για το τι πρόκειται να μελετήσουμε.
- Προσπαθούμε να ξεχωρίσουμε πόσα διαφορετικά ορυκτά έχουμε με βάση κυρίως το χρώμα, τον πλεοχρωισμό και το ανάγλυφο.
- Δημιουργούμε ένα κατάλογο με τις ιδιότητες των διαφόρων ορυκτών της λεπτής τομής.
- Τις ιδιότητες του κάθε εξεταζόμενου ορυκτού που έχουμε καταγράψει στον κατάλογο, τις συγκρίνουμε με τις ιδιότητες των γνωστών ορυκτών.
- Το σχήμα αλλά και η οπτική συμπεριφορά μεταβάλλεται ανάλογα με τη διεύθυνση ως προς την οποία παρατηρείται το ορυκτό.



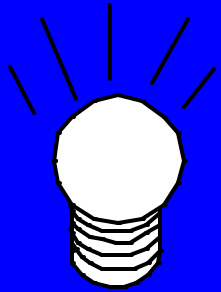
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΝΑΓΛΥΦΟ	ΣΧΙΣΜΟΣ	ΠΛΕ(ΕΙ)Ο-ΧΡΩΙΣΜΟΣ	ΧΡΩΜΑΤΑ ΠΟΛΩΣΕΩΣ	ΔΙΑΥΜΙΑ	ΟΠΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ
<u>ΟΡΥΚΤΑ ΠΥΡΙΤΟΥ</u> SiO ₂	ΧΑΛΑΖΙΑΣ	ασθενής 1.544 -1.553	ουδείς	άχρωμο	I	σπανίως	M [+] Τριγωνικό
<u>ΑΛΚΑΛΙΚΟΙ ΑΙΤΡΙΟΙ</u> K Al Si ₃ O ₈ .	ΟΡΘΟΚΛΑΣΤΟ	ασθενής 1.518-1.539	τέλειος (001)	άχρωμο	I	ναι απλή (όχι σύνθετη διδυμ.)	Δ [-] 2Vα=34°-103° Μονοκλινές
<u>ΑΣΙΣΤΑ ΑΛΚΑΛΙΚΟΙ ΑΙΤΡΙΟΙ</u> (ΠΑΛΛΟΚΛΑΣΤΑ Na Al Si ₃ O ₈ .	ΑΛΒΙΤΗΣ	ασθενής 1.528 - 1.534	τέλειος (110)	άχρωμο	I	ναι (πολυδιδυμία συνήθως)	Δ [+, -] 2V=45°-77° Τρικλινές
" " Ca Al ₂ Si ₂ O ₈ .	ΑΝΟΡΘΙΤΗΣ	ασθενής μέτριο 1.575 -1.598	τέλειος (001)	άχρωμο	I	ναι (πολυδιδυμία συνήθως)	Δ [-] 2V=78° Τρικλινές
<u>ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΣ</u> KAl ₂ (AlSi ₃)O ₁₀ (OH) ₂ .	ΜΟΣΧΟΒΙΤΗΣ	ασθενής μέτριο 1.552-1.618	τέλειος (001)	άχρωμο	III	σπανίως	Δ [-] 2Vα=28°-47° Μονοκλινές
" " K(Mg,Fe)3[] ⁻⁻⁻	ΒΙΟΤΙΤΗΣ	ασθενής μέτριο 1.535-1.696	τέλειος (001)	ισχυρός πράσινος καστανός	III	σπανίως	M, Δ [-] 2V α(0°-25°) Μονοκλινές
<u>ΣΙΡΑ ΟΛΙΒΙΝΗ</u> Φοροπερίτης (Mg) φασαλίτης (Fe) (Mg,Fe) ₂ . SiO ₄	ΟΛΙΒΙΝΗΣ	έντονο 1.635-1.879	ατελής ενδιάμεσος (θραυστός)	αχρωμο (Φα) αν. κίτρινο (Φα)	II	σπανίως	Δ [+,-] 2Vg=82°ή134° Ρομβικό
<u>ΑΜΦΙΒΟΛΙ</u> Na Ca ₂ (Mg,Fe) ₄ Al Si ₆ Al ₂ O ₂₂ (OH, F) ₂	ΚΕΡΟΣΤΙΑΒΗ	έντονο 1.615-1.730	διπλός καλός	ισχυρός πράσινο κιτρ-πράσινο μπλέπράσινο καστανό	II	ναι	Δ [+,-] 2Vα=90°-44° Μονοκλινές
<u>ΠΥΡΟΞΕΝΟΙ</u> Ca(Mg,Fe) Si ₂ O ₆	ΑΥΓΙΤΗΣ	έντονο 1.671 - 1.744	διπλός καλός	ασθενής	II	ναι	Δ [+] 2Vg=25°-61° Μονοκλινές
" " (Mg, Fe) SiO ₃	ΥΠΕΡΣΘΕΝΗΣ	έντονο 1.650-1.788	διπλός καλός	ασθενής	αρκετά χαμηλότερα	σπανίως	Δ [-] 2Vα=50°-125° Ρομβικό

ΦΥΣΗ ΦΩΤΟΣ

Το φως μία μορφή ενέργειας. Το ορατό φως είναι ένα μικρό τμήμα του συνεχούς φάσματος ακτινοβολίας μεταξύ κοσμικών ακτίνων και ραδιοκυμάτων.

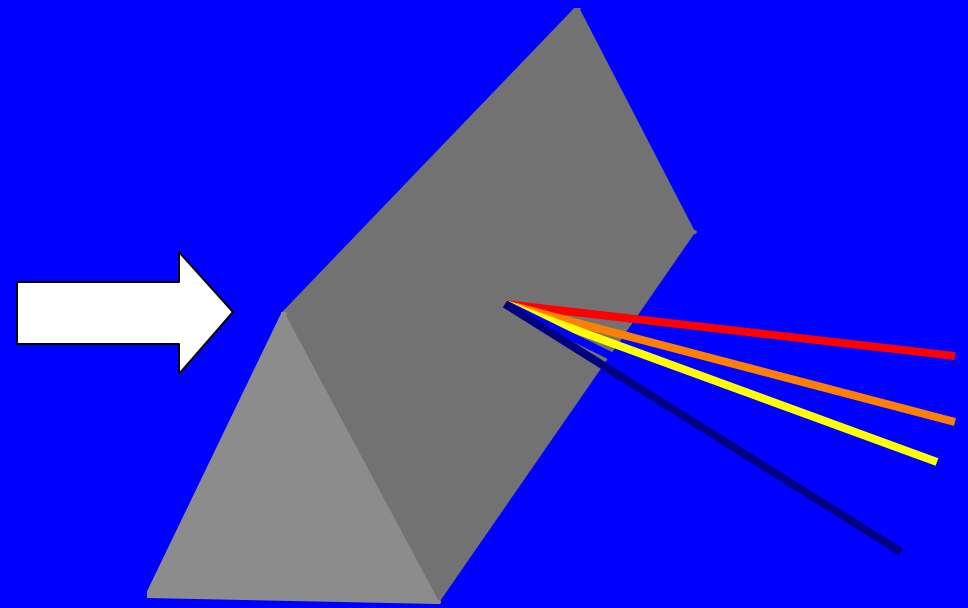


Η φύση του φωτός



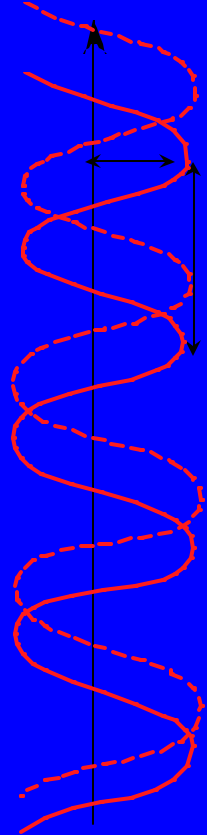
Το φως που δίνει η φωτιστική πηγή είναι λευκό φως, δηλαδή αποτελείται από πολλά κύματα με διαφορετικά μήκη κύματος. Κάθε μήκος κύματος αντιστοιχεί σε διαφορετικό χρώμα.

Αυτό αποδεικνύεται με τη χρήση ενός πρίσματος. Όταν διέλθει το φως μέσα από το πρίσμα, αναλύεται σε ένα φάσμα με τα βασικά μήκη κύματος/χρώματα από τα οποία αποτελείται.



Η φύση του φωτός

Μάτι

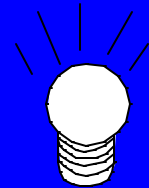


πλάτος, A

μήκος κύματος, λ

↑ Φωτεινά κύματα
ταξιδεύουν από τη
φωτεινή πηγή στα
μάτια μας

Φωτεινή πηγή



Το φως
ταξιδεύει με τη
μορφή κυμάτων
(ηλεκτρομαγνητικής
ακτινοβολίας)

ΦΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΟΣ

Φαινόμενα που οφείλονται στη διάδοση του φωτός
εντός των υλικών μέσων

Πόλωση, Ανάκλαση, Διάθλαση,

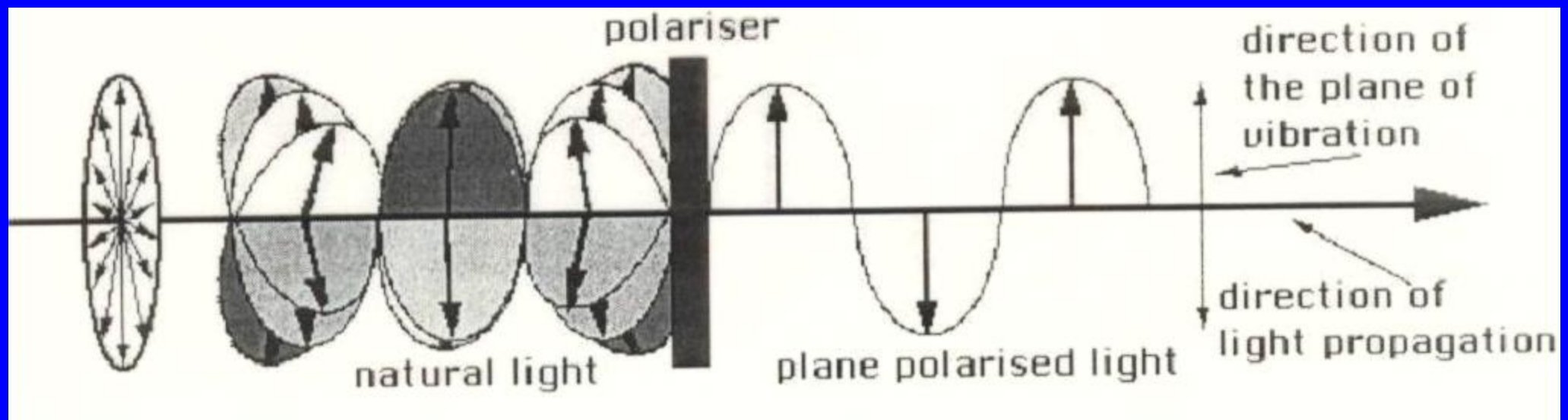
Διπλή διάθλαση, Συμβολή.....

ΠΟΛΩΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ (Polarization of Light)

Το φως κραδαίνεται σε άπειρο αριθμό διευθύνσεων - όλοι οι κραδασμοί είναι κάθετοι στη πορεία της ακτίνας διάδοσης

Το φως που εκπορεύεται από κάποια πηγή, τον ήλιο, ή λαμπτήρα, κραδαίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις σε ορθές γωνίες προς τη διεύθυνση της διαδόσεως και είναι μη πολωμένο.

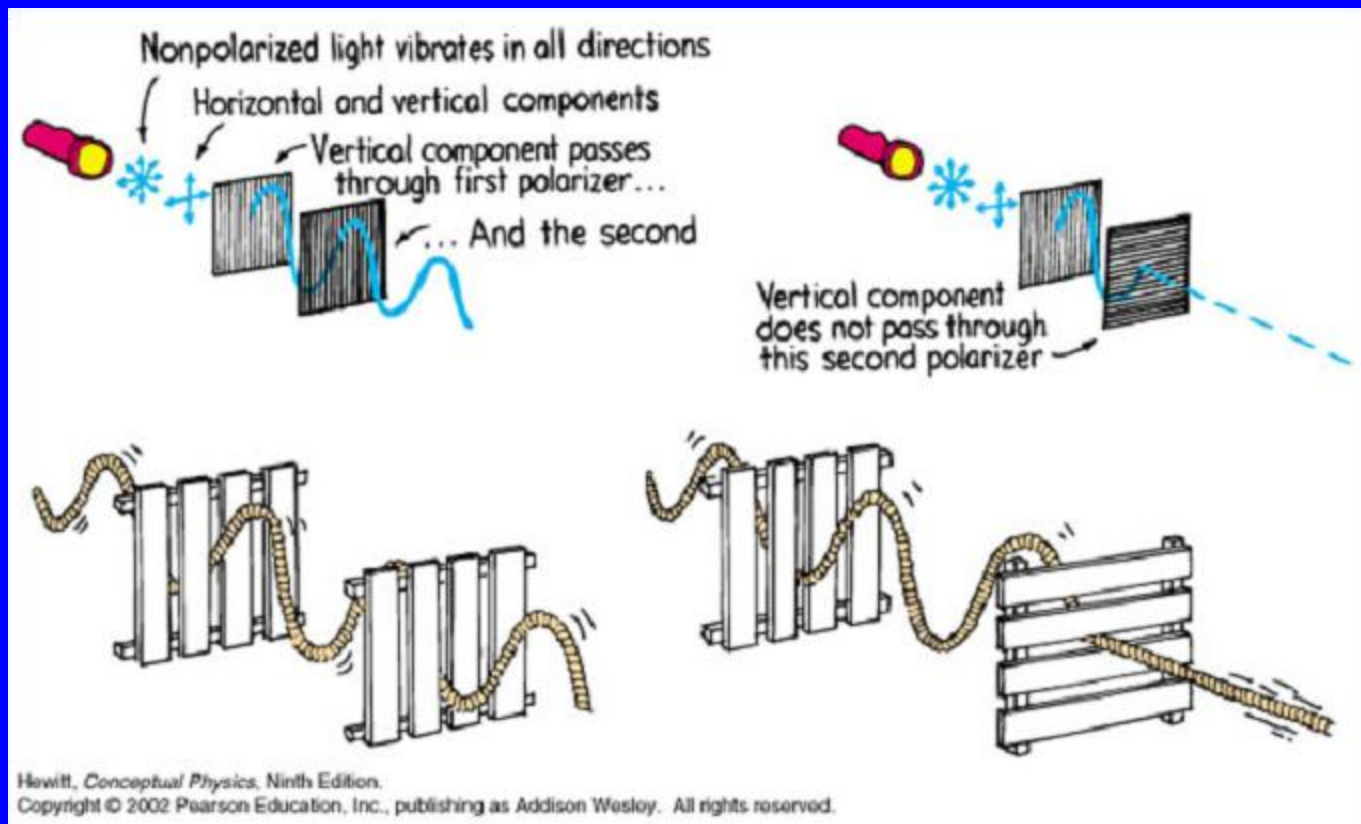
Στην οπτική ορυκτολογία χρειαζόμαστε να παράγουμε φως το οποίο να πάλλεται σε μία κατεύθυνση και χρειαζόμαστε να γνωρίζουμε τη κατεύθυνση που κραδαίνεται η ακτίνα φωτός.



ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Στο πολωμένο φως (γραμμικά πολωμένο) οι εγκάρσιες κραδάνσεις γίνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του και σε ένα μόνο επίπεδο.

Πολωμένο φως μπορούμε να πάρουμε με:
ανάκλαση, διάθλαση, διπλή διάθλαση ...



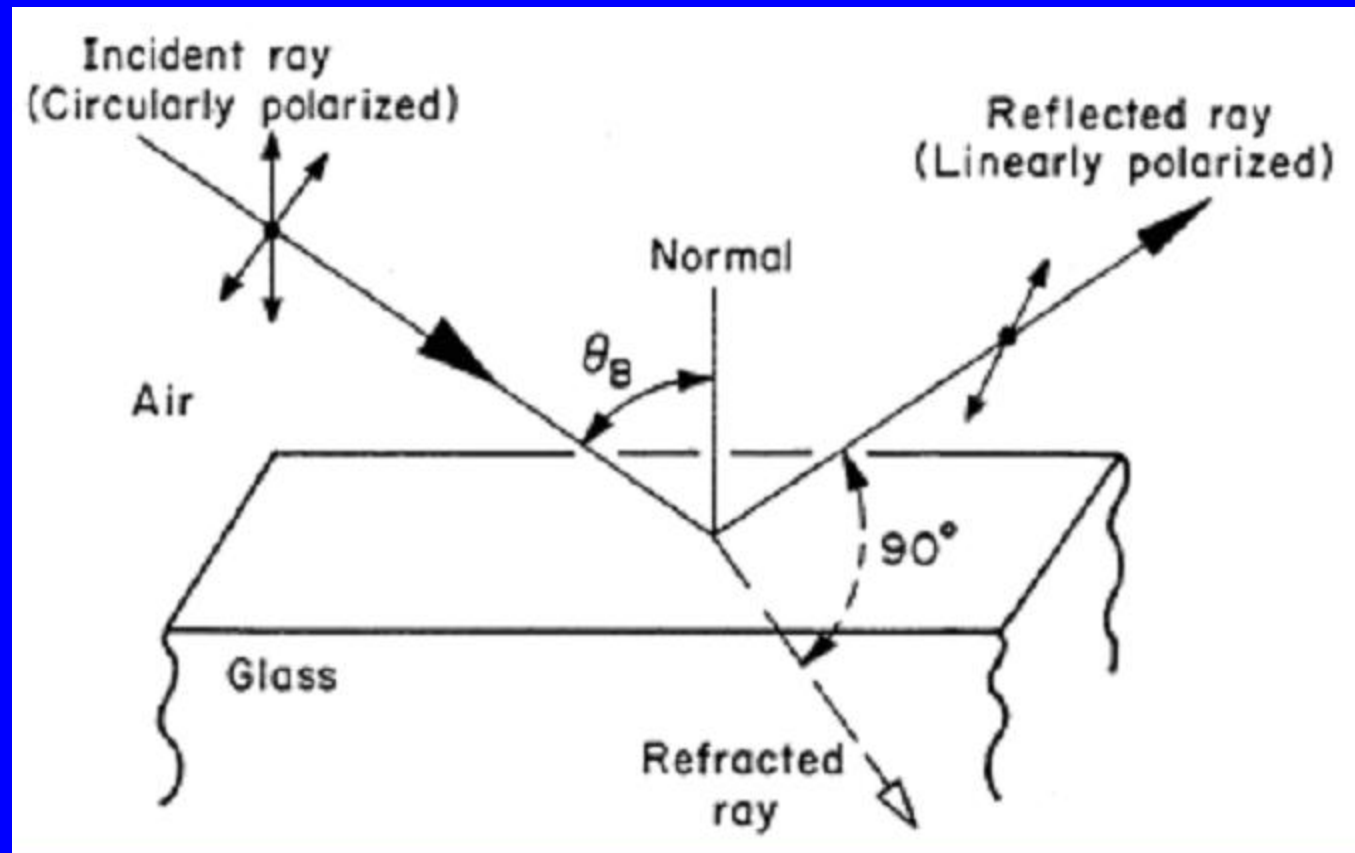
ΑΝΑΚΛΑΣΗ - ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Στην επιφάνεια μεταξύ των δύο υλικών, το φως δυνατόν να **ανακλάται** στην επιφάνεια ή να **διαθλάται** και να διεισδύει στο δεύτερο μέσο.

- **ανάκλαση:** αναπηδά (*reflection*)
- **διάθλαση:** διεισδύει στο άλλο υλικό (*refraction*)

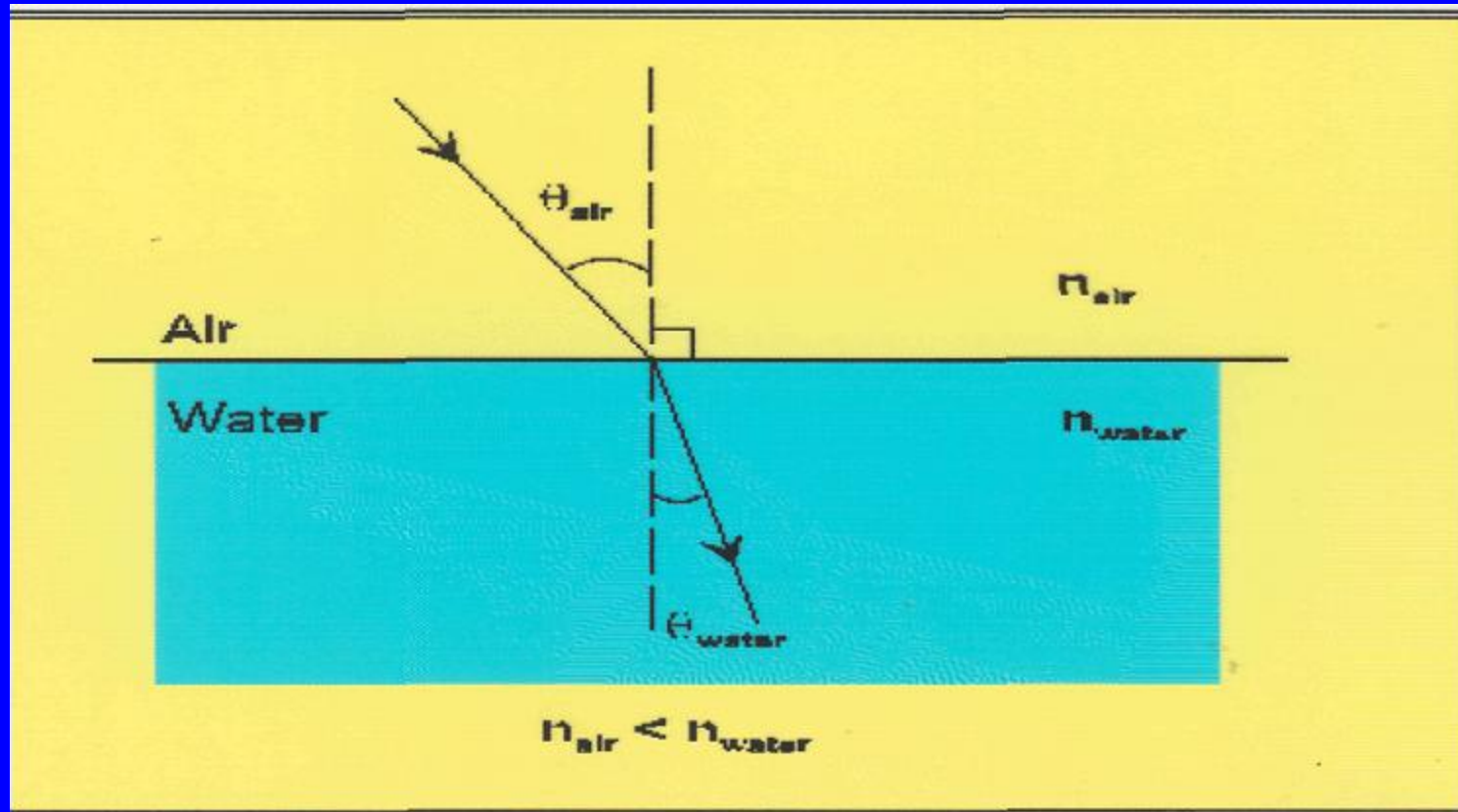
ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Το ανακλώμενο φως είναι πολωμένο με διεύθυνση κραδασμού παράλληλο προς την επιφάνεια ανάκλασης (κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από την ακτίνα προσπτώσεως και την ανακλώμενη ακτίνα).



ΔΙΑΘΛΑΣΗ

ΤΟ ΦΩΣ ΚΥΡΤΩΝΕΤΑΙ ΌΤΑΝ ΠΕΡΝΆ ΑΠΌ ΤΟ Ένα υΛικό ΣΤΟ
ΆΛΛΟ, ΚΑΤΆ ΜΙΑ ΓΩΝΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΉ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΆΘΕΤΟ.



Δείκτης Διάθλασης

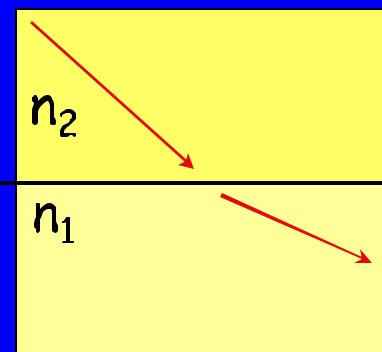
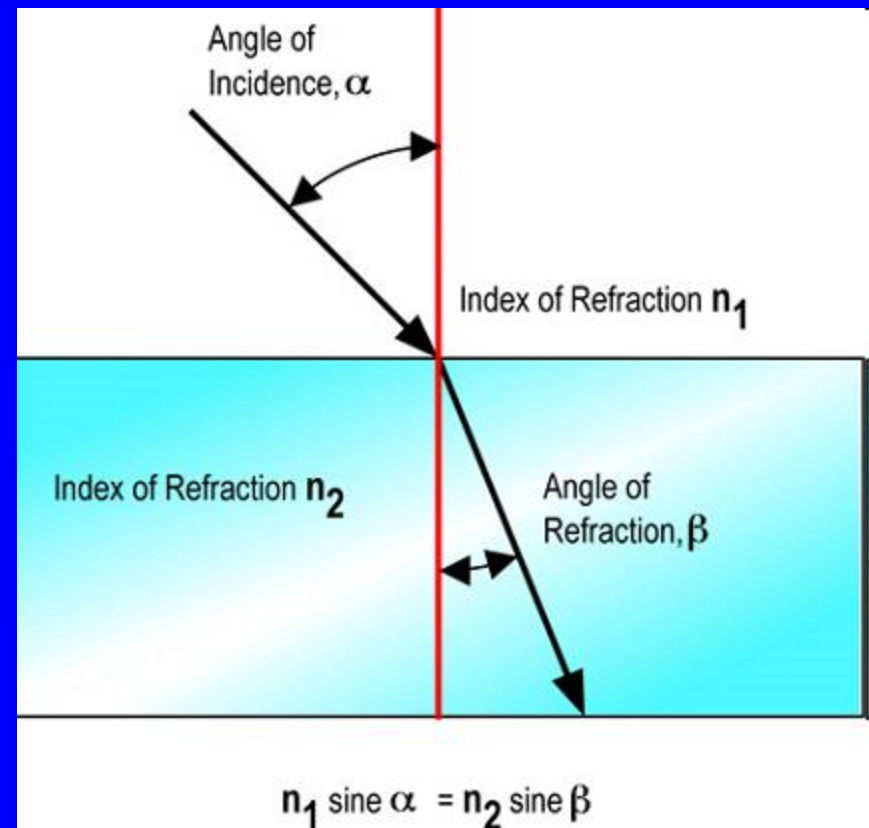
Ο Δείκτης Διάθλασης (n), είναι ένα μέτρο της κάμψης του φωτός μέσα σε ένα υλικό και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού, δηλ. τον προσανατολισμό των ατόμων του. Η διάθλαση του φωτός συνεπάγεται την αλλαγή της ταχύτητας διάδοσής του.

Ο Δείκτης Διάθλασης στο κενό $= 1.0$ και για όλα τα υλικά είναι $n > 1.0$. Τα περισσότερα υλικά έχουν τιμές n μεταξύ 1.4 και 2.0

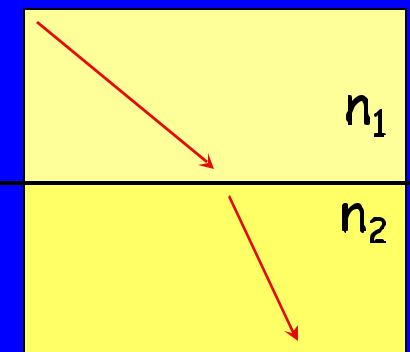
Ο υψηλός Δείκτης Διάθλασης υποδηλώνει χαμηλή ταχύτητα για το φως που ταξιδεύει δια μέσου του συγκεκριμένου μέσου. Μικρός δ.δ. \rightarrow μεγάλη ταχύτητα

Ισότροποι κρύσταλλοι (εκείνοι που ανήκουν στο κυβικό σύστημα) έχουν μόνο ένα δείκτη διάθλασης. Ανισότροποι κρύσταλλοι έχουν δύο ή τρεις δείκτες διάθλασης

$$n = V_{\text{κενό}} / V_{\text{υλικό}}$$



$$n_2 < n_1$$

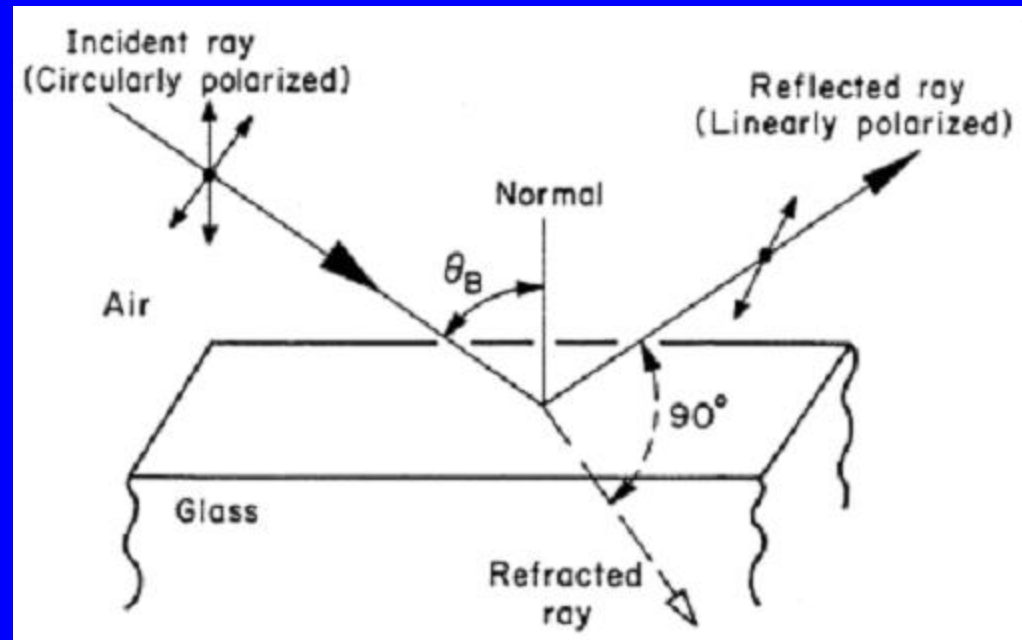


$$n_2 > n_1$$

Απλή Διάθλαση

Το φαινόμενο της Απλής Διάθλασης του φωτός παρουσιάζεται στα διάφορα άμορφα σώματα και από τα κρυσταλλικά σε όσα κρυσταλλώνονται στο κυβικό σύστημα.

Η ακτίνα που προέρχεται από τη διάθλαση είναι ευθύγραμμη πολωμένη. Το επίπεδο κραδάνσεως της πολωμένης ακτίνας είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από την ακτίνα προσπτώσεως και τη διαθλώμενη ακτίνα.

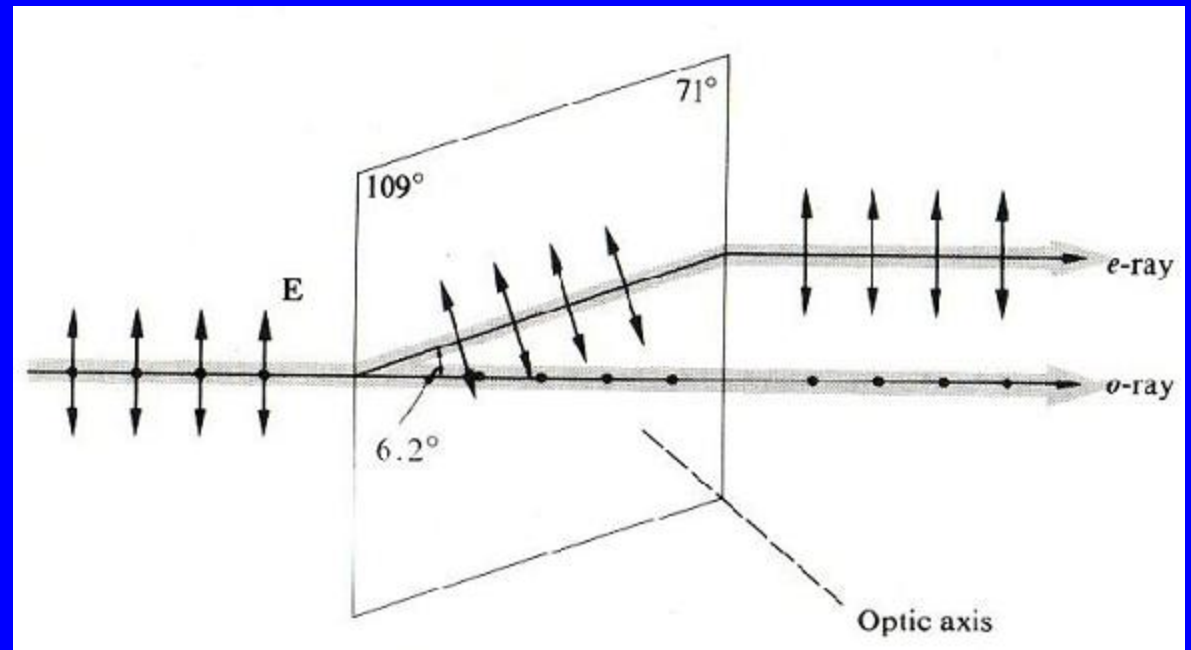
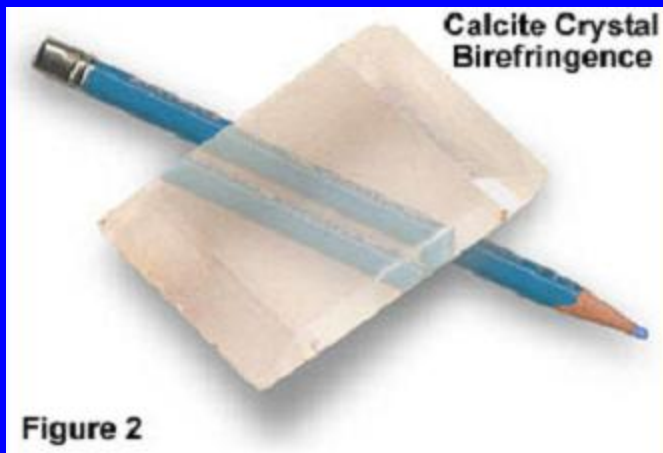


Διπλή Διάθλαση

Κατά τη πρόσπτωση ακτίνας φυσικού φωτός σε κρύσταλλο ασβεστίτη (CaCO_3) παρατηρούμε την ακτίνα να διαχωρίζεται σε δύο:

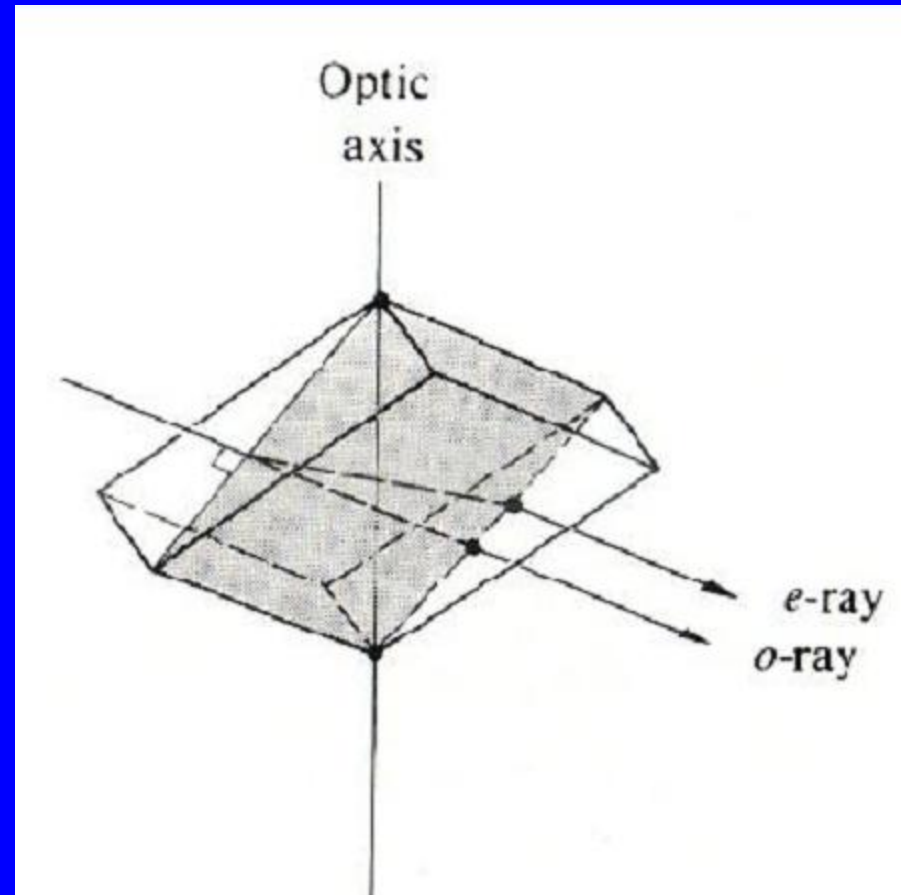
την τακτική και την έκτακτη. Το φαινόμενο ονομάζεται διπλή διάθλαση και τα υλικά διπλοθλαστικά.

Οι εξερχόμενες ακτίνες είναι γραμμικά πολωμένες, τα επίπεδα ταλαντώσεως αυτών είναι κάθετα, και διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες και άρα έχουν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης n_o και n_e .



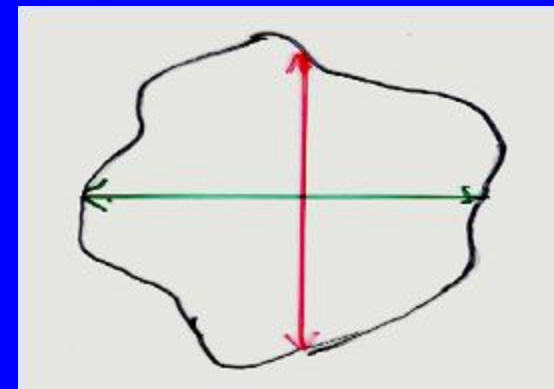
Οπτικός άξονας

Είναι η διεύθυνση εκείνη όπου η έκτακτη ακτίνα έχει ταχύτητα διάδοσης, ίση προς τη ταχύτητα διάδοσης της τακτικής (δηλ. δεν συμβαίνει διπλή διάθλαση).

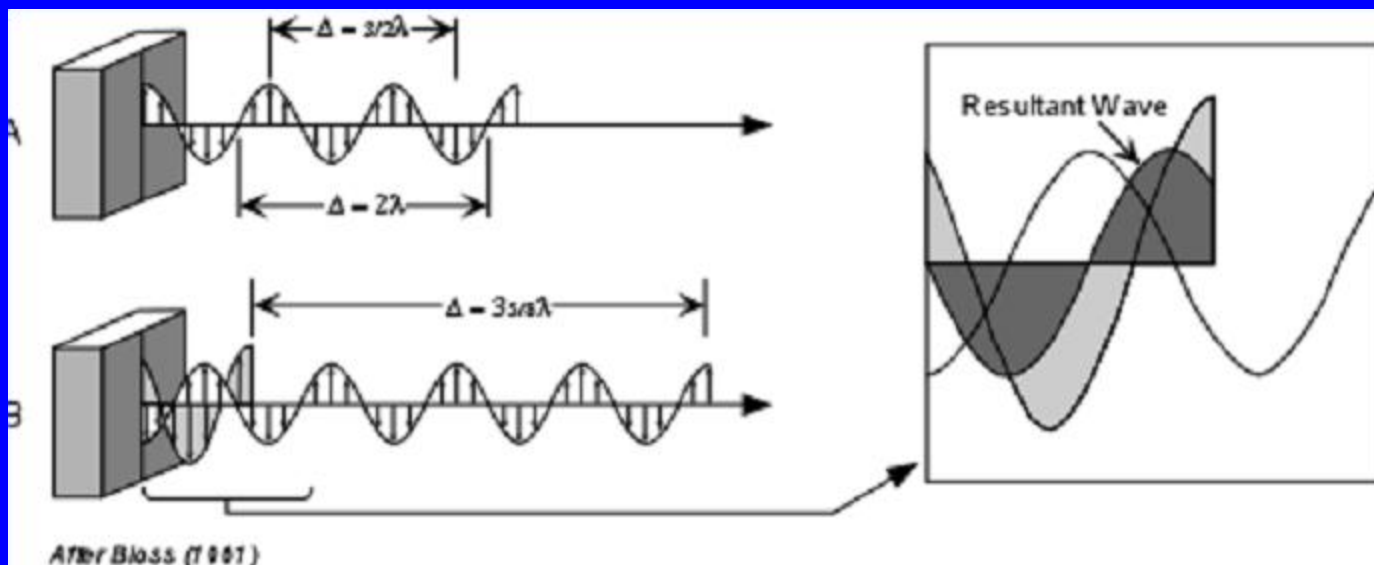
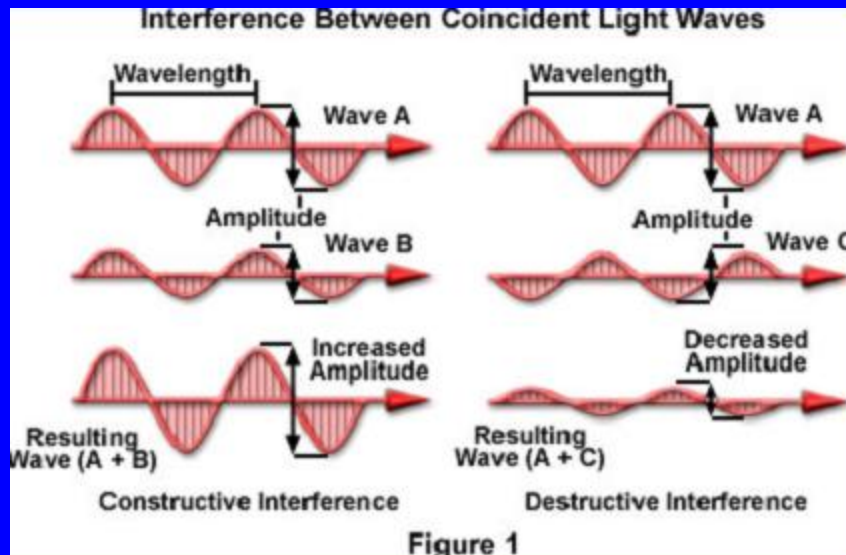


Άξονες ελαστικότητας της τομής του ορυκτού

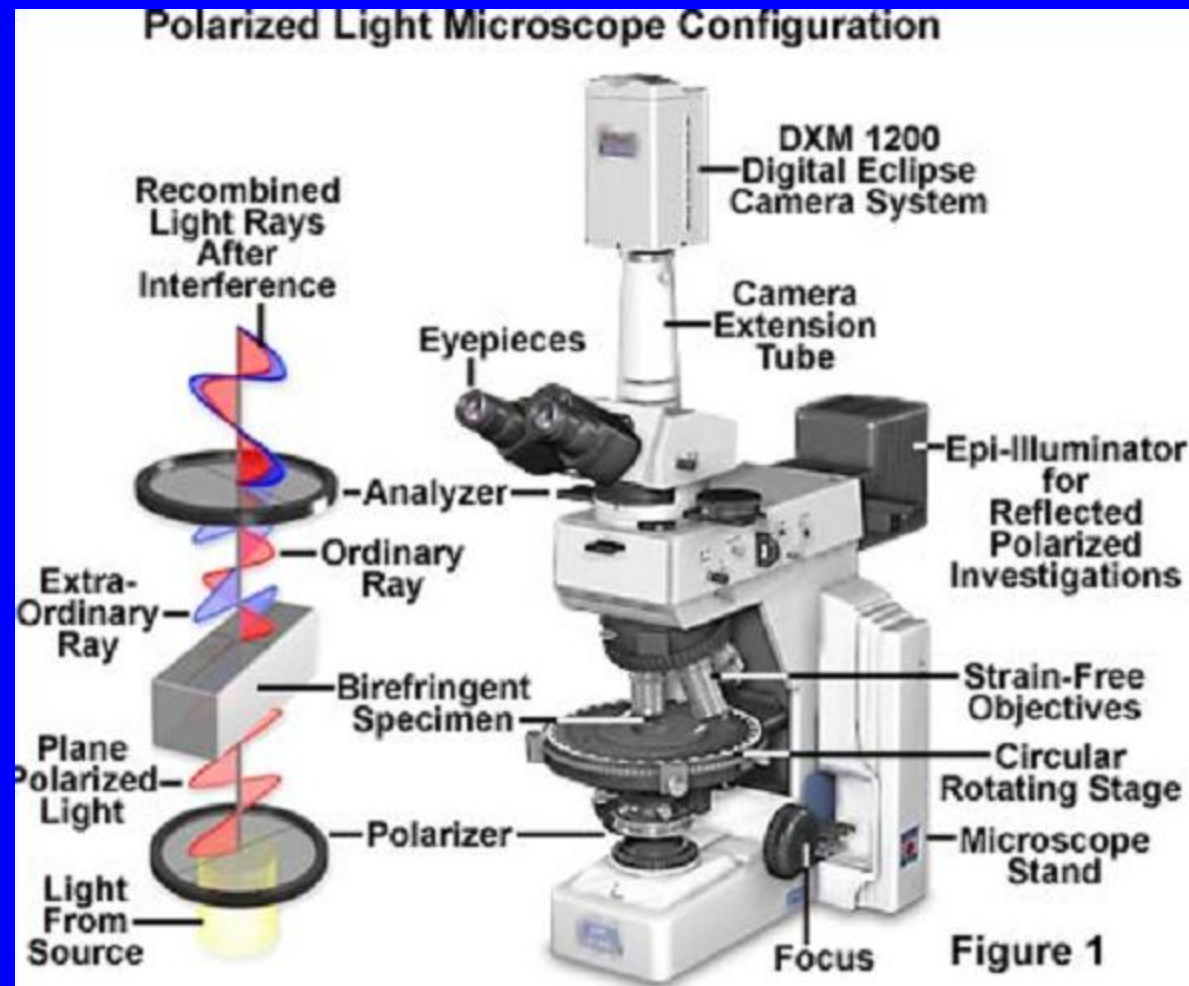
Οποιαδήποτε προσπίπτουσα ακτίνα μέσα σε ανισότροπο κρύσταλλο θα αναλυθεί σε δύο διαθλόμενες ακτίνες την τακτική και την έκτακτη ακτίνα. Και οι δύο είναι ευθύγραμμα πολωμένες και τα επίπεδα κραδάνσεως είναι κάθετα μεταξύ τους.



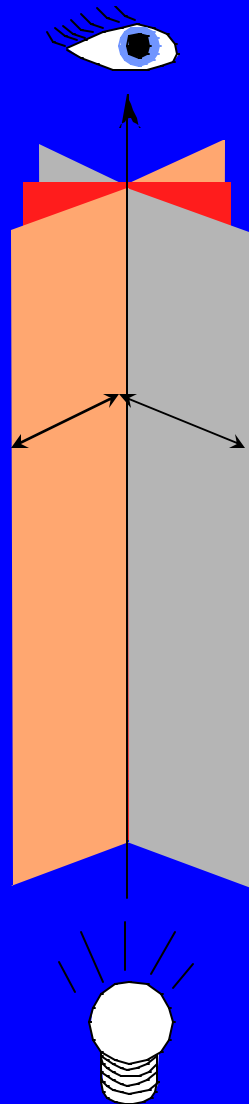
ΣΥΜΒΟΛΗ ΠΟΛΩΜΕΝΩΝ ΦΩΤΕΙΝΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ: Μόνο όταν πάλλονται στο ίδιο επίπεδο!!



Δύο ακτίνες φωτός τακτική και έκτακτη που εξέρχονται από διπλοθλαστικό κρύσταλλο, γραμμικά πολωμένες, με επίπεδα ταλάντωσης κάθετα μεταξύ τους, δεν παρουσιάζουν φαινόμενα συμβολής (απόσβεσης ή ενίσχυσης), έστω και εάν προέρχονται από την ίδια αρχική δέσμη. Μόνο εάν προσπέσουν σε αναλυτή οπότε διέρχονται μόνο εκείνες οι ακτίνες που είναι παράλληλες προς το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλυτή και πάλλονται στο ίδιο επίπεδο, συμβάλλουν.



Η διαδρομή του φωτός μέσα στο μικροσκόπιο

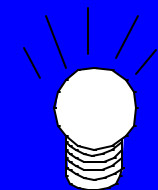
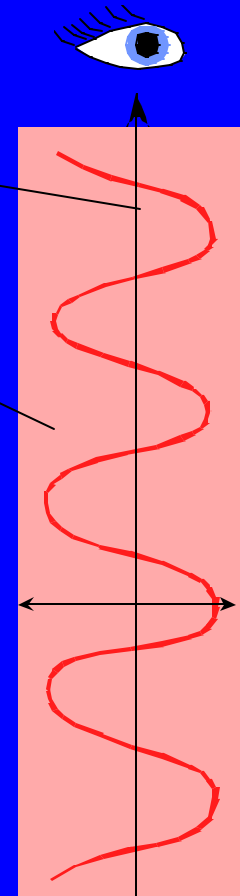


Το φως ταλαντώνεται σε όλα τα επίπεδα, τα οποία είναι κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης

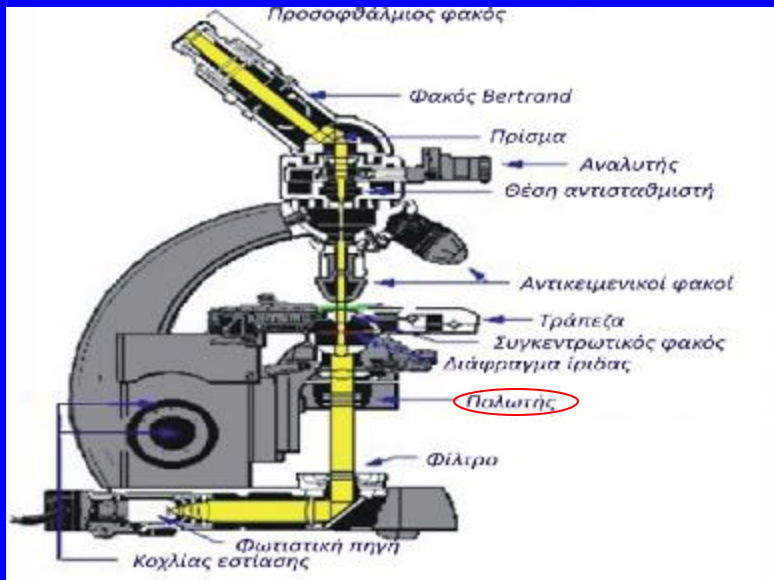
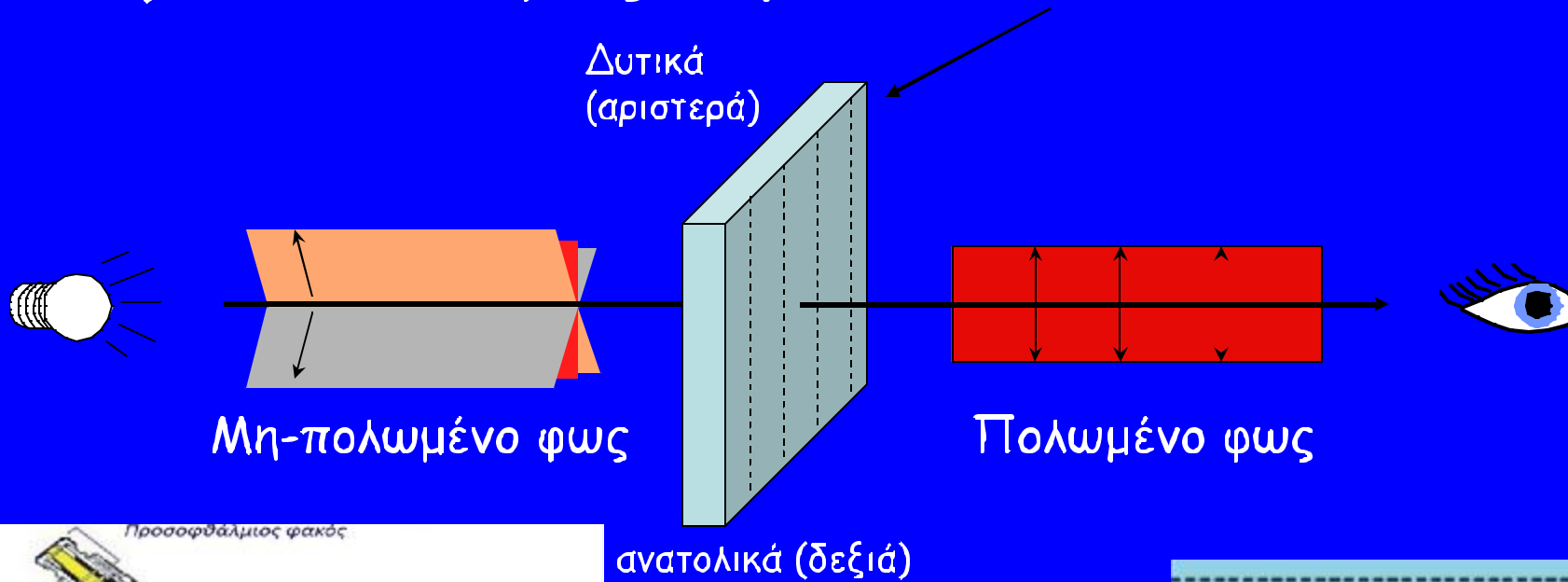
διεύθυνση διάδοσης

επίπεδο ταλάντωσης

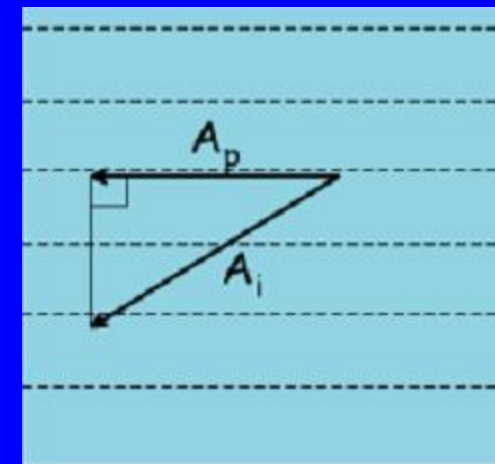
διεύθυνση ταλάντωσης



1) Όταν το φως περνάει από τον πολωτή

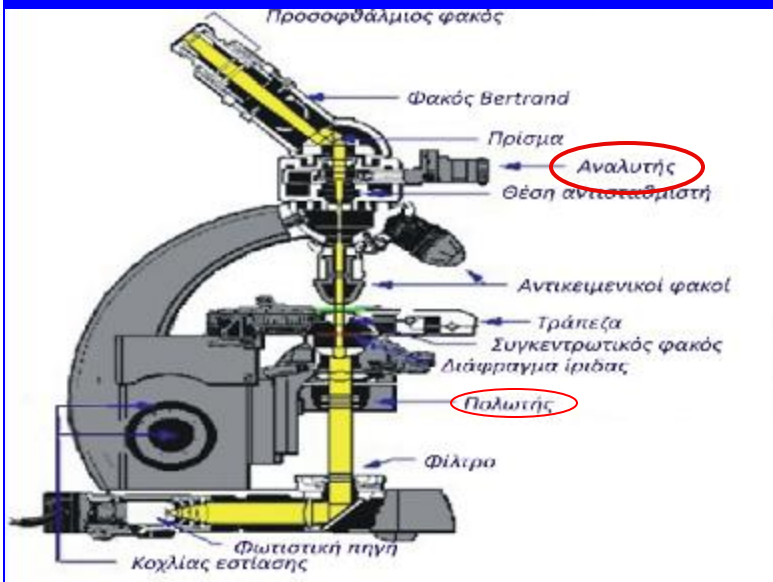
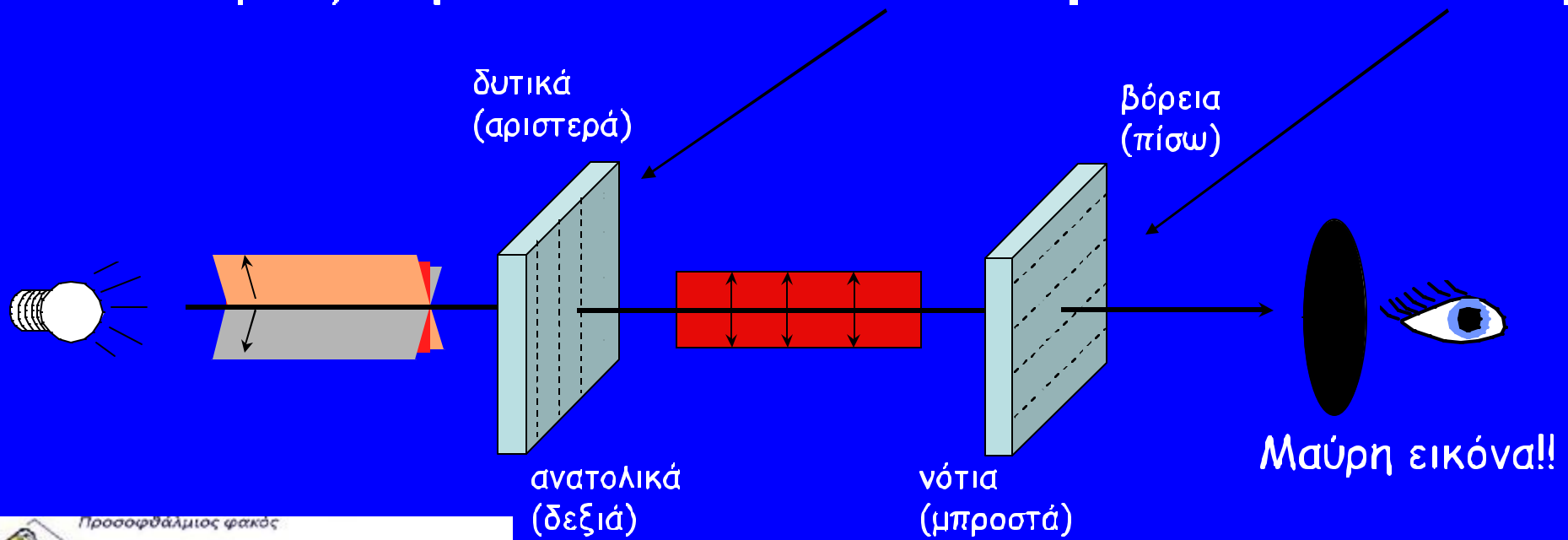


Παράλληλα Nicols



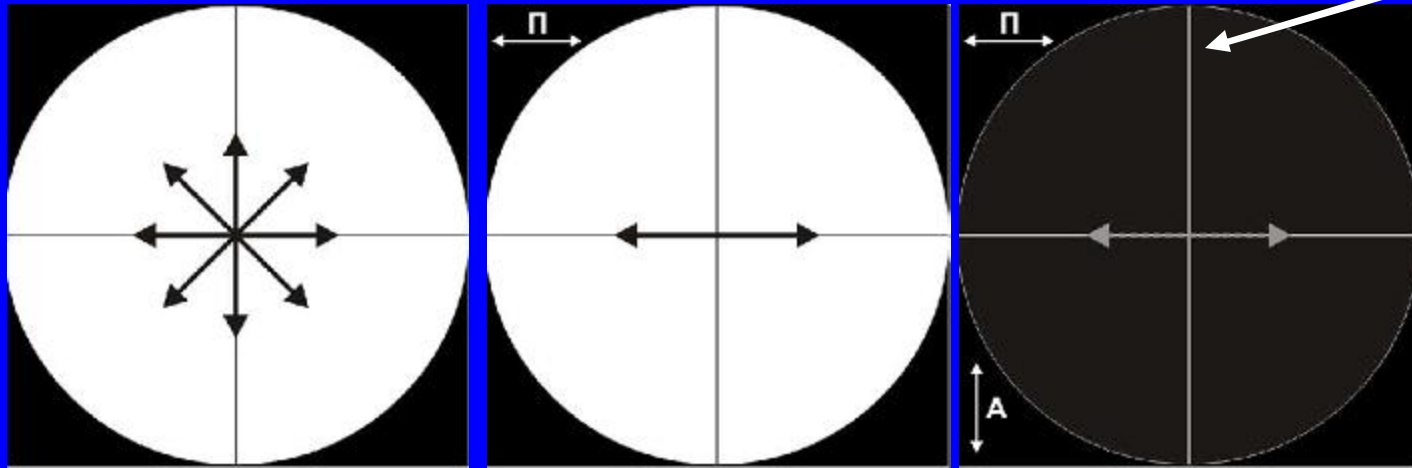
Μόνο το διάνυσμα του φωτός που κραδαίνει σε διεύθυνση $A-\Delta$ μπορεί να περάσει από τον πολωτή- η ένταση του φωτός μειώνεται

Όταν το φως περνάει από τον πολωτή και τον αναλυτή



Διασταυρωμένα Nicols

Χωρίς λεπτή τομή στην τράπεζα



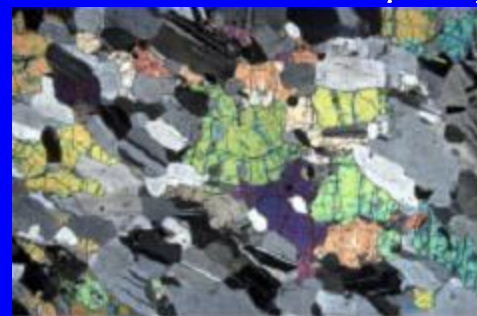
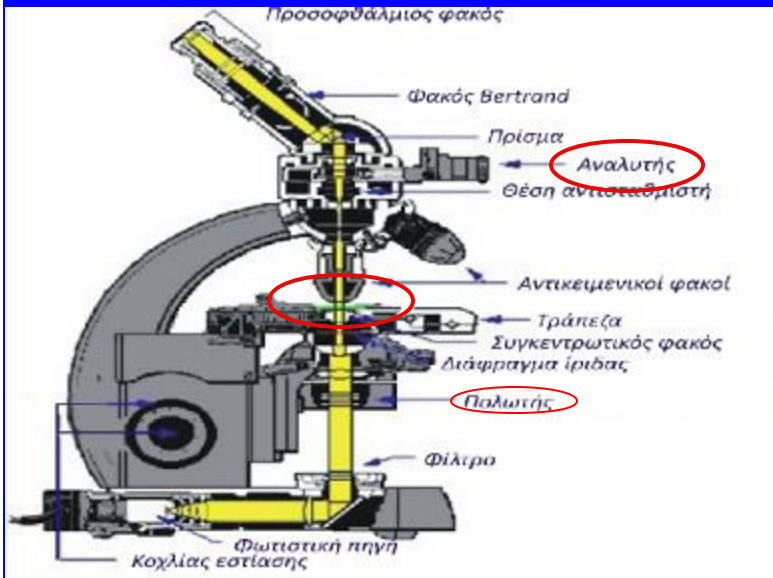
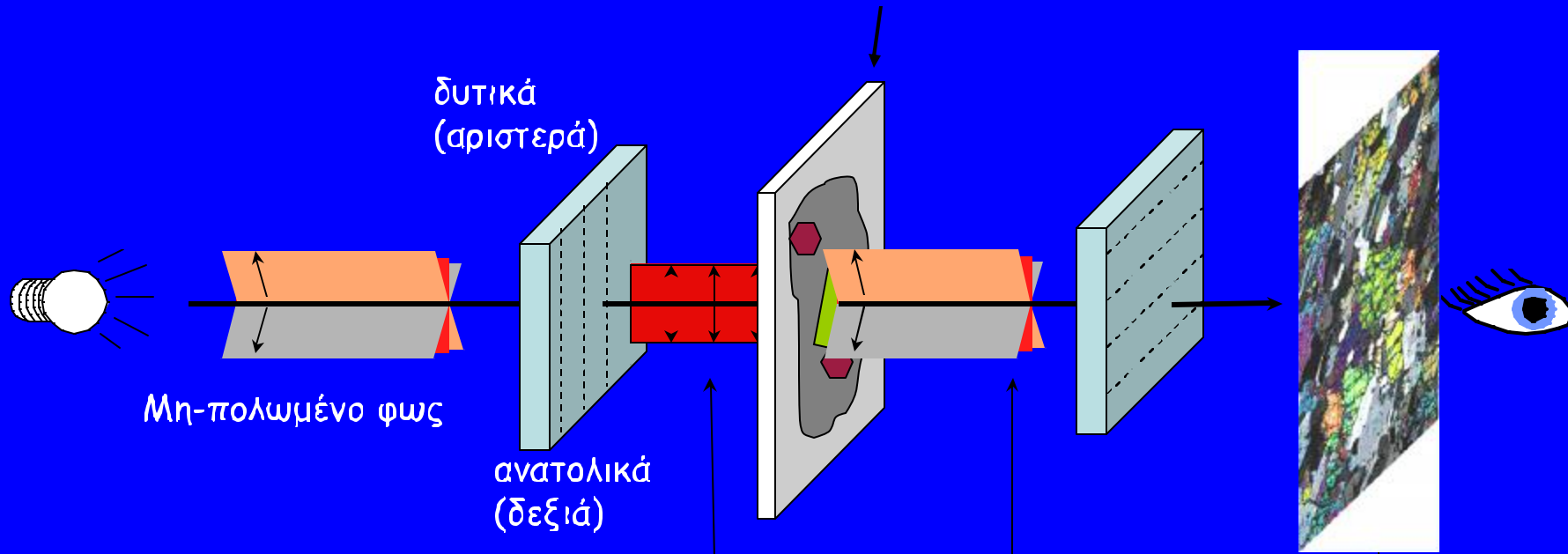
Το σταυρόνημα συμβολίζει τα ίχνη των επιπέδων που κραδαίνονται οι πολωμένες ακτίνες όπως εξέρχονται από τον Πολωτή και τον Αναλύτη. Είναι δύο κάθετα λεπτά σύρματα που φαίνονται μέσα στο οπτικό πεδίο του μικροσκοπίου.

Α. Το φυσικό φως της φωτεινής πηγής πριν να φτάσει στον πολωτή κραδαίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Β. Παράλληλα Nicols: Το φως διέρχεται από τον πολωτή και πολώνεται ευθύγραμμα με διεύθυνση κράδανσης Α-Δ. Αποτέλεσμα: Φωτεινό οπτικό πεδίο.

Γ. Διασταυρωμένα Nicols: Το ευθύγραμμα πολωμένο φως φτάνει στον αναλυτή που έχει διεύθυνση κράδανσης Β-Ν (κάθετη σε αυτήν του πολωτή) και κατασβέννυται. Αποτέλεσμα: Σκοτεινό οπτικό πεδίο.

Όταν τοποθετήσουμε τη λεπτή τομή



ΟΠΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ

Διάκριση των Κρυσταλλικών Σωμάτων

1. ισότροπα ή Μονοθλαστικά
2. Ανισότροπα ή Διπλοθλαστικά

Οπτικές επιφάνειες (επιφάνειες ταχυτήτων η επιφάνειες δεικτών διάθλασης) σε ισότροπα και ανισότροπα σώματα

Μονάξονες κρύσταλλοι (ελλειψοειδή των δεικτών)

Διάξονες κρύσταλλοι (ελλειψοειδή των δεικτών)

Οπτικός χαρακτήρας ενός κρυστάλλου λέγεται το αν ένας κρύσταλλος είναι ισότροπος ή ανισότροπος (μονάξονας ή διάξονας).

ΙΣΟΤΡΟΠΑ ΟΡΥΚΤΑ

Στα ισότροπα ορυκτά - η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια σε όλες τις διευθύνσεις.

Παράδειγμα ισότροπου υλικού είναι η ηφαιστειακή ύελος. Ισότροπα ορυκτά είναι ο οπάλιος άλλα άμορφα στερεά και ορυκτά του κυβικού συστήματος όπως :

1. αλίτης - NaCl
2. φθορίτης - CaF_2
3. γρανάτης - $\text{X}_3 \text{Y}_2 (\text{SiO}_4)_3$ όπου
 $\text{X} = \text{Mg}, \text{Mn}^{2+}, \text{Ca}$ και
 $\text{Y} = \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Cr}$
4. περίκλαστο - MgO

ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΑ ΟΡΥΚΤΑ

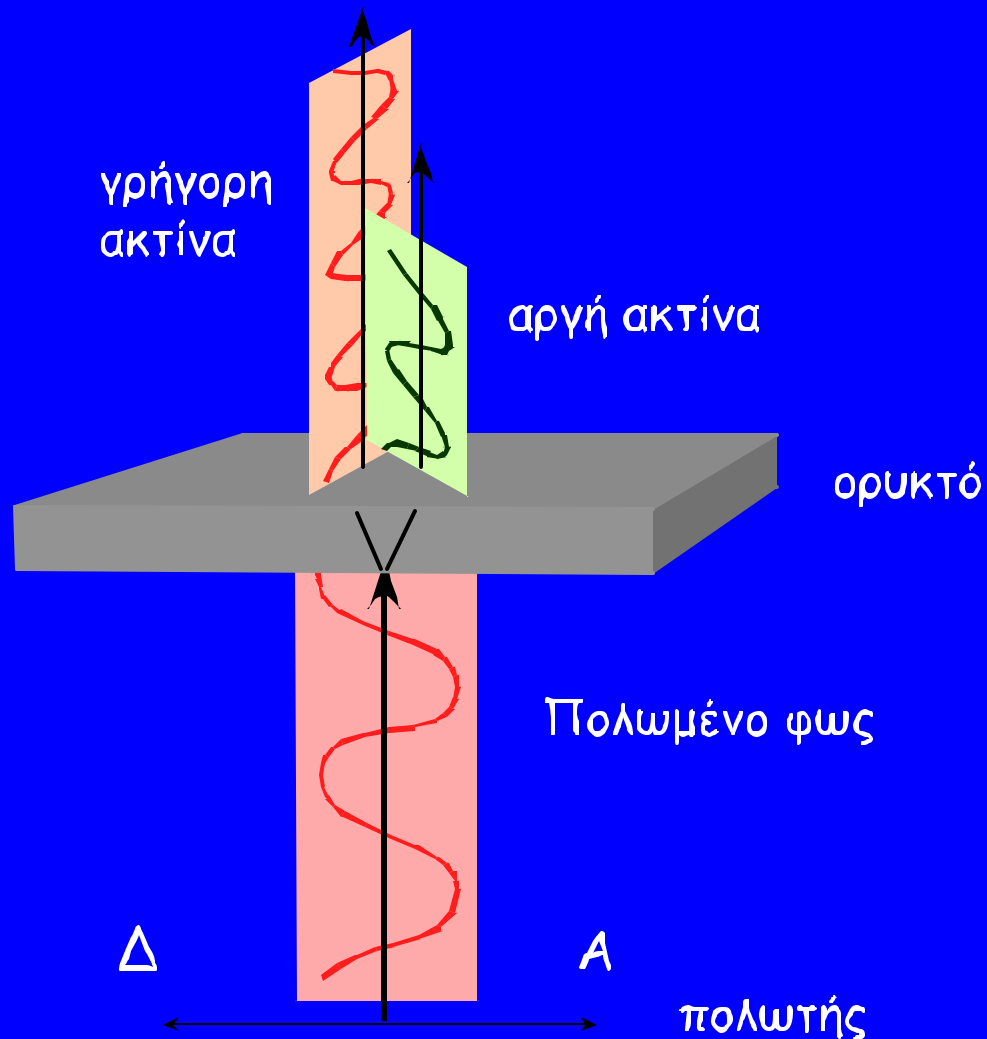
1. η ταχύτητα του φωτός ποικίλλει εξαρτώμενη από τη διεύθυνση του μέσα στο ορυκτό.
2. εμφανίζουν διπλή διάθλαση.

Όταν το φως εισέρχεται σε ένα ανισότροπο ορυκτό διασπάται σε δύο ακτίνες διαφορετικής ταχύτητας οι οποίες πάλλονται σε ορθές γωνίες η μία προς την άλλη.

Σε ανισότροπα ορυκτά υπάρχουν μία ή δύο διευθύνσεις, δια μέσου του ορυκτού, κατά μήκος των οποίων το φως δεν αναλύεται, δεν παθαίνει διπλή διάθλαση (συμπεριφέρεται σαν να ήταν το ορυκτό ισότροπο). Αυτή η διεύθυνση ή αυτές οι διευθύνσεις αναφέρονται σαν Οπτικοί άξονες

Ορυκτά του Εξαγωνικού, Τριγωνικού και Τετραγωνικού συστήματος έχουν ένα οπτικό άξονα και ονομάζονται οπτικά ΜΟΝΑΞΟΝΕΣ
Ορυκτά του Ρομβικού, Μονοκλινούς και Τρίκλινούς έχουν δύο οπτικούς άξονες και ονομάζονται οπτικά ΔΙΑΞΟΝΕΣ.

Όλα τα ανισότροπα ορυκτά μπορούν να αναλύσουν το πολωμένο φως σε δύο ακτίνες, οι οποίες ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες και ταλαντώνονται σε δύο κάθετα μεταξύ τους επίπεδα.



Όταν αναλύεται το φως:

- αλλάζει η ταχύτητά του
- οι ακτίνες διαθλώνται
- εχουμε 2 νέες διευθύνσεις ταλάντωσης
- συνήθως βλέπουμε χρώματα

ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

Οι τιμές των φυσικών μεγεθών της

ταχύτητας διαδόσεως του φωτός (V) και των δεικτών διάθλασης (n) των ισότροπων και ανισότροπων κρυστάλλων μπορούν να παρουσιαστούν με γεωμετρικούς τόπους που καλούνται οπτικές επιφάνειες.

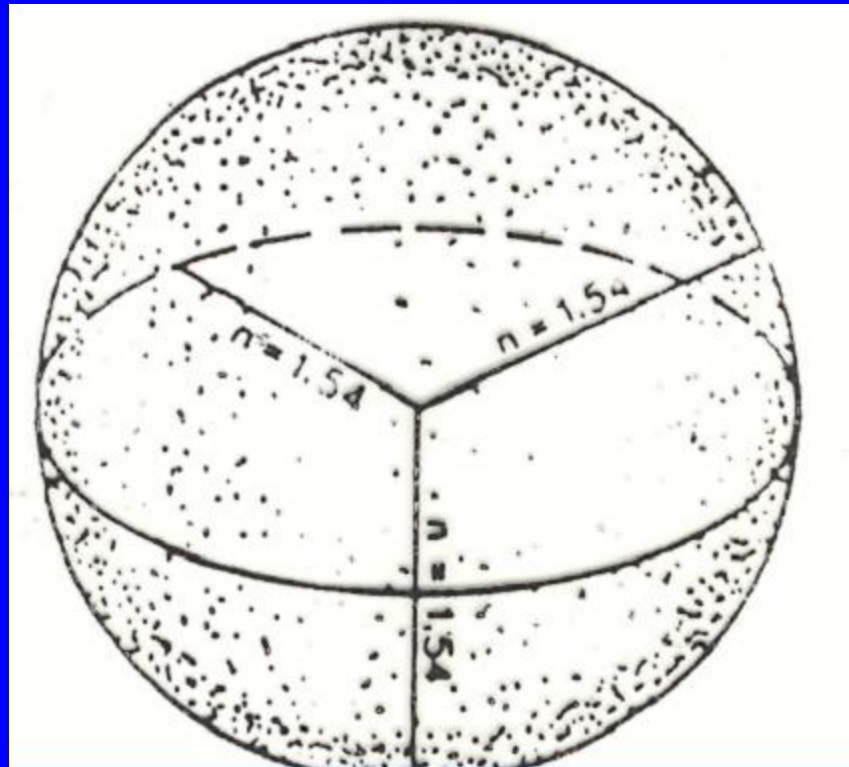
Με τις οπτικές επιφάνειες επιλύονται προβλήματα της γεωμετρικής οπτικής που έχουν σχέση με τη πορεία του φωτός εντός των σωμάτων.

Ποιο εύχρηστες είναι οι επιφάνειες των δεικτών διάθλασης δηλ. ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που παριστάνουν τις τιμές των δεικτών διάθλασης στις διάφορες διευθύνσεις

Οπτικές Επιφάνειες Ισότροπων Κρυστάλλων

Η ταχύτητα διαδόσεως του φωτός (V) και η τιμή του δείκτη διάθλασης (n) είναι σταθερά προς όλες τις διευθύνσεις μέσα στα μονοθλαστικά ή ισότροπα μέσα.

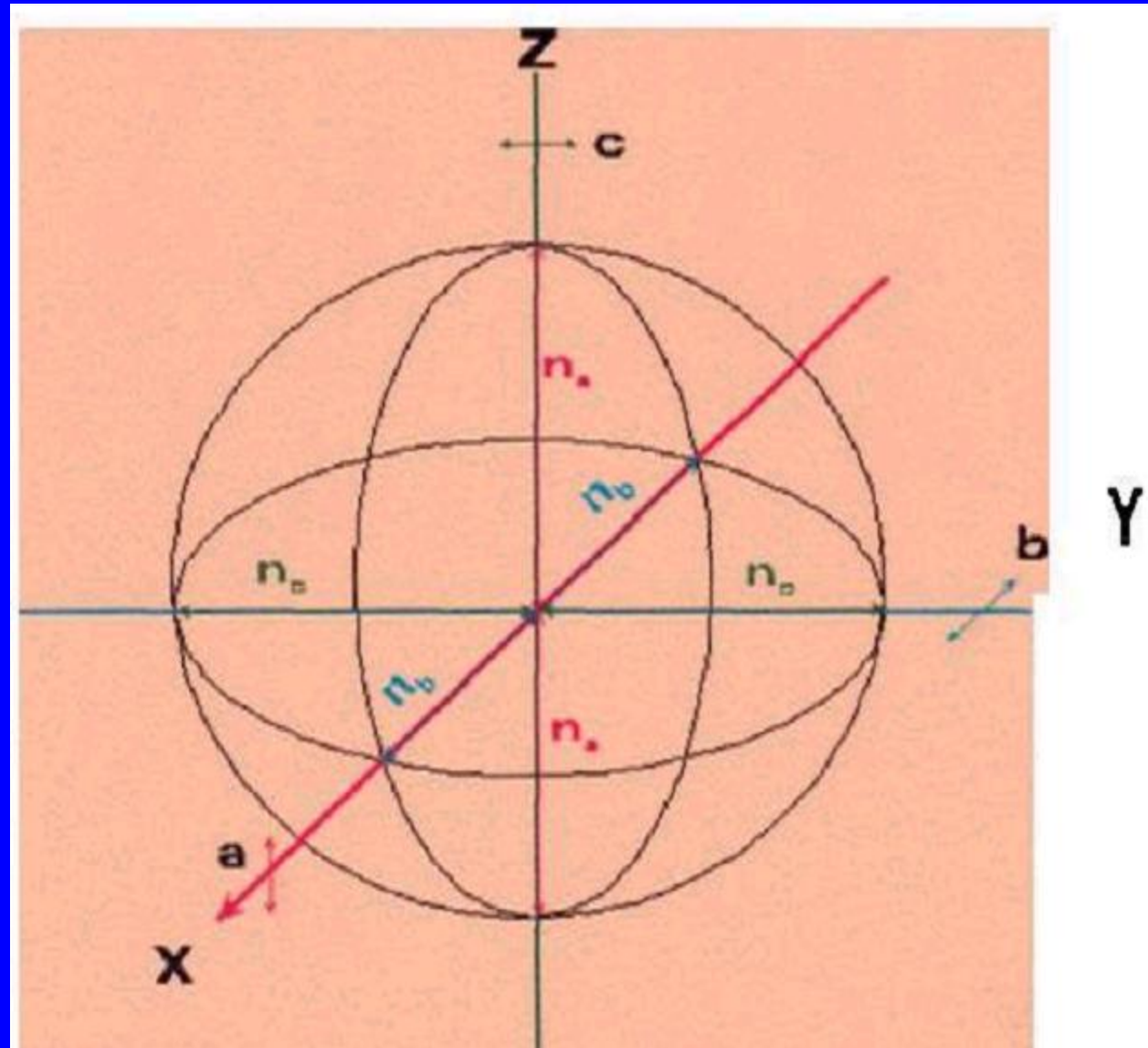
Επομένως η επιφάνεια της ταχύτητας όπως και η επιφάνεια των δεικτών διάθλασης είναι σφαίρα. Ο δείκτης διάθλασης μπορεί να παρασταθεί στερεογραφικά με τις ακτίνες της σφαίρας.



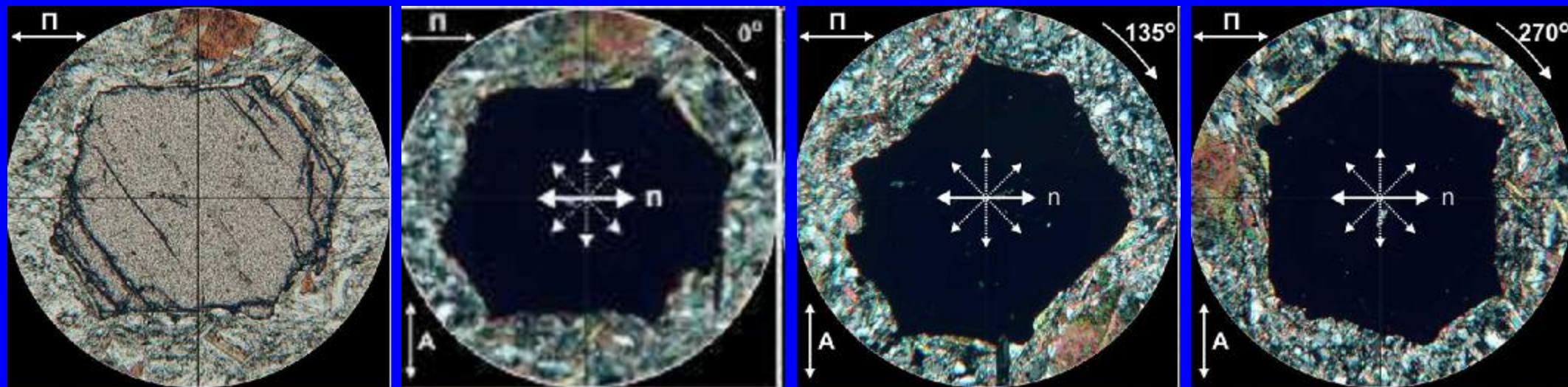
ΙΣΟΤΡΟΠΟ ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ (ISOTROPIC INDICATRIX)

Για τα ισότροπα ορυκτά
το φως ταξιδεύοντας
προς όλες τις διευθύνσεις
έχει τον ίδιο δείκτη
διάθλασης.

Η ακτίνα a ταξιδεύει
κατά μήκος του X
άξονα με διεύθυνση
ταλάντωσης // στον Z
άξονα



Στα ισότροπα ορυκτά (πχ. γρανάτης) το φως διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα ισότροπα ορυκτά δεν επηρεάζουν τη διεύθυνση κράδανσης του πολωμένου φωτός.



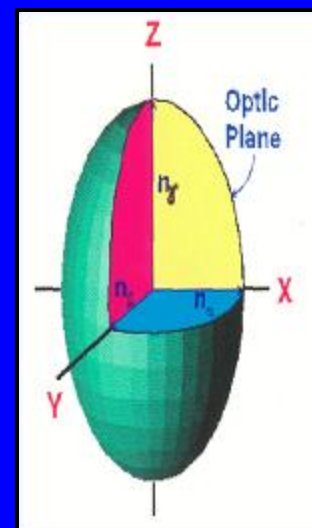
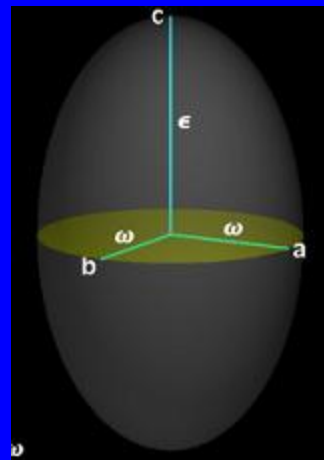
Πάραλληλα Nicols
Μόνο πολωτής

Διασταυρωμένα Nicols - Πολωτής + Αναλυτής

Σε κάθε θέση της τομής το πολωμένο φως διέρχεται από το ισότροπο ορυκτό με διεύθυνση κράδανσης A-Δ. Το φως φτάνει στον αναλυτή που έχει διεύθυνση κράδανσης B-N και κατασβένυται. Το ορυκτό με τη στροφή της τράπεζας παραμένει διαρκώς σκοτεινό. Αποτέλεσμα: Διαρκής κατάσβεση.

Οπτικές Επιφάνειες Ανισότροπων Κρυστάλλων
(Μονάξονες - Διάξονες κρύσταλλοι)
Ελλειψοειδή των δεικτών διάθλασης (indicatrix)

Στους ανισότροπους κρυστάλλους οι δείκτες διάθλασης μπορούν να παρασταθούν στερεογραφικά με τους άξονες ενός ελλειψοειδούς. Στο ελλειψοειδές οι δείκτες διάθλασης προβάλλονται σαν ακτίνες παράλληλες προς τη διεύθυνση κρυσταλλογράφου του φωτός.



Μονάξονες κρύσταλλοι:

Τριγωνικό, Εξαγωνικό, Τετραγωνικό σύστημα
Ελλειψοειδές των δεικτών ή ελλειψοειδές εκ περιστροφής

Ο οπτικός άξονας συμπίπτει με τον άξονα c και με τον κύριο άξονα συμμετρίας,

Τριγωνικό σύστημα: με τον L^3

Εξαγωνικό σύστημα: με τον L^6

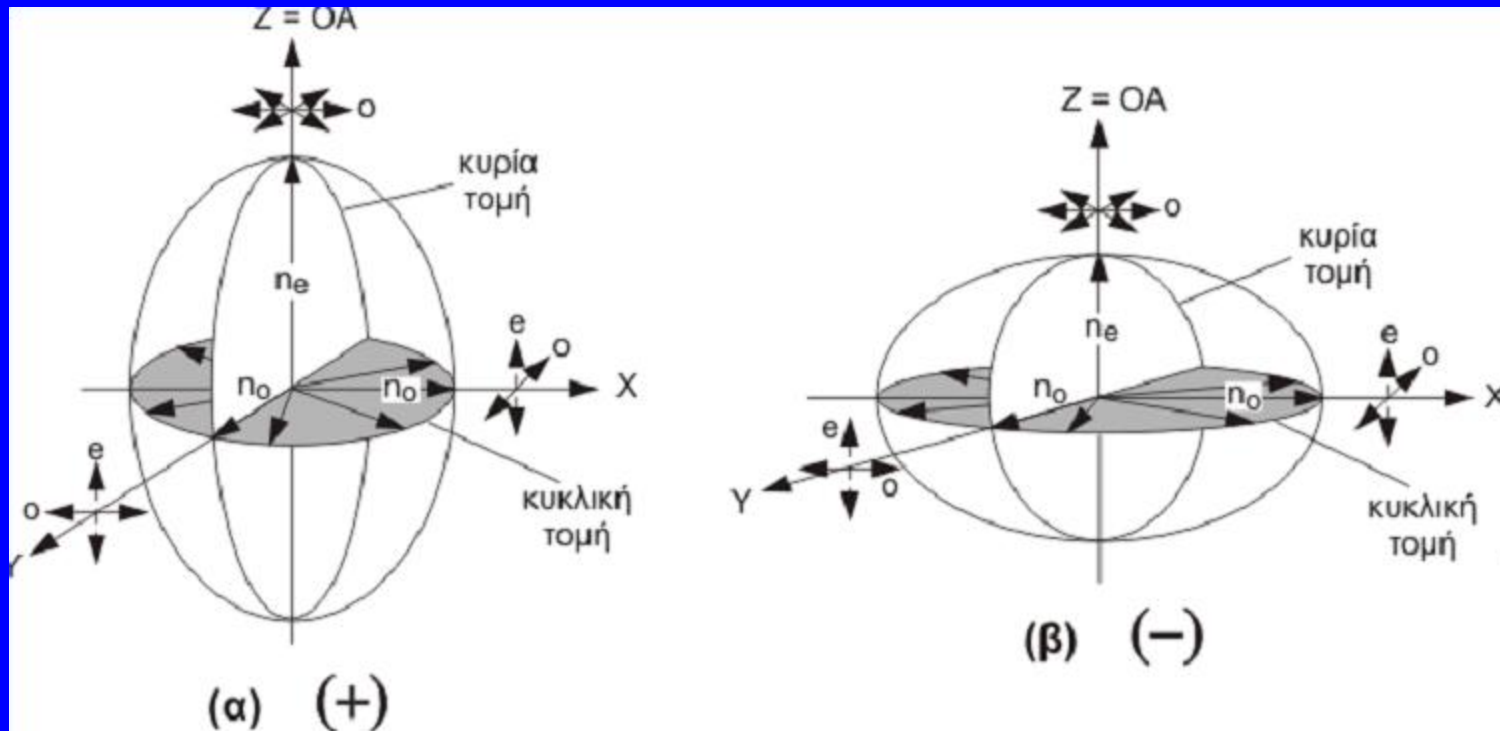
Τετραγωνικό σύστημα: με τον L^4

Προσανατολισμός του ελλειψοειδούς

Γνωρίζοντας τον προσανατολισμό του ελλειψοειδούς σ' έναν κρύσταλλο μπορούμε να εξηγήσουμε τις οπτικές ιδιότητες (πχ. χρώματα πόλωσης, κατασβεστική γωνία, πλεοχρωϊσμό κλπ.) που εμφανίζουν οι κρύσταλλοι κάτω από το μικροσκόπιο.

Χρήση του ελλειψοειδούς

Ελλειψοειδές δεικτών μοναξόνων κρυστάλλων (θετικών και αρνητικών)



Η ακτίνα του ελλειψοειδούς κατά μήκος του οπτικού άξονα (άξονας Z) είναι πάντα n_e . Ο n_o βρίσκεται κάθετα στον άξονα Z και τον οπτικό άξονα.

Το φως, κατά την είσοδό του στο ορυκτό, χωρίζεται σε δύο ακτίνες: την τακτική που κραδαίνεται πάντα κάθετα στον οπτικό άξονα και έχει δ.δ. πάντα n_o την έκτακτη που κραδαίνεται πάντα παράλληλα στον οπτικό άξονα και - ανάλογα με την πρόσπτωση - έχει δ.δ. μεταξύ n_e και n_o . Το φως ταξιδεύοντας κατά μήκος του οπτικού άξονα δεν υφίσταται διάθλαση (ισότροπη τομή).

Ελλειψοειδές δεικτών μοναξόνων κρυστάλλων

Σε μοναξονικά ορυκτά,

επειδή n_o και n_e δεν είναι ίσα, το ελλειψοειδές των δεικτών έχει ένα σχήμα το οποίο εξαρτάται από το προσανατολισμό του σε σχέση με τον οπτικό άξονα.

Σε μονάξονες κρυστάλλους, ο $O.A$ άξονας του ελλειψοειδούς είναι παράλληλος στον z -κρυσταλλογραφικό άξονα και το ελλειψοειδές είναι ένα επίμηκες σφαιροειδές, ελλειψοειδές δηλ. επιμηκύνεται κατά μήκος του οπτικού άξονα. Οπτικό σημείο ενός κρυστάλλου λέγεται το αν ένας κρύσταλλος είναι θετικός (+) ή αρνητικός (-).

Σε θετικούς μονάξονες κρυστάλλους :

$$\underline{n_e > n_o}$$

Σε αρνητικούς μονάξονες κρυστάλλους:

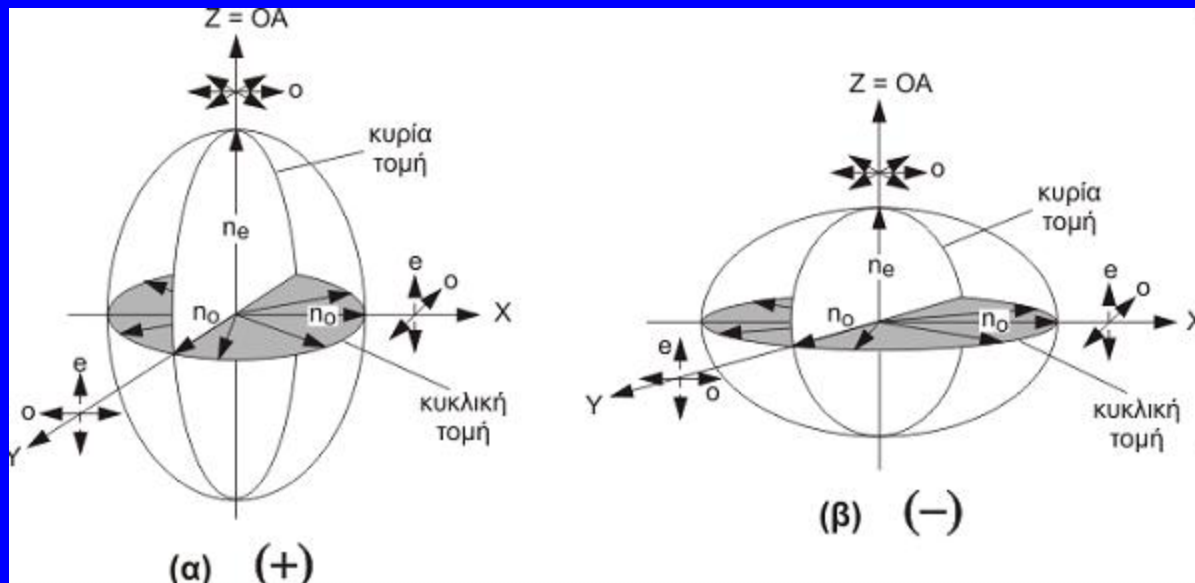
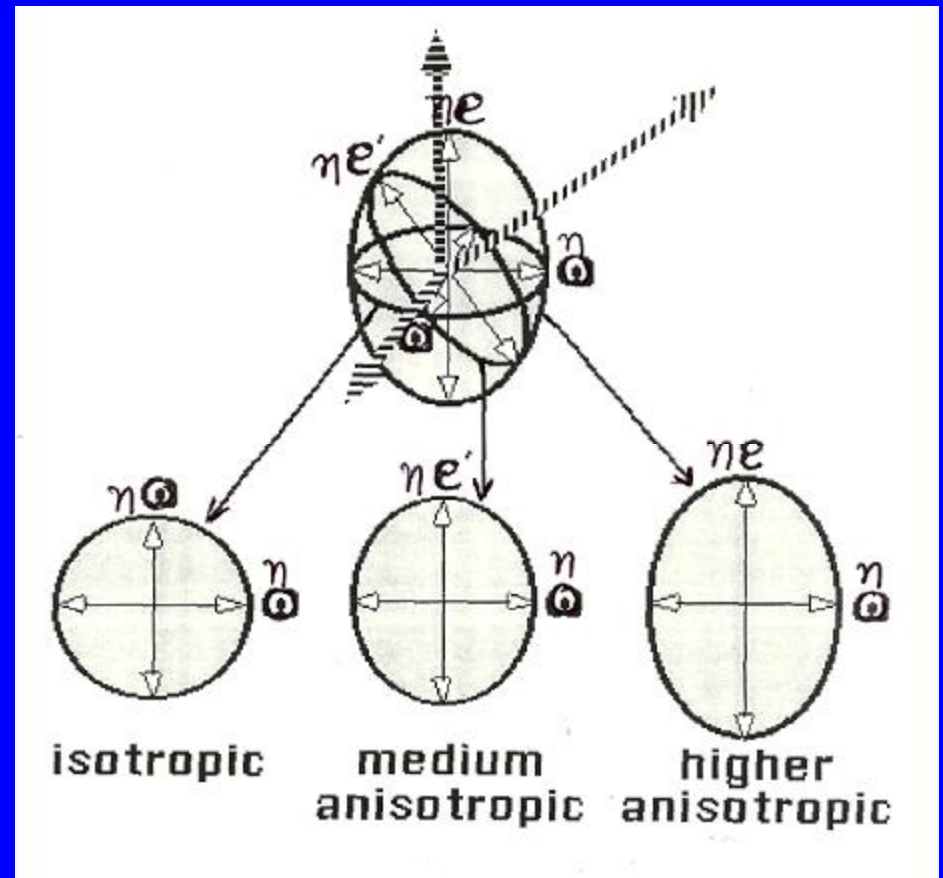
$$\underline{n_e < n_o}$$

Ελλειψοειδές δεικτών μοναξόνων

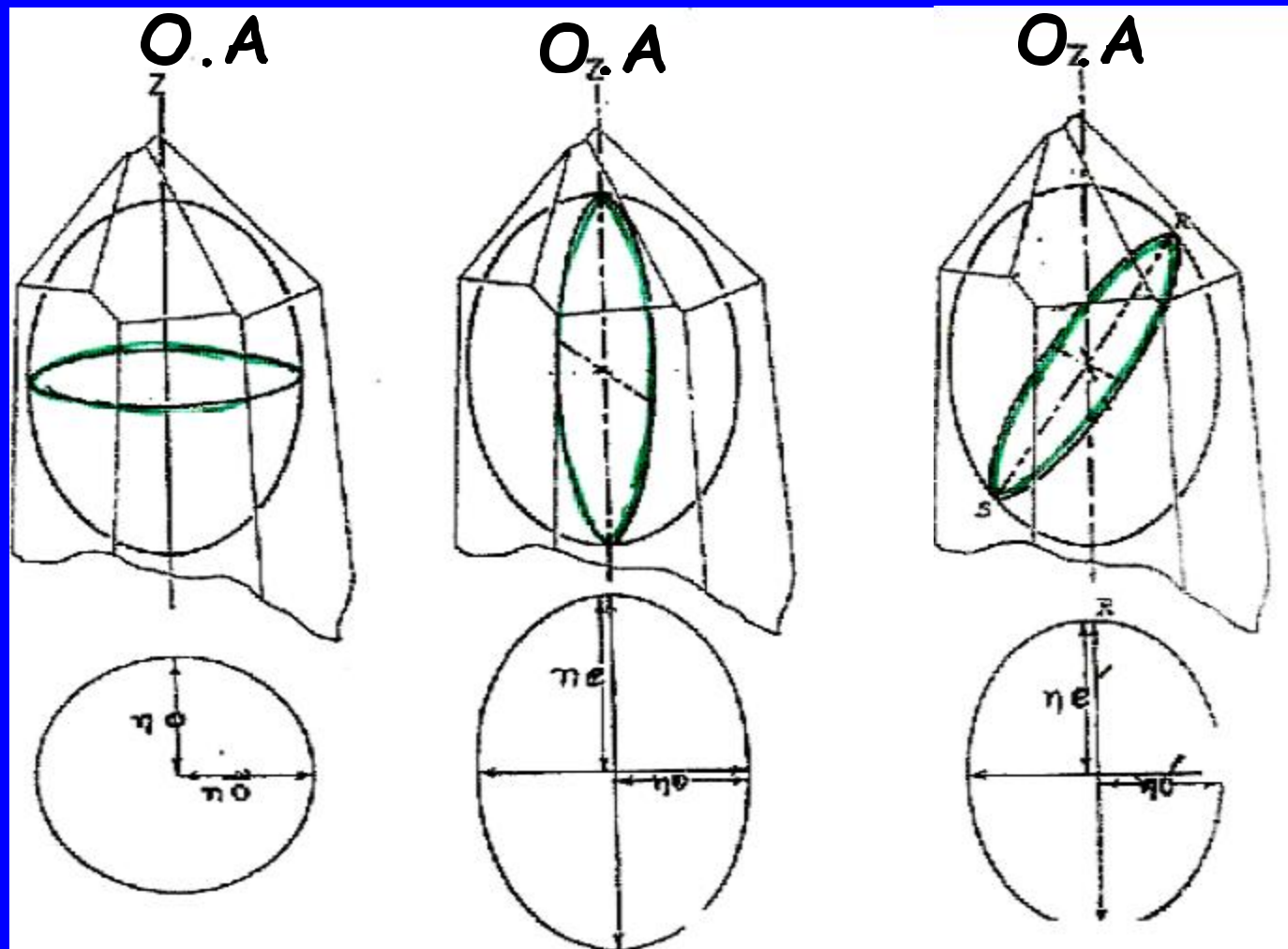
Μία τομή στο ελλειψοειδές κάθετος στον οπτικό άξονα παράγει μία κυκλική τομή με ακτίνα n_o (ισότροπος τομή).

Μία τομή στο ελλειψοειδές που περικλείει τον οπτικό άξονα παράγει μία έλλειψη (με άξονες n_e και n_o) και ονομάζεται κύρια τομή. (ανισότροπος τομή)

Μία τυχαία τομή σε ένα ελλειψοειδές θα παράγει μία έλλειψη με άξονες n_o και $n_{e'}$. (ανισότροπη τομή).



Άξονες
ελαστικότητας
της τομής
π.χ στο Χαλαζία
(Τριγωνικό σύστημα -
Μοναξονας
κρύσταλλος)



$$n_o = n_o$$

ισότροπη

$$n_e > n_o$$

$$n_e' > n_o$$

ανισότροπες

Διάξονες κρύσταλλοι Ελλειψοειδές των δεικτών ή τριαξονικό ελλειψοειδές

Ο διάξονες κρύσταλλοι έχουν δύο Ο.Α. (Ανήκουν στο ρομβικό, μονοκλινές και τρικλινές σύστημα).

Το ελλειψοειδές των διαξόνων είναι παρόμοιο με το μοναξονικό ελλειψοειδές, με τη διαφορά ότι τώρα υπάρχουν τρεις κύριοι δείκτες διάθλασης αντί για δύο.

Το τριαξονικό ελλειψοειδές κατασκευάζεται σχεδιάζοντας τους κύριους δείκτες κατά μήκος 3 αμοιβαία κάθετων αξόνων.

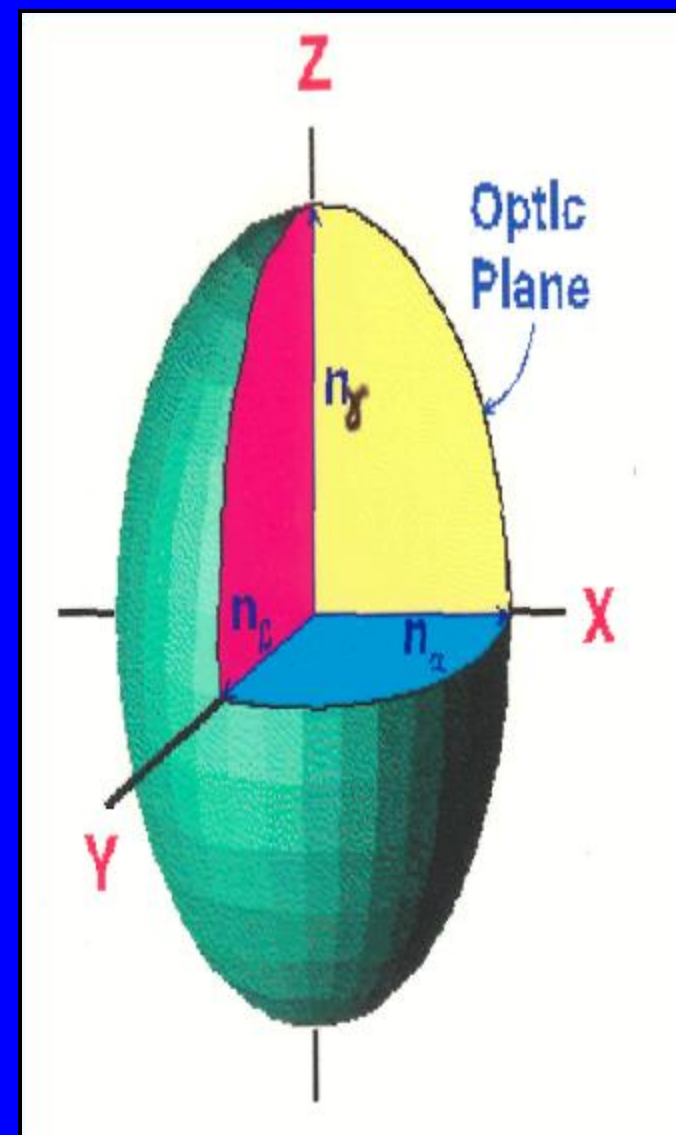
- ηα σχεδιάζεται κατά μήκος του άξονα X
- ηβ σχεδιάζεται κατά μήκος του άξονα Y
- ηγ σχεδιάζεται κατά μήκος του άξονα Z

και, ηα < ηβ < ηγ ή ηρ < ητ < ηθ

Το ελλειψοειδές των δεικτών των διαξόνων κρυστάλλων (τριαξονικό ελλειψοειδές) είναι επίμηκες κατά τον Z άξονα, και πεπλατυσμένο κατά τον X άξονα.

Το ελλειψοειδές έχει τρεις κύριες τομές, όλες ελλείψεις:

- X - Y άξονες = n_a και n_b
- X - Z άξονες = n_a και n_γ
- Y - Z άξονες = n_b και n_γ



Τυχαιές τομές δια του ελλειψοειδούς επίσης σχηματίζουν ελλείψεις

Διάξονες κρύσταλλοι Ελλειψοειδές των δεικτών ή τριαξονικό ελλειψοειδές

Οπτικό σημείο διάξονα κρυστάλλου

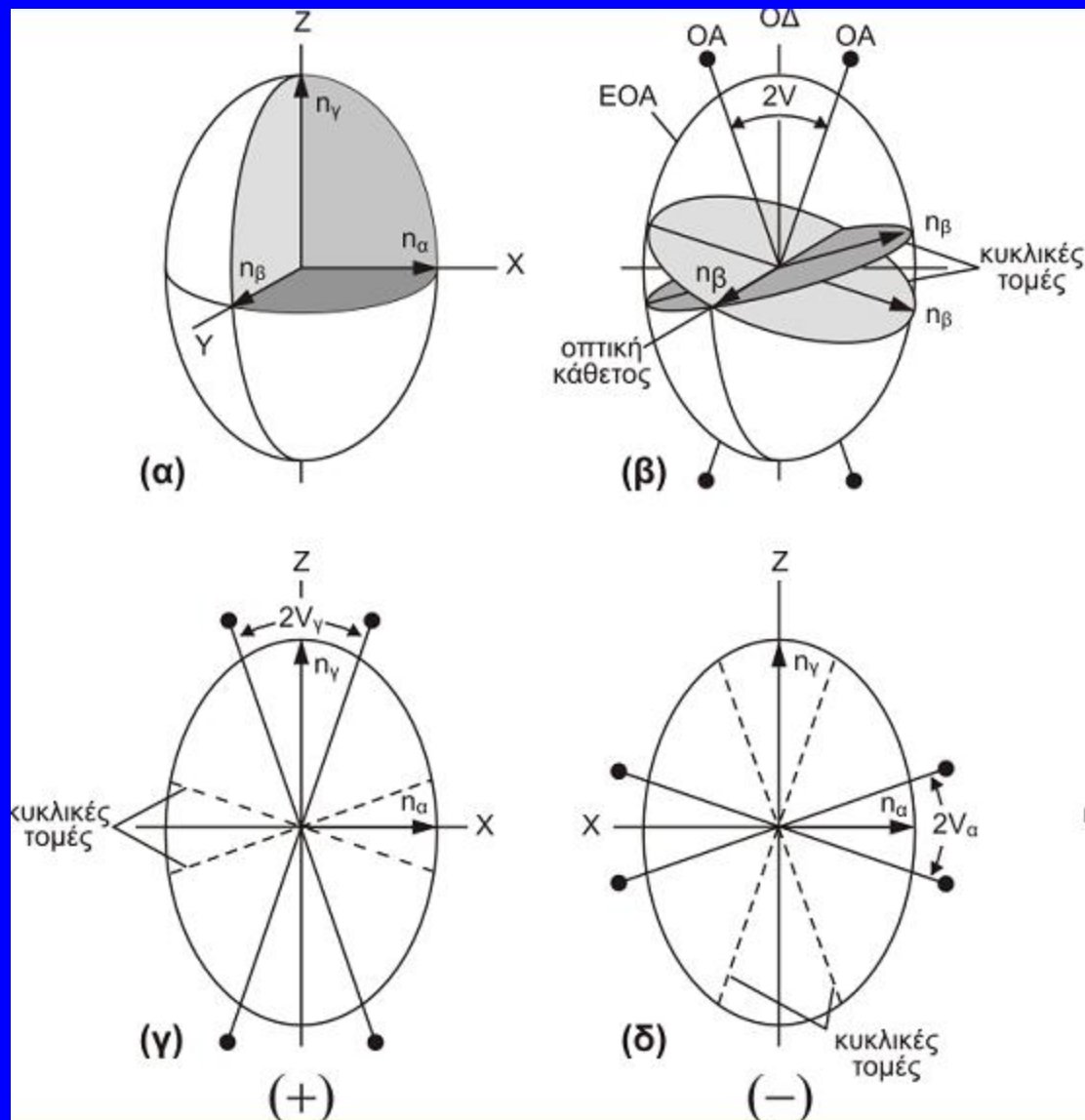
Ένας διάξονας κρύσταλλος ορίζεται ως θετικός (+), όταν οξεία διχοτόμος είναι ο n_γ .

στην περίπτωση αυτή η γωνία $2V_\gamma$ είναι οξεία και η $2V_\alpha$ αμβλεία.

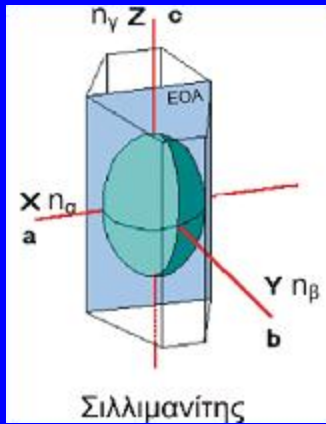
Ένας διάξονας κρύσταλλος ορίζεται ως αρνητικός (-), όταν οξεία διχοτόμος είναι ο n_α .

στην περίπτωση αυτή η γωνία $2V_\alpha$ είναι οξεία και η $2V_\gamma$ αμβλεία.

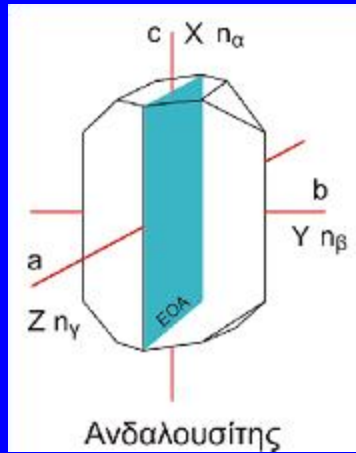
Στην περίπτωση που η γωνία $2V = 90^\circ$, τότε ο κρύσταλλος χαρακτηρίζεται ουδέτερος.



Προσανατολισμός του τριαξονικού ελλειψοειδούς



Σιλλιμανίτης



Ανδαλουσίτης

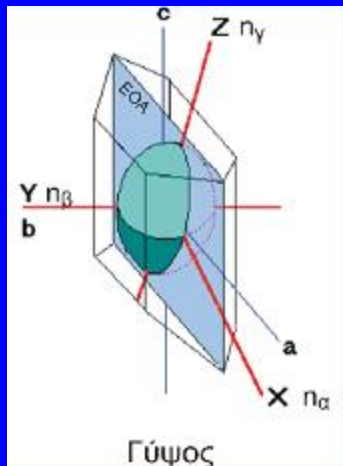
Ρομβικό σύστημα

Υπάρχουν τρεις κρυσταλλογραφικοί άξονες άνισοι και κάθετοι μεταξύ τους.

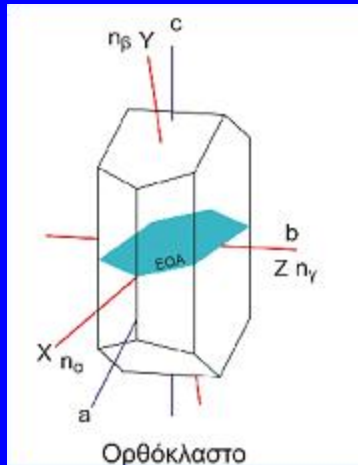
Οι άξονες ελαστικότητας και οι κρυσταλλογραφικοί άξονες συμπίπτουν με τυχαία σχέση μεταξύ τους

πχ. Σιλλιμανίτης: $a=X=n_\alpha$, $b=Y=n_\beta$, $c=Z=n_\gamma$

πχ. Ανδαλουσίτης: $a=Z=n_\gamma$, $b=Y=n_\beta$, $c=X=n_\alpha$



Γύψος



Ορθόκλαστο

Μονοκλινές σύστημα

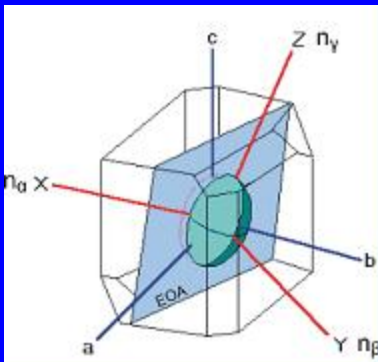
Υπάρχουν τρεις κρυσταλλογραφικοί άξονες άνισοι. Ο άξονας b συμπίπτει με τον άξονα συμμετρίας L2 και είναι κάθετος στο μοναδικό επίπεδο συμμετρίας (010). Οι άξονες a και c είναι κάθετοι στο b, βρίσκονται στο επίπεδο (010) και σχηματίζουν αμβλεία γωνία (γωνία β) μεταξύ τους.

Ο άξονας b συμπίπτει με έναν από τους άξονες ελαστικότητας n_α , n_β ή n_γ . Οι άλλοι δύο άξονες ελαστικότητας βρίσκονται στο επίπεδο (010).

Οι γωνίες που σχηματίζουν οι a και c με τους άξονες ελαστικότητας στο επίπεδο (010) ονομάζονται κατασβεστικές γωνίες.

πχ. Γύψος: $b=Y=n_\beta$, $a:X=15^\circ$, $c:Z=52^\circ$

πχ. Ορθόκλαστο: $b=Z=n_\gamma$, $a:X=5-13^\circ$, $c:Y=13-21^\circ$



Τρικλινές σύστημα

Υπάρχουν τρεις κρυσταλλογραφικοί άξονες άνισοι, οι οποίοι τέμνονται υπό γωνίες διαφορετικές της ορθής.

Οι άξονες ελαστικότητας και οι κρυσταλλογραφικοί άξονες δεν συμπίπτουν και σχηματίζουν γωνίες μεταξύ τους.

ΕΞΕΤΑΣΗ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ

ΣΤΟ ΠΟΛΩΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

ΟΡΘΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕ ΦΥΣΙΚΟ ΦΩΣ

1. Σχήμα τομής (ορυκτών)
2. Σχισμός
3. Ανάγλυφο (Άλως ή γραμμή του Becke
Προσδιορισμός του σχετικού δείκτη διάθλασης)

ΟΡΘΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕ ΜΟΝΟ ΤΟΝ ΠΟΛΩΤΗ

1. Πλειοχρωϊσμός

ΟΡΘΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΜΕΝΑ
Nicols (ΠΟΛΩΤΗΣ + ΑΝΑΛΥΤΗΣ)

1. Κατάσβεση
2. Έγχρωμη Πόλωση
3. Διπλοθλαστικότητα
4. Αντισταθμιστές
5. Προσδιορισμός του Οπτικού Χαρακτήρα
6. Επιμήκυνση
7. Μη ομαλά χρώματα πόλωσης

ΚΩΝΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ (ΠΟΛΩΤΗΣ + ΑΝΑΛΥΤΗΣ + BERTRAND)

1. Κωνοσκοπικές εικόνες κρυστάλλων κυβικού
2. Κωνοσκοπικές εικόνες μοναξόνων κρυστάλλων
3. Κωνοσκοπικές εικόνες διαξόνων κρυστάλλων
4. Προσδιορισμός οπτικού σημείου (+, -)

Σχήμα των ορυκτών

Είναι η τάση των ορυκτών να εμφανίζονται με γεωμετρικά σχήματα απλά ή σύνθετα. Το σχήμα των ορυκτών είναι αποτέλεσμα της εσωτερικής δομής των κρυστάλλων.

Το σχήμα μπορεί να φανεί μακροσκοπικά με τη βοήθεια στερεοσκοπικού μικροσκοπίου, ή σε λεπτή τομή κάτω από το μικροσκόπιο. Το σχήμα περιγράφει το περίγραμμα μιας τομής ενός ορυκτού.

Η καλή ή όχι καλή κρυσταλλική κατάσταση ενός ορυκτού περιγράφεται με το σχήμα.

Έχουμε:

ιδιόμορφους-(euhedral)

υπιδιόμορφους-(subhedral)

ή

αλλοτριόμορφους (anhedral)

κρυστάλλους, δηλαδή,

Ιδιόμορφο σχήμα, όταν η τομή έχει σαφείς και ευθείες πλευρές που αντιστοιχούν στις έδρες του κρυστάλλου.

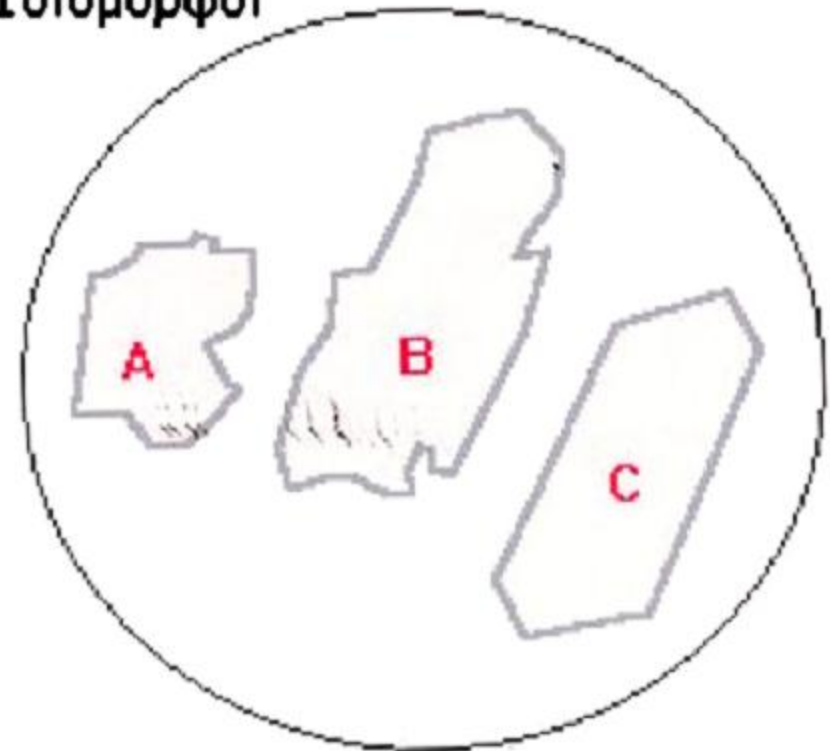
Υπιδιόμορφο σχήμα, όταν η τομή έχει κάποιες σαφείς και κάποιες ακανόνιστες πλευρές.

Αλλοτριόμορφο σχήμα, όταν η τομή έχει ακανόνιστες πλευρές.

A. Αλλοτριόμορφοι

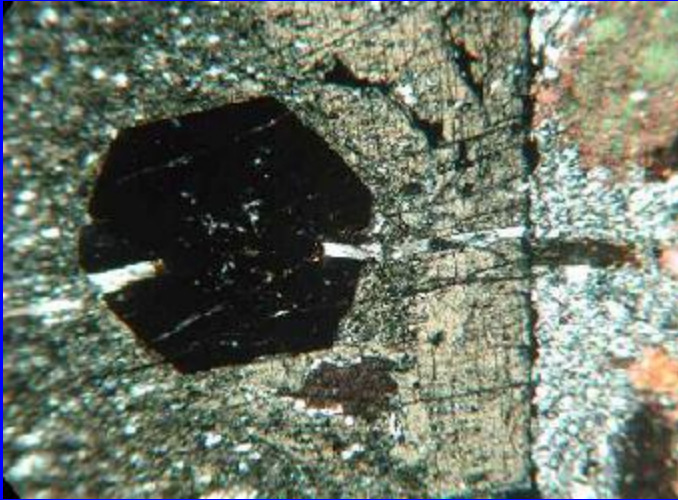
B. Υπιδιόμορφοι

C. Ιδιόμορφοι

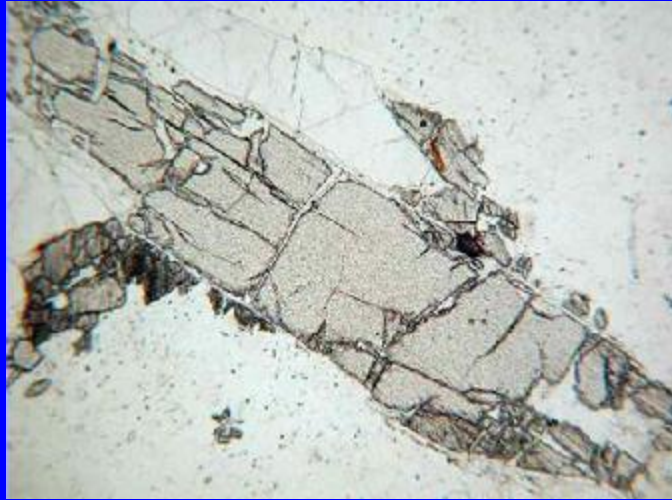


Οι σαφείς ευθείες αντιστοιχούν σε έδρες του κρυστάλλου.

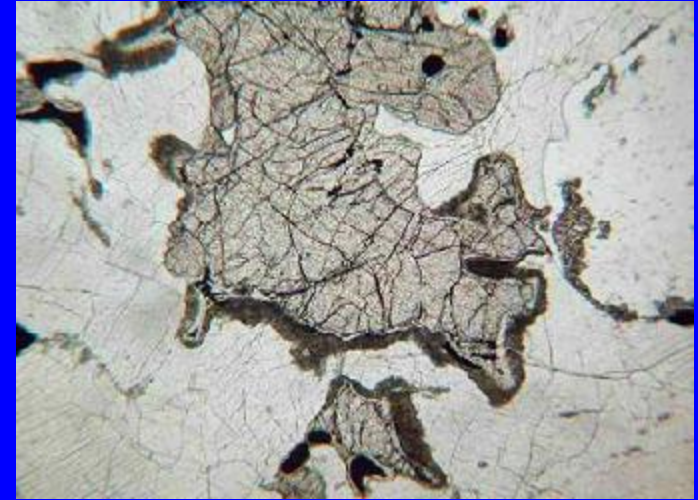
Σχήμα τομής



Ιδιόμορφη τομή
γρανάτη



Υπιδιόμορφη τομή
σιλλιμανίτη



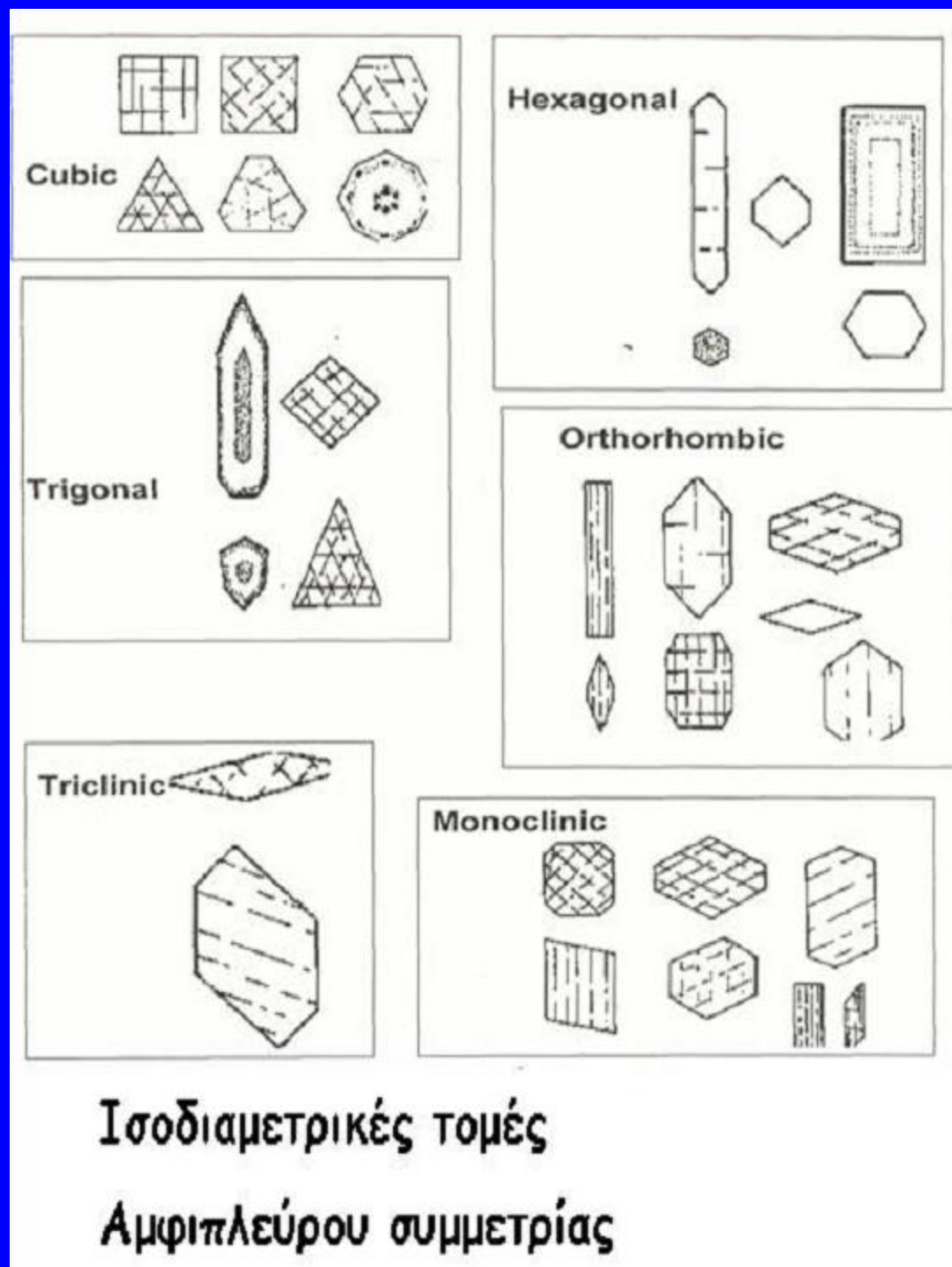
Αλλοτριόμορφη τομή
ολιβίνη

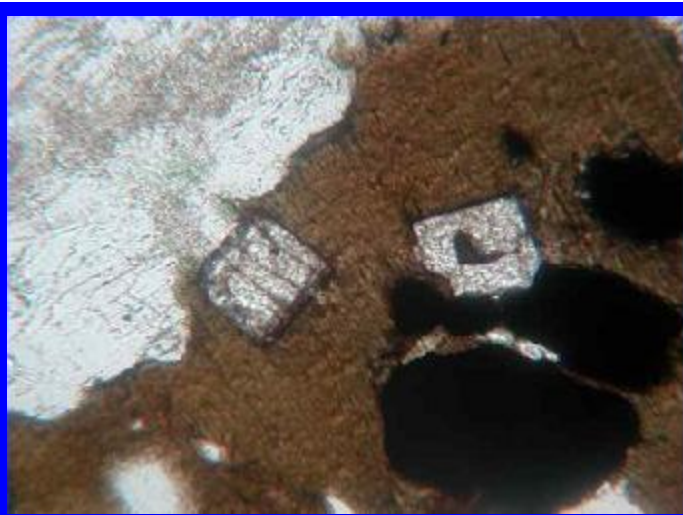
Η τομή ενός ορυκτού μπορεί να έχει πχ. τετραγωνικό, ορθογώνιο, εξαγωνικό, οκταγωνικό, ρομβοειδές, αποστρογγυλλεμένο σχήμα κλπ. Συχνά το σχήμα της τομής δείχνει και το σύστημα κρυστάλλωσης ενός ορυκτού.

Στούς ιδιόμορφους κρύσταλλους

ι. τομές ισοδιαμετρικές (κυβικό σύστημα και τομές κάθετες προς τους L6, L4, L3.)

ii. τομές αμφιπλεύρου συμμετρίας (εξαγ., τριγ., τετρ. και ζώνη b μονοκλινούς).





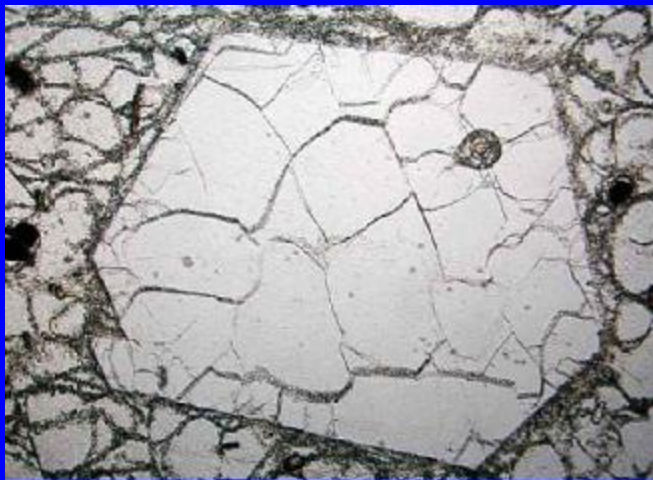
Τετράγωνα τομές ζirkονίου
(τετραγωνικό)



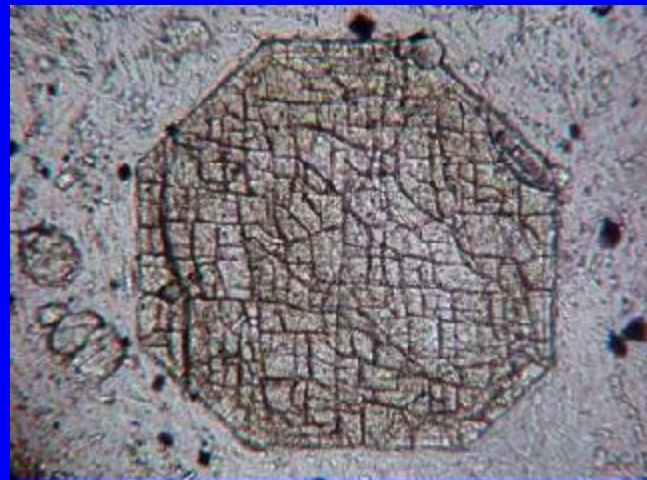
Ορθογώνια τομή σταυρόλιθου
(μονοκλινές)



Ρομβοειδείς τομές τιτανίτη
(μονοκλινές)



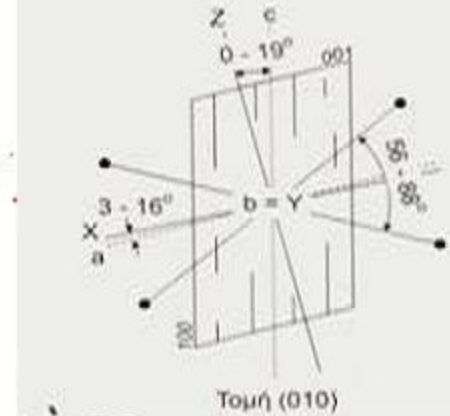
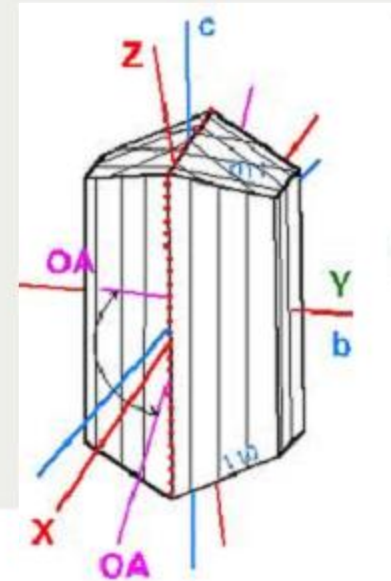
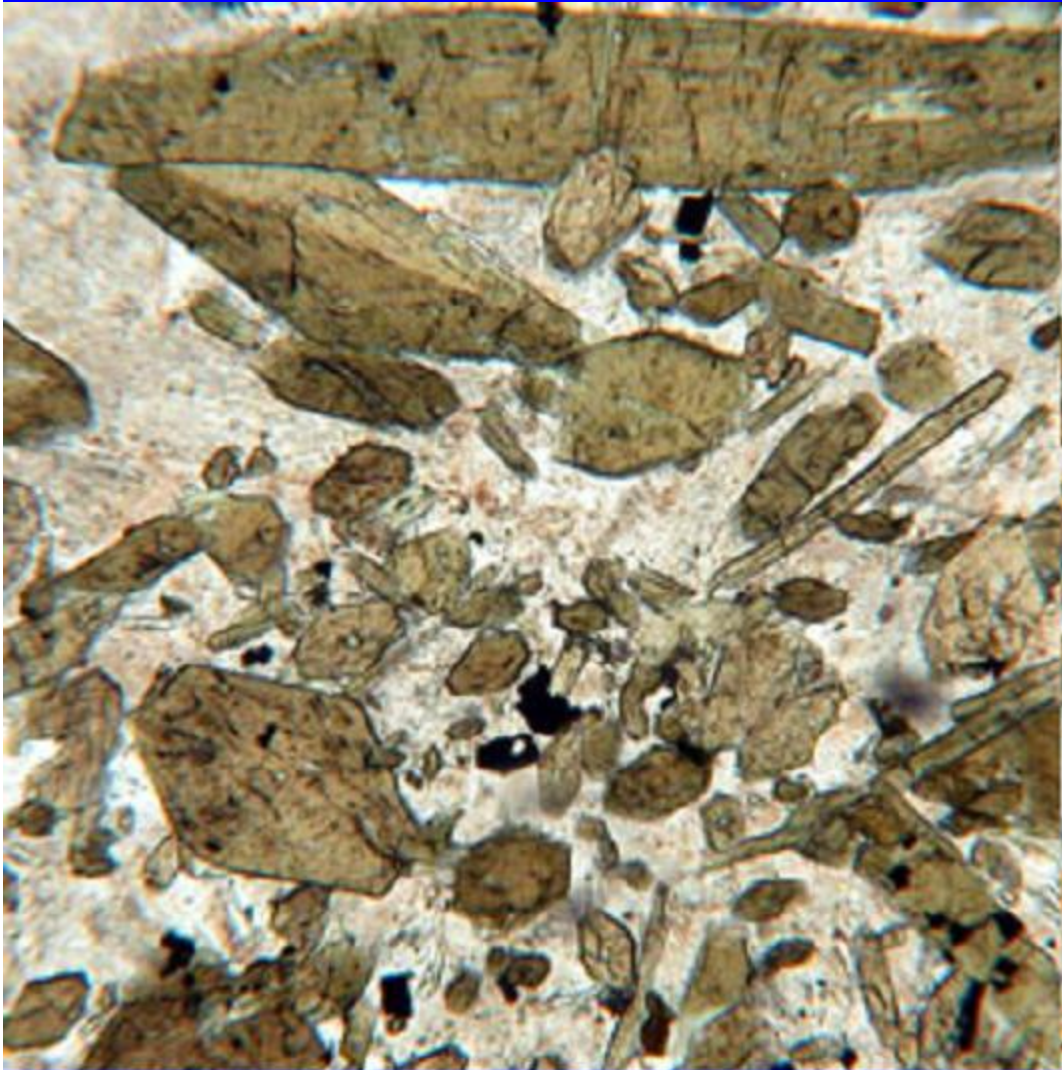
Εξαγωνική τομή β-χαλαζία
(εξαγωνικό)



Οκταγωνική τομή
πυροξένου (μονοκλινές)

Σε έναν ιδιόμορφο κρύσταλλο, οι περατωτικές γραμμές, συνήθως, συμπίπτουν με κρυσταλλογραφικές κατευθύνσεις. Συχνά οι περατωτικές γραμμές της τομής δείχνουν τη διεύθυνση των κρυσταλλογραφικών αξόνων.

Σε έναν ιδιόμορφο κρύσταλλο, οι περατωτικές γραμμές, συνήθως, συμπίπτουν με κρυσταλλογραφικές κατευθύνσεις. Συχνά οι περατωτικές γραμμές της τομής δείχνουν τη διεύθυνση των κρυσταλλογραφικών αξόνων.



Κεροστίλβη (Μονοκλινές (-))

Πρισματικές τομές // Z

Εξαγωνικές τομές \perp Z

Η μορφή του κρυστάλλου όπως φαίνεται στο δείγμα μακροσκοπικά και κατ'έκτιμηση ή όπως προκύπτει από πολλές τομές είναι βελονοειδής, πρισματική, ινώδης, φυλλώδης, κ.λπ. αλλά ένα ορυκτό μπορεί να εμφανίζει και περισσότερα σχήματα.

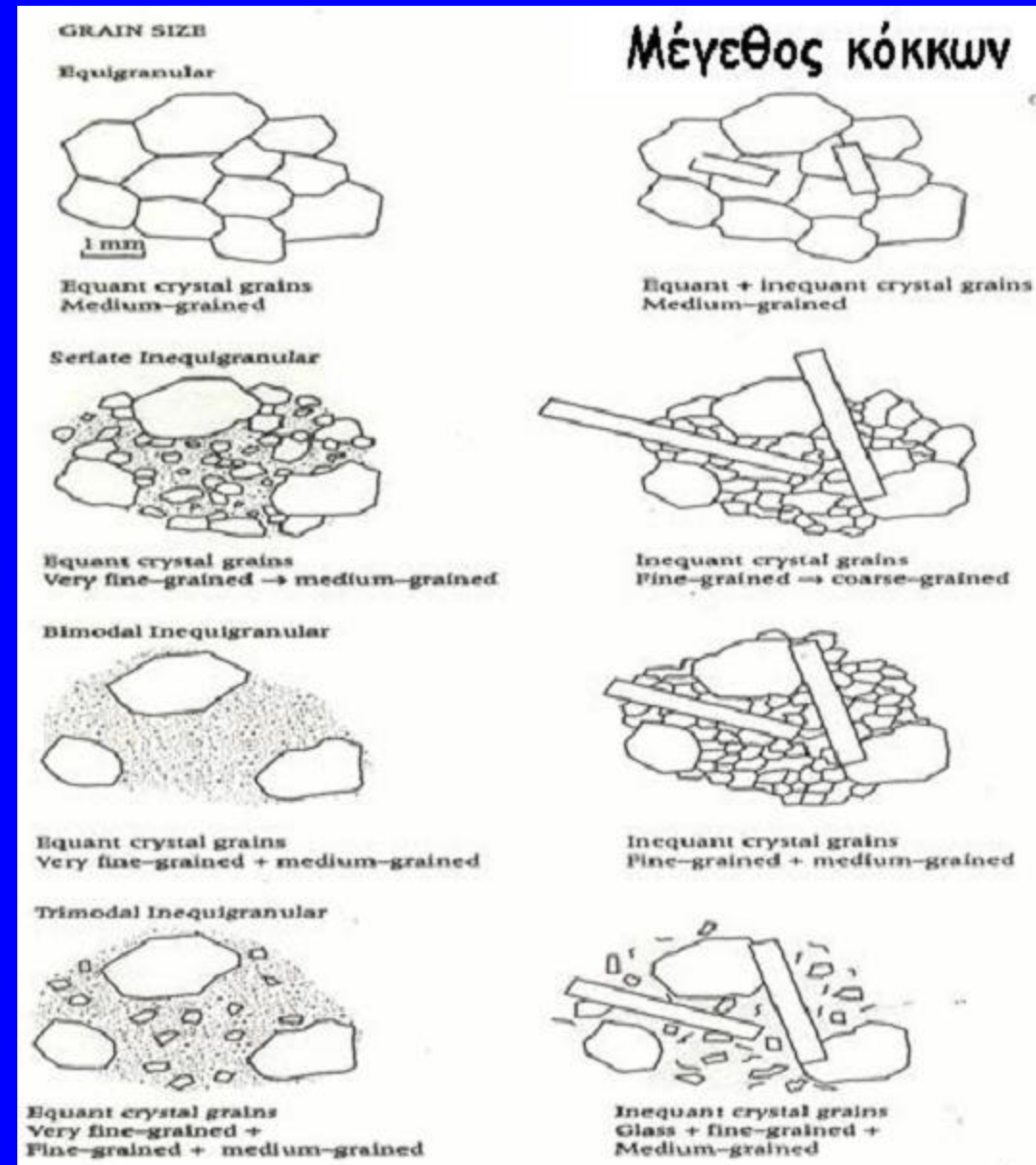
Οι μεγάλοι κρύσταλλοι σε ηφαιστειακά πετρώματα ονομάζονται Φαινοκρύσταλλοι (phenocrysts) ή Πορφυροβλάστες (porphyroblasts) σε μεταμορφωμένα πετρώματα ή

Μεγακρύσταλλοι (megacrysts) σε πυριγενή πετρώματα.

Υπάρχει επίσης μικροκρυσταλλική μάζα (groundmass) και άμορφη μάζα.

Ως προς το περίγραμμα οι κρύσταλλοι στη λεπτή τομή είναι ορθογώνιοι, τετράγωνοι, εξαγωνικοί, ρομβοειδείς ή κυκλικοί.

Ορυκτά σε λεπτή τομή:
Παρατηρείται το σχήμα, το μέγεθος και η ποσότητα των κρυσταλλικών κόκκων



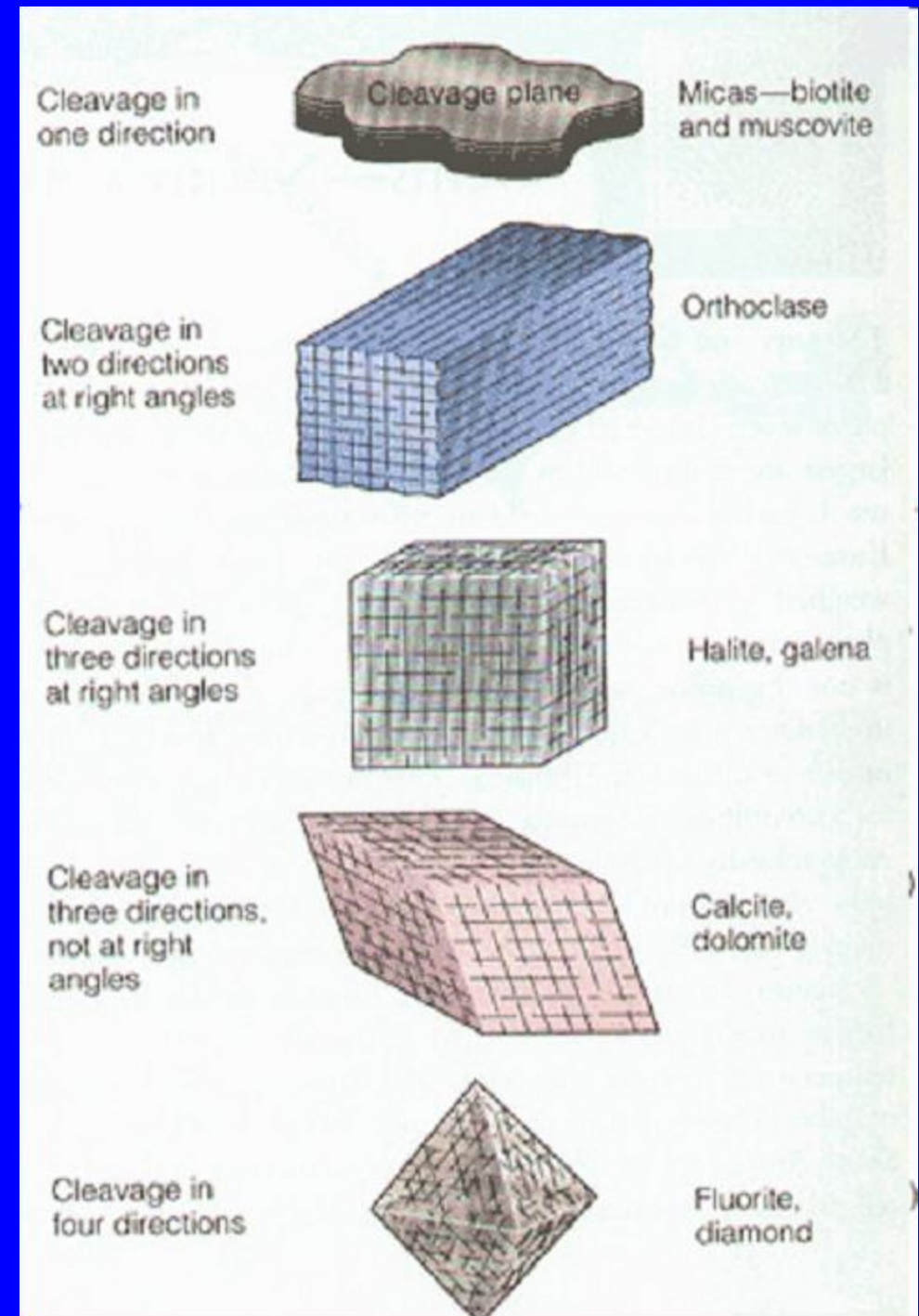
Σχισμός (cleavage)

Σχισμός είναι η ιδιότητα ενός ορυκτού να σπάζει ή να σχίζεται σε συγκεκριμένα επίπεδα, στα οποία η ατομική δομή του ορυκτού είναι ασθενής. Η ύπαρξη ή όχι σχισμού αποτελεί ορυκτοδιαγνωστικό στοιχείο.

Ο σχισμός συχνά παρατηρείται σαν σύνολο από σχισμές ή λωρίδες σε κάποια τομή ορυκτού. Είναι τα ίχνη των σχισμογενών επιπέδων.

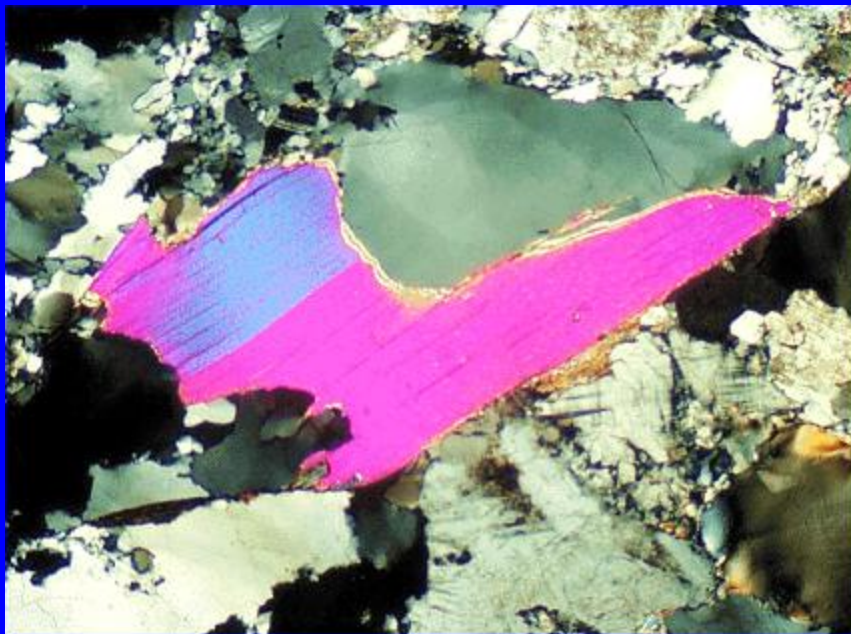
Τα σχισμογενή επίπεδα είναι σχεδόν πάντα παράλληλα με απλές κρυσταλλικές πλευρές, συμβολίζονται με κρυσταλλογραφικούς δείκτες π.χ. (100), (110) κ.λπ., και η παρουσία ή η απουσία του σχισμού σε συγκεκριμένες διευθύνσεις δυνατόν να αντανakλά τη συμμετρία του κρυστάλλου.

Αποτελεί μέσον προσανατολισμού κυρίως σε αλλοτριόμορφους κρυστάλλους.

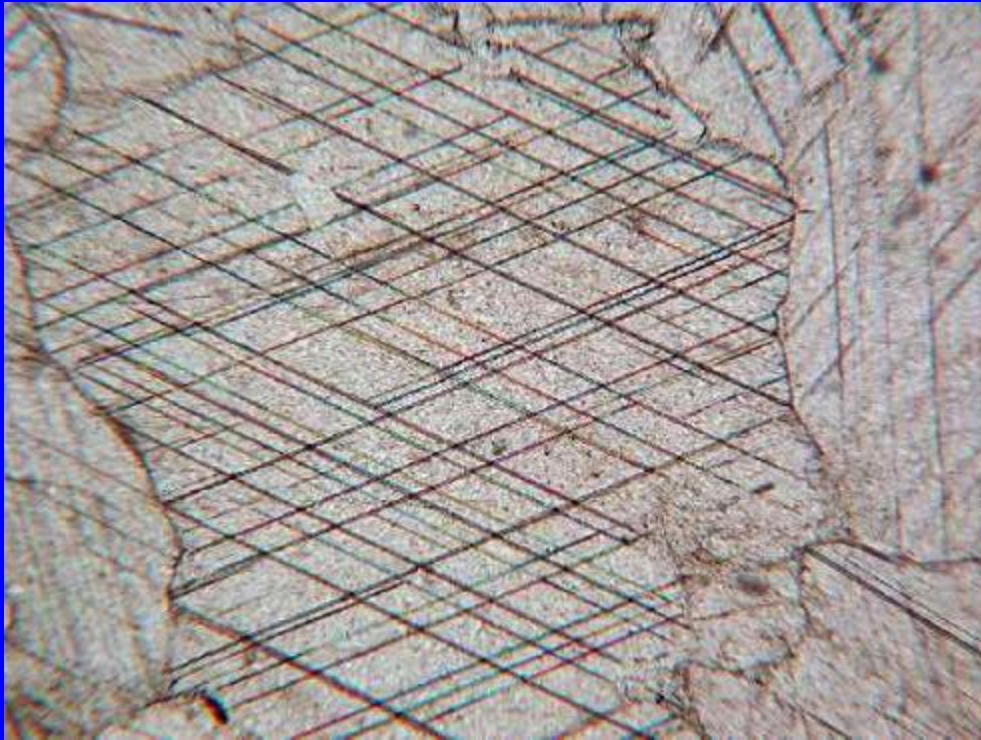




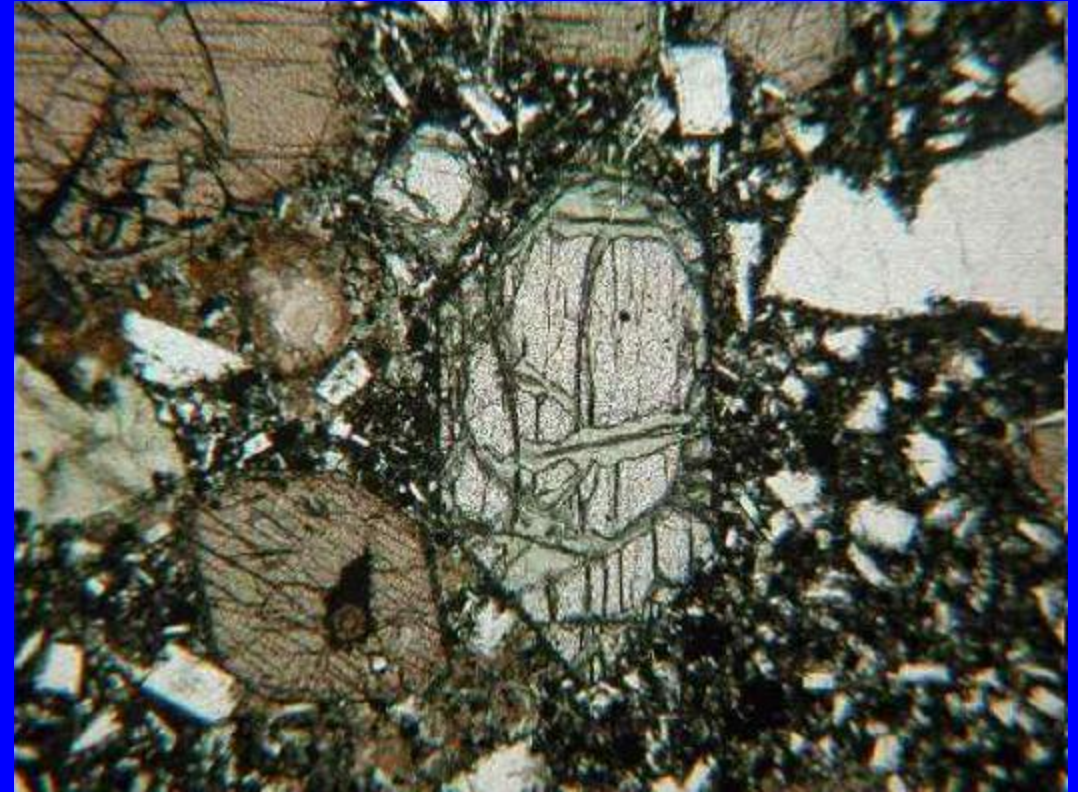
Ο σχισμός ανάλογα με την τελειότητα των σχισμογενών επιπέδων χαρακτηρίζεται ως: πολύ τέλειος, τέλειος, καλός, σαφής, ασαφής, ατελής. Μερικά ορυκτά δεν έχουν σχισμό (πχ. χαλαζίας, γρανάτες), άλλα έχουν ένα σχισμό (μαρμαρυγίες), δύο σχισμούς (πυρόξενοι αμφίβολοι), τρεις σχισμούς (ασβεστίτης) κλπ.



Τέλειος σχισμός
Μοσχοβίτη κατά (001)

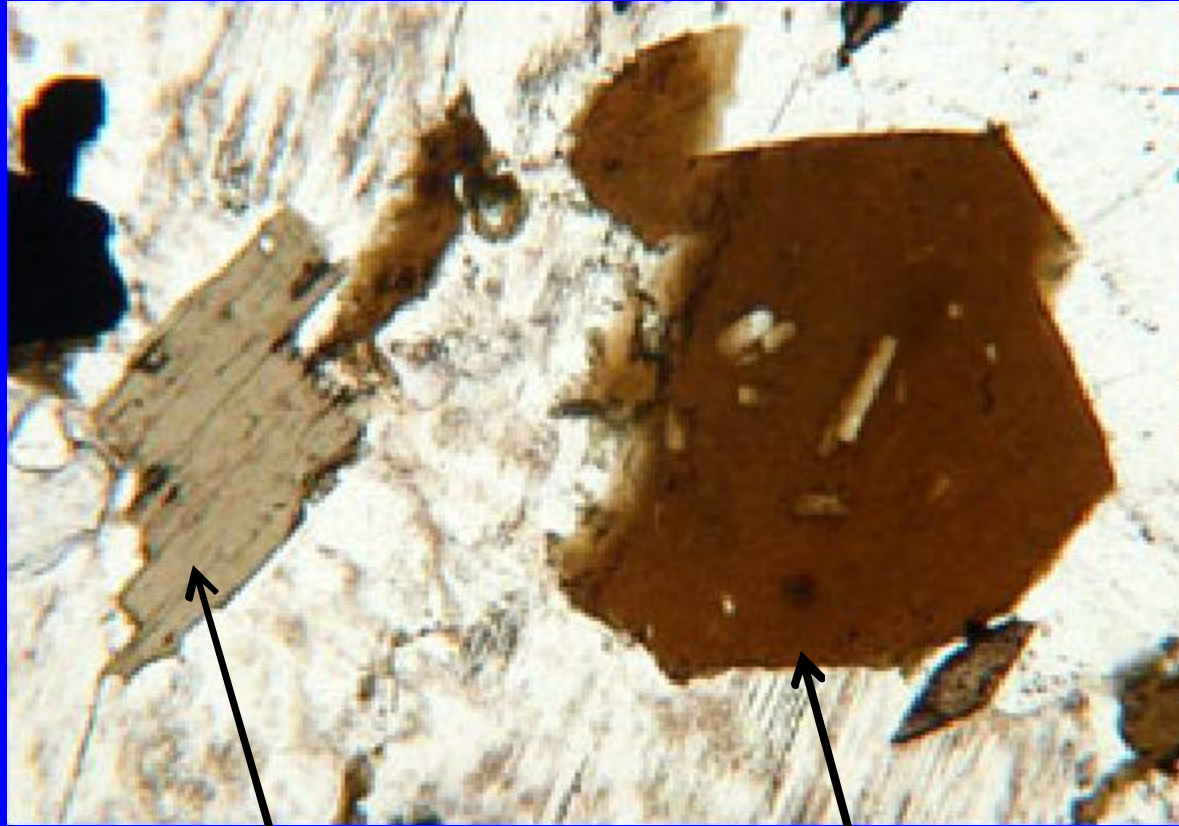


Τέλειος σχισμός
Ασβεστίτης
(ρομβοεδρικός 10-11).



Ατελής σχισμός
Ολιβίνης κατά (010).

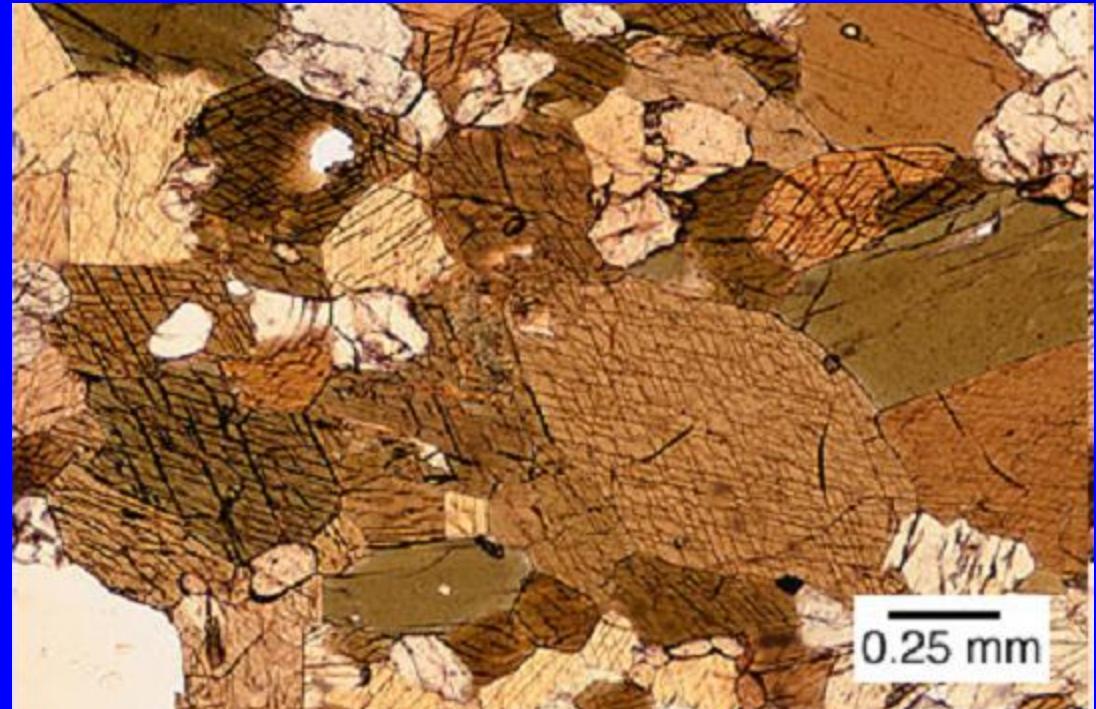
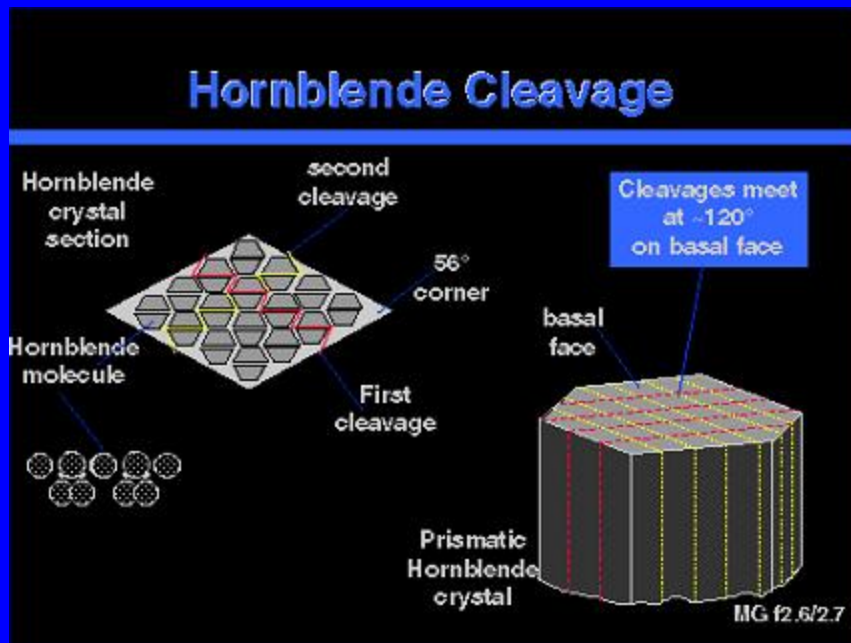
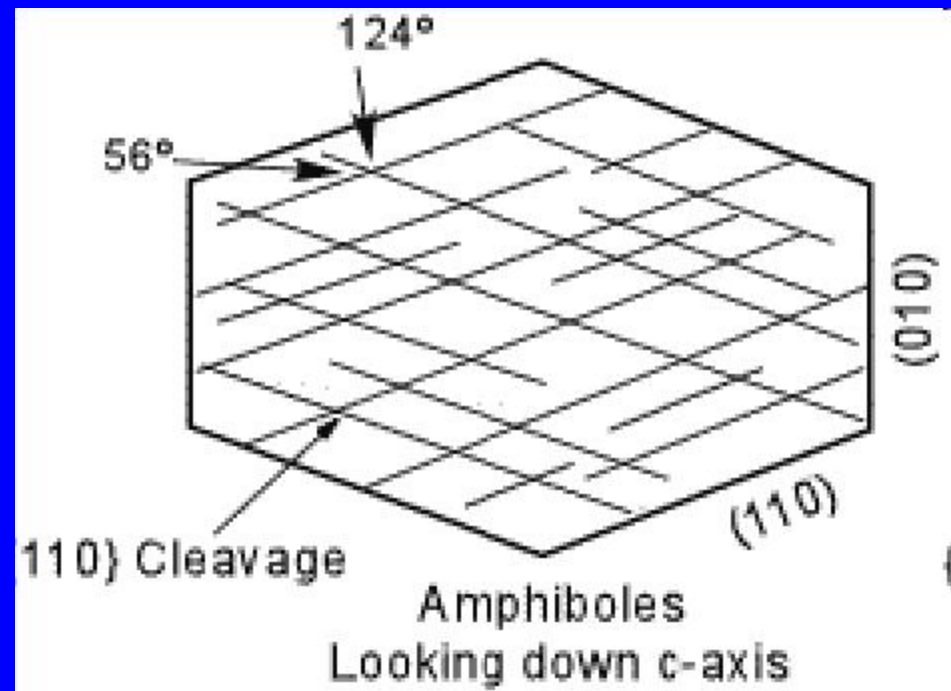
Σε μία τομή ορυκτού ο σχισμός φαίνεται ευκρινέστερα όταν αυτή είναι κάθετη στα σχισμογενή επίπεδα, ενώ δεν φαίνεται όταν είναι παράλληλη σε αυτά. Σε ενδιάμεση θέση ο σχισμός μπορεί να φαίνεται αχνά.



τομή βιοτίτη κάθετη στα σχισμογενή επίπεδα, όπου φαίνεται ο σχισμός

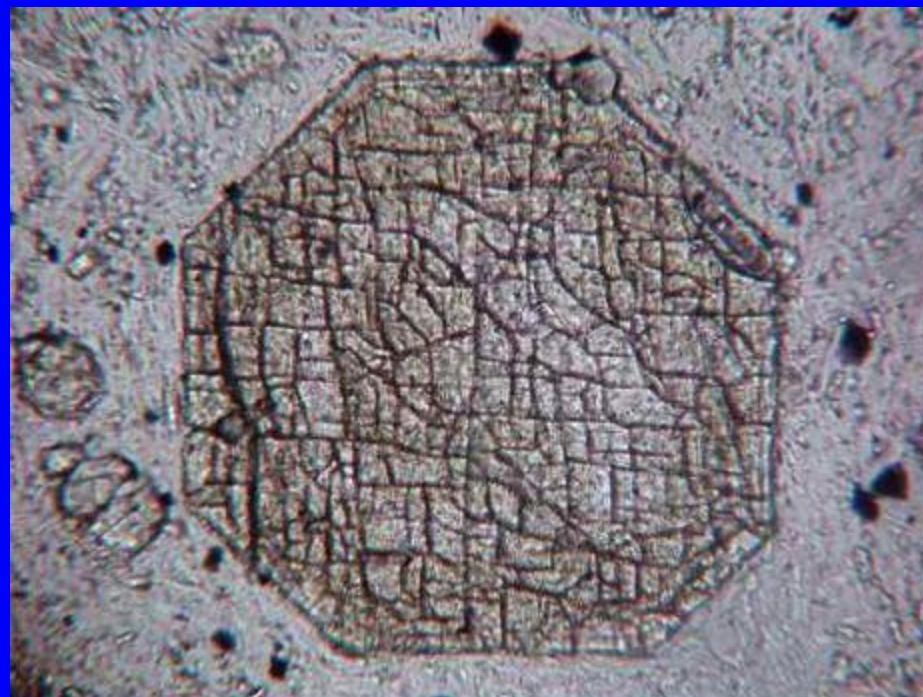
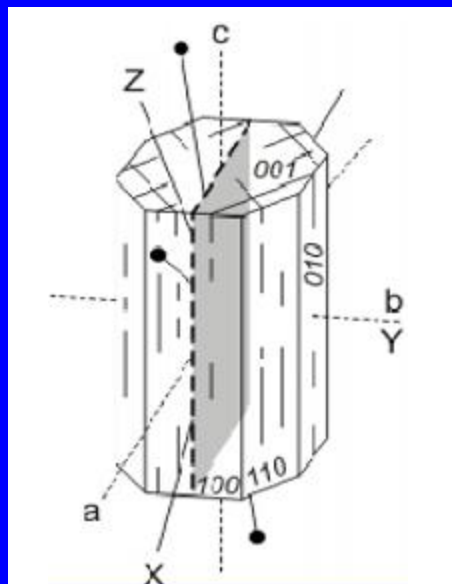
τομή βιοτίτη παράλληλα στα σχισμογενή επίπεδα, όπου δεν φαίνεται σχισμός

Αν το ορυκτό έχει περισσότερους από ένα σχισμούς τότε η γωνία μεταξύ τους συχνά είναι χαρακτηριστικό διαγνωστικό στοιχείο (πχ. πυρόξενοι - γωνία σχισμού 87° , αμφίβολοι - γωνία σχισμού 124°).



Διπλός σχισμός
Αμφιβόλων (γωνία σχισμού 124°).

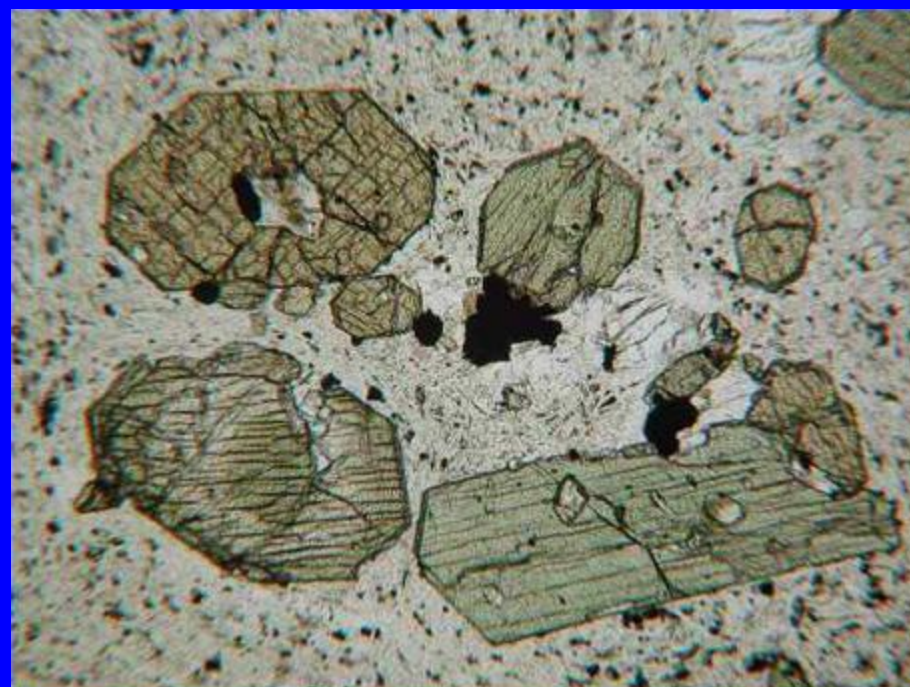
Διπλός σχισμός Πυροξένων (γωνία σχισμού 87°).



Ο αριθμός των σχισμών που φαίνονται σε μία τομή ορυκτού εξαρτάται από τον προσανατολισμό της. Οι πυρόξενοι έχουν δύο πρισματικούς σχισμούς παράλληλα στον άξονα c που τέμνονται με γωνία 87° .

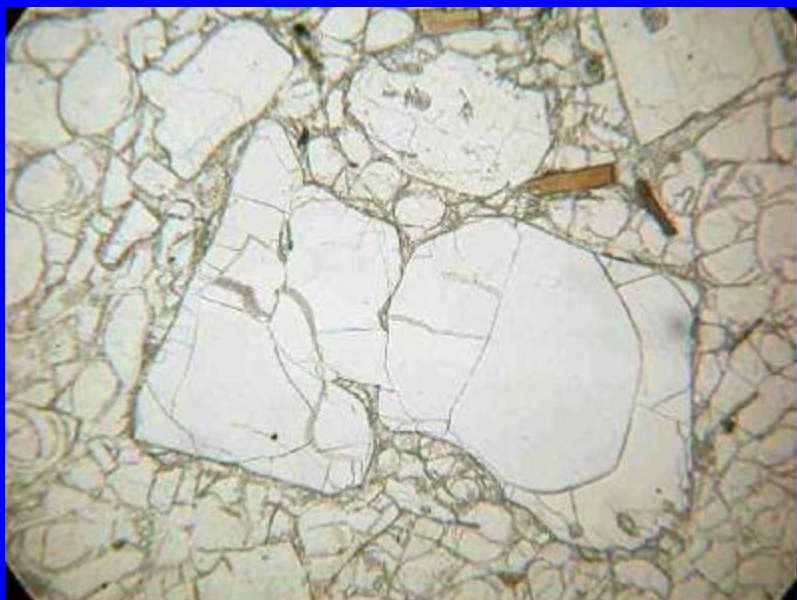
A. Οι τομές των πυροξένων κάθετα στο c εμφανίζουν δύο σχισμούς κάθετους μεταξύ τους.

B. Οι τομές των πυροξένων παράλληλα στο c εμφανίζουν ένα σχισμό, που δείχνει την κατεύθυνση του c .

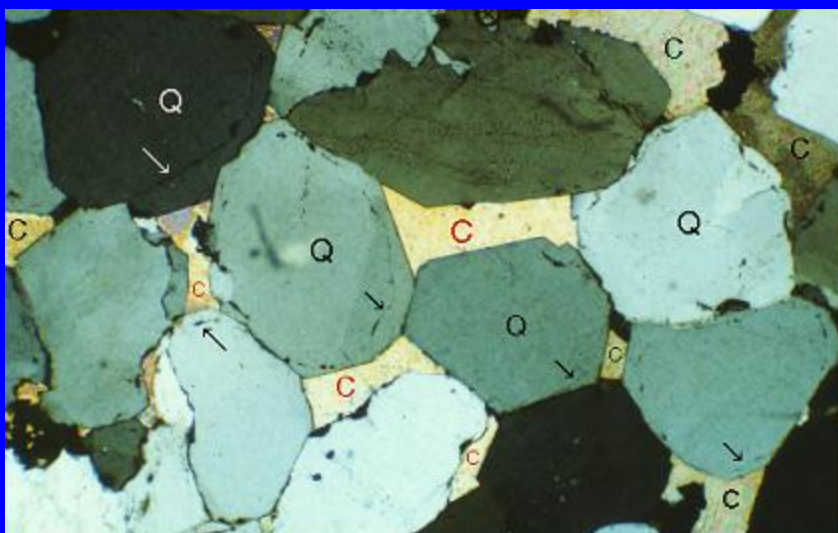


Θραυσμός (fracture)

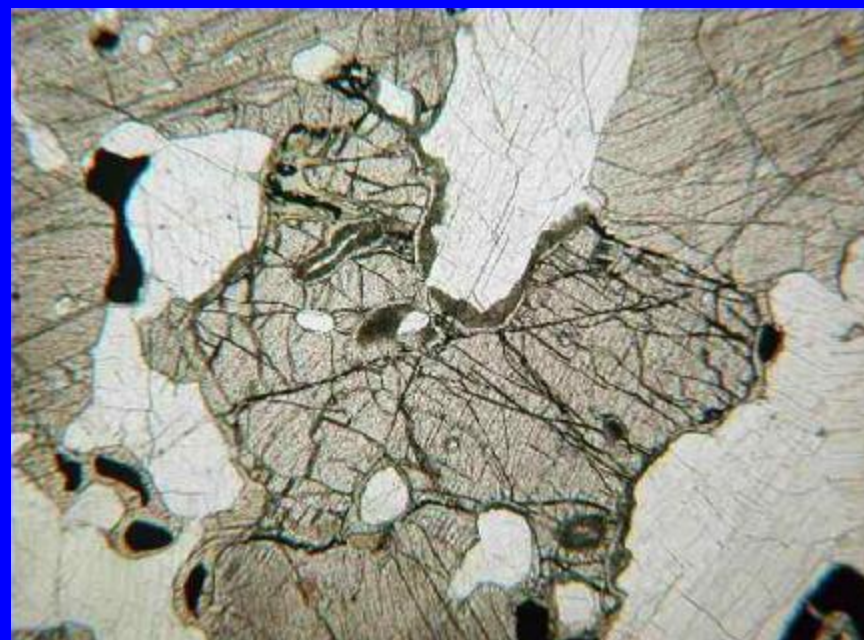
Είναι ο τρόπος που σπάζει το ορυκτό σε τυχαίες θέσεις και όχι παράλληλα όπως ο σχισμός ή ο αποχωρισμός (parting). Ο αποχωρισμός αναφέρεται σε επίπεδα διδυμίας ή ταινίες (lamellae) απομείξεως και είναι δυνατόν να δημιουργήσει σύγχυση με το σχισμό..



Θραυσμός (σπασίματα) Χαλαζίας



Χαλαζίας χωρίς θραυσμό



Θραυσμός (σπασίματα) ολιβίνη

ΑΝΑΓΛΥΦΟ -(relief)

Ο βαθμός σύγκρισης με τον οποίο ένας κόκκος ορυκτού εμφανίζεται να προεξέχει από το υλικό που τον περιβάλλει, είτε είναι το Βάλσαμο του Καναδά είτε είναι άλλο ορυκτό

Όταν εξετάζουμε ένα ορυκτό μπορούμε να έχουμε:

1. Ισχυρό (υψηλό) ανάγλυφο

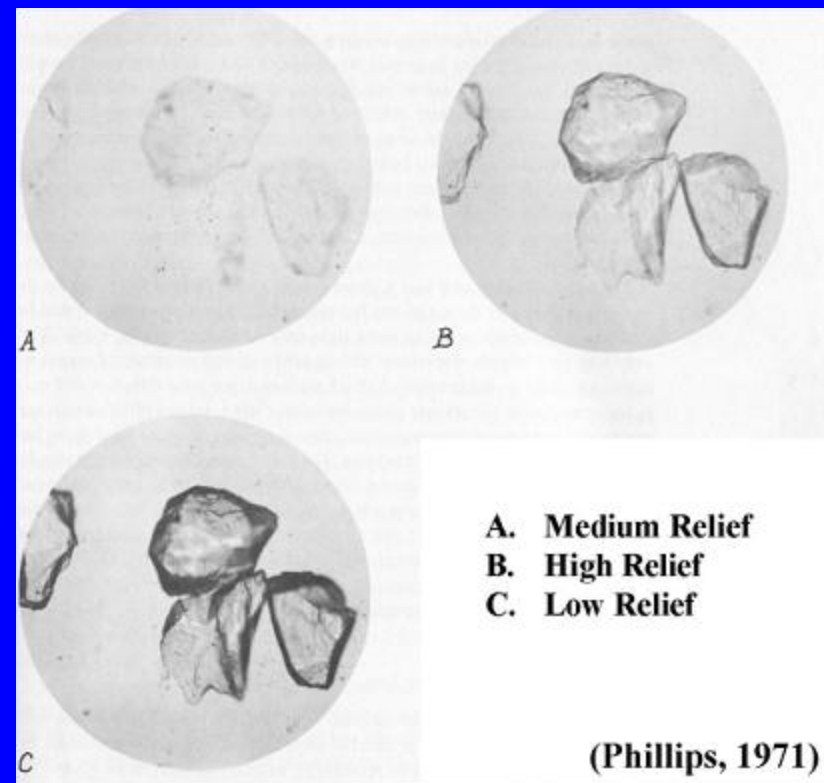
- Το ορυκτό προεξέχει έντονα από το υλικό συγκόλλησης της βάσης. Για ισχυρό ανάγλυφο οι δείκτες του ορυκτού και του περιβάλλοντος μέσου διαφέρουν το περισσότερο 0.12 RI μονάδες (δείκτη διάθλασης, δ.δ.).

2. Ενδιάμεσο ανάγλυφο (μέτριο)

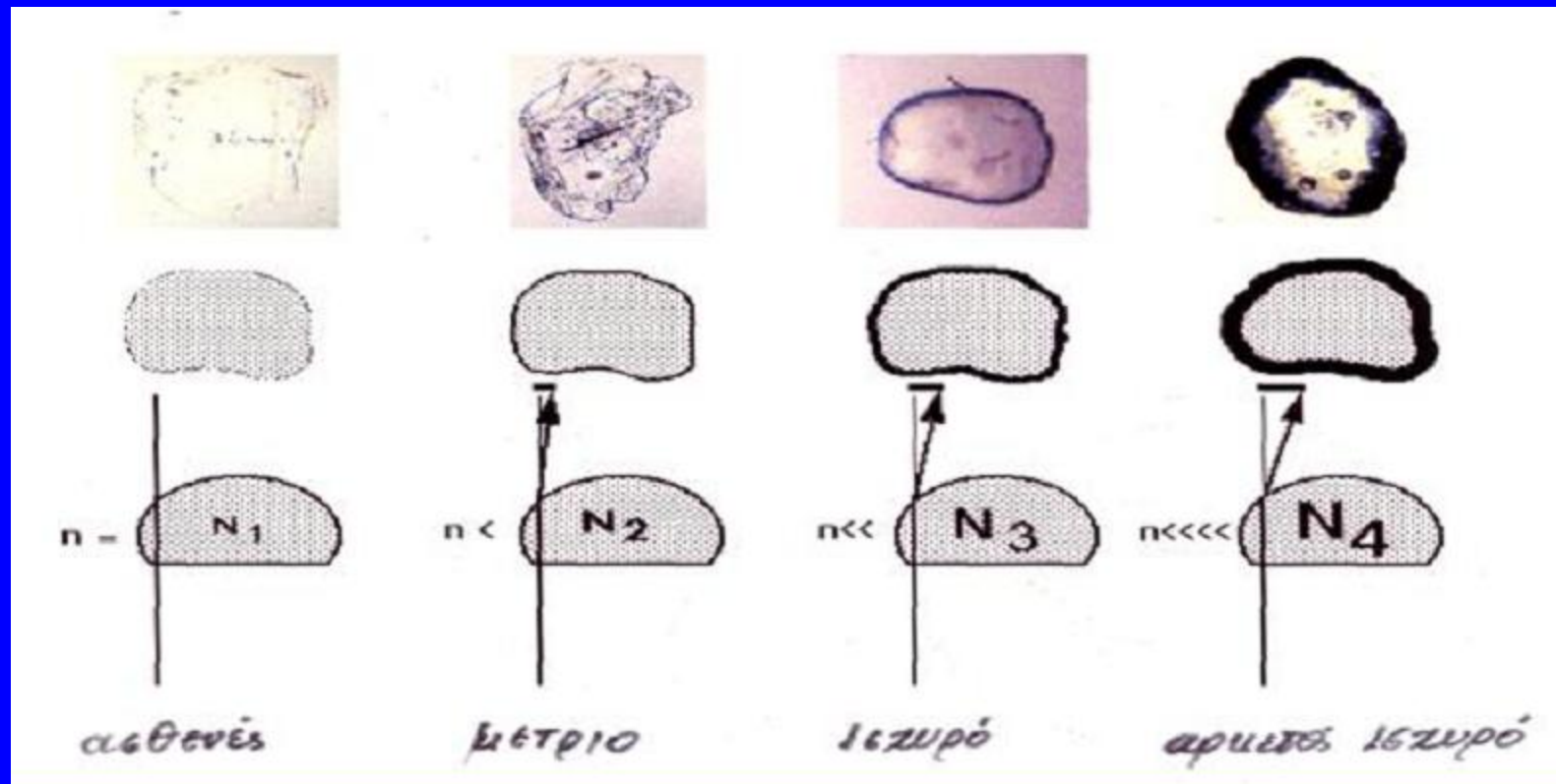
- Τα ορυκτά δεν προεξέχουν έντονα, αλλά είναι ακόμη ορατά. Οι δείκτες διαφέρουν από 0.04 έως 0.12 RI μονάδες.

3. Χαμηλό ανάγλυφο (ασθενές)

- Τα ορυκτά δεν προεξέχουν από το υλικό συγκόλλησης της βάσης. Οι δείκτες διαφέρουν ή είναι εντός των 0.04 RI μονάδων, ο ένας έναντι του άλλου.



ΑΝΑΓΛΥΦΟ - (relief)



Το **Ανάγλυφο** ενός ορυκτού παρατηρείται μόνο με πολωτή (Nicol's //). Το ανάγλυφο εξαρτάται από τη διαφορά των δεικτών διαθλάσεως ορυκτού-μέσου. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά, τα όριά του διαγράφονται εντονότερα και το ορυκτό ξεχωρίζει περισσότερο.

Ανάγλυφο (relief)

Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται σαν:

Θετικό, όταν οι δείκτες διάθλασης του ορυκτού $>1,54$ (βάλασμο Καναδά).

Αρνητικό, όταν οι δείκτες διάθλασης του ορυκτού $<1,54$ (βάλασμο Καναδά).

Ο παρακάτω πίνακας δίνει χονδρικά τη σχέση δεικτών διάθλασης και αναγλύφου.

Ανάγλυφο	Δείκτης διάθλασης	Παραδείγματα
Μέτριο (-)	1,4 - 1,5	Φθορίτης, Οπάλιος, Ζεόλιθοι
Χαμηλό (-)	1,5 - 1,54	Κ-άστριος, Αλβίτης, Λευκίτης, Νεφελίνης
Χαμηλό (+)	1,54 - 1,6	Χαλαζίας, Πλαγιόκλαστο, Σερπεντίνης
Μέτριο (+)	1,6 - 1,7	Μαρμαρυγίες, Τάλκης, Χλωρίτης, Απατίτης
Ψηλό (+)	1,7 - 1,8	Ολιβίνης, Πυρόξενοι, Επίδοτο, Κυανίτης
Πολύ ψηλό (+)	$>1,8$	Γρανάτης, Τιτανίτης, Ζιρκόνιο

Ανάγλυφο



Γρανάτης (πολύ υψηλό),
Μοσχοβίτης (Μέτριο),
Χαλαζίας (χαμηλό)



Τιτανίτης (πολύ υψηλό),
Επίδοτο (υψηλό),
Βιοτίτης, Απατίτης (μέτριο),
Χαλαζίας,
Άστριοι (χαμηλό)

Γραμμή Becke

Η μέθοδος της Γραμμής Becke χρησιμοποιείται για να προσδιορίσουμε το σχετικό δείκτη διάθλασης ενός ορυκτού δηλ. εάν ο δείκτης διάθλασης ενός ορυκτού είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος από το δείκτη του υλικού της βάσης (βάλαμο του Καναδά: 1,54) ή από το δείκτη του γειτονικού του κρυστάλλου.

Η Γραμμή Becke είναι μία λεπτή φωτεινή γραμμή στα όρια ενός ορυκτού, όταν αυτό έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης από το μέσο που το περιβάλλει. Το μέσο είναι η συγκολλητική ουσία (βάλαμο Καναδά) ή/και τα γειτονικά ορυκτά.

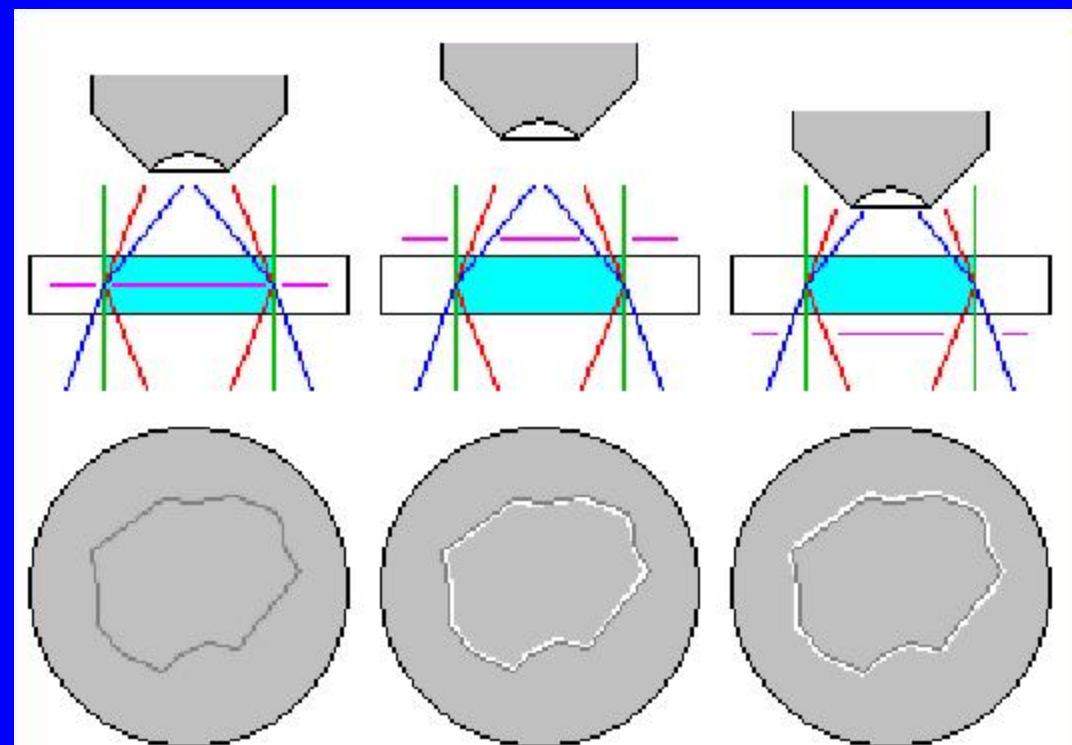
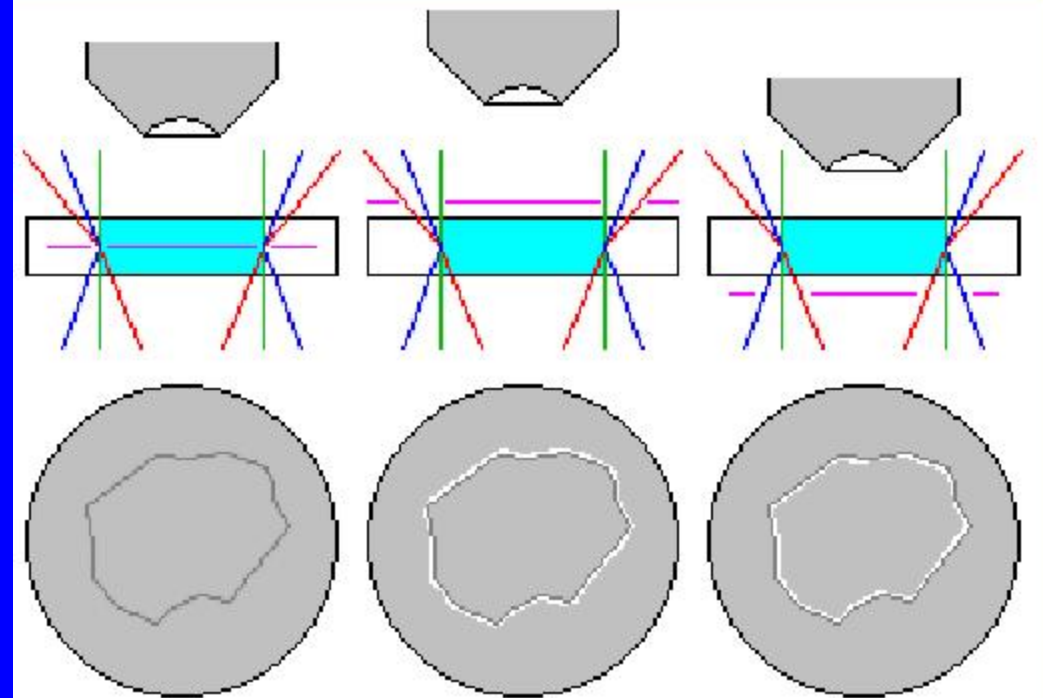
Η γραμμή Becke πρέπει να κινείται μέσα ή έξω από τον κόκκο του ορυκτού κατά την απομάκρυνση της τράπεζας.

Για να παρατηρήσουμε τη γραμμή Becke

1. χρησιμοποιούμε μεσαίο ή ισχυρό φακό
2. κλείνουμε το διάφραγμα
3. απομακρύνουμε τη τράπεζα (ορυκτό ελαφρώς ανεστίαστο)

Κατεβάζοντας τη τράπεζα δηλ. αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ του δείγματος και του αντικειμενικού φακού, η γραμμή Becke εμφανίζεται να κινείται προς το υλικό με τον υψηλότερο δείκτη διάθλασης.

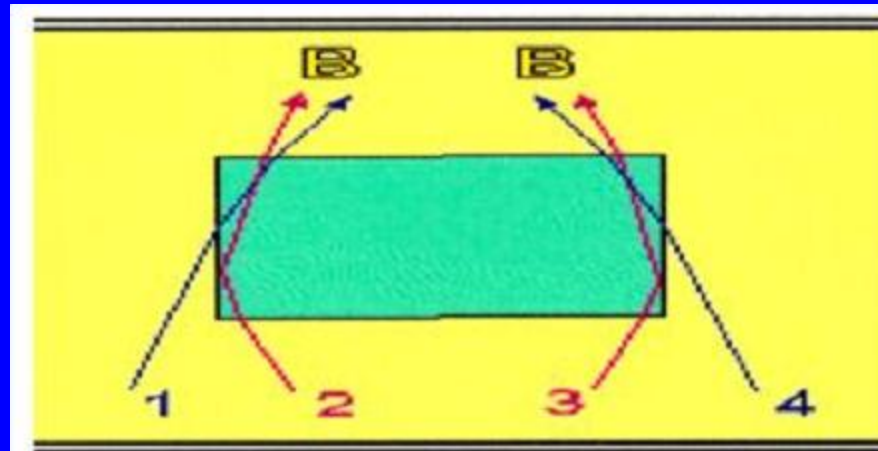
Οι γραμμές Becke που παρατηρούνται ερμηνεύονται ως να παρήχθησαν σαν αποτέλεσμα εσωτερικής (ολικής) ανακλάσεως ή διαθλάσεως.



Εσωτερική (Ολική) Ανάκλαση και Διάθλαση

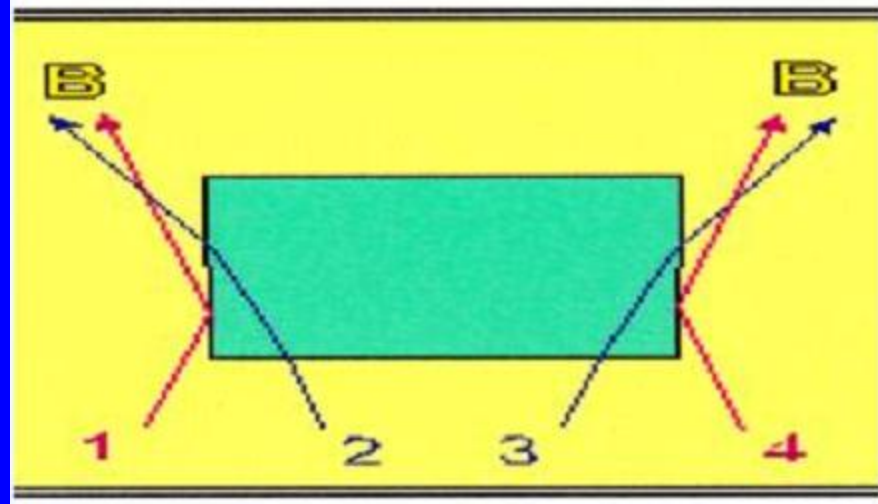
Το φως κτυπώντας το όριο του κόκκου, είτε διαθλάται ή ανακλάται εσωτερικά, εξαρτώμενο από τις γωνίες προσπτώσεως ή τους δείκτες διάθλασης.

Αποτέλεσμα της διαθλάσεως ή εσωτερικής ανακλάσεως είναι να συγκεντρώνεται φως σε λεπτή ζώνη μέσα στο υλικό με υψηλότερο δείκτη διάθλασης.



Εάν ο n του ορυκτού $>$ n βάλαμου

η ζώνη του φωτός είναι συγκεντρωμένη εντός του κόκκου.

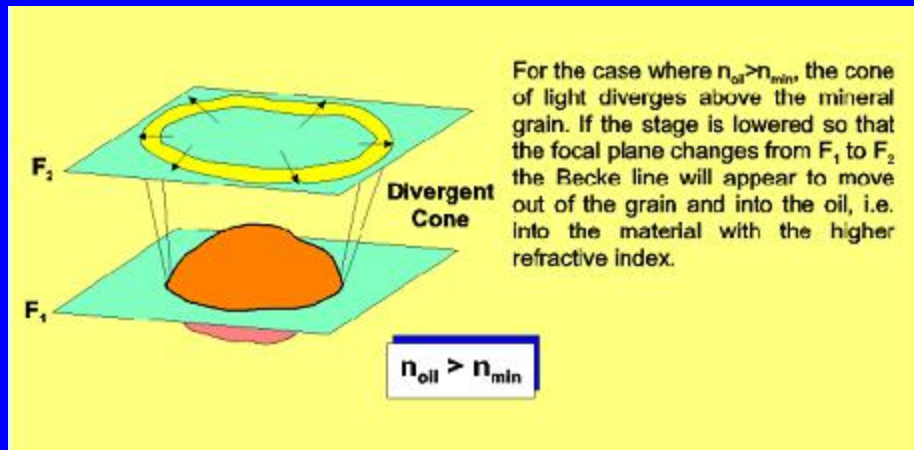


Εάν ο n του ορυκτού $<$ n βάλαμου

η ζώνη του φωτός είναι συγκεντρωμένη εκτός του κόκκου.

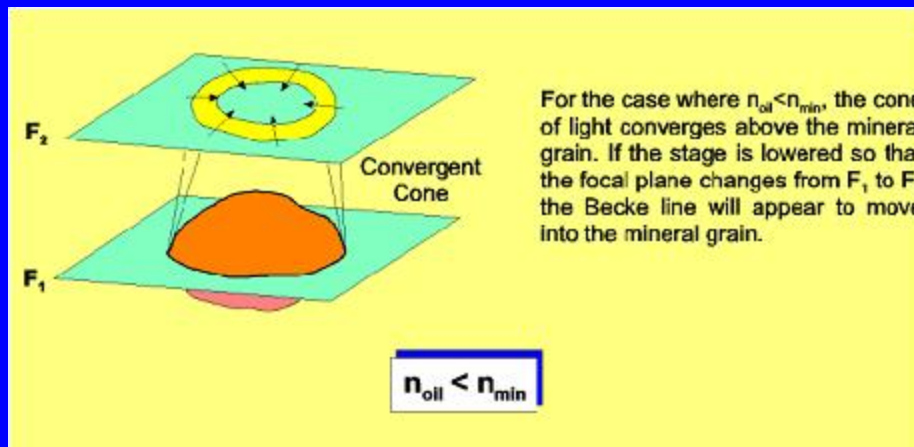
Μετακίνηση Γραμμής Becke

Ο σχηματισμός της γραμμής Becke στηρίζεται εκτός από το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης, και στο φαινόμενο των φακών. Οι περισσότεροι κόκκοι των ορυκτών είναι λεπτότεροι στα άκρα απ' ότι στο κέντρο έτσι ώστε να συμπεριφέρονται ως φακοί. Τόσο το φαινόμενο των φακών όσο και της ολικής ανάκλασης τείνουν να συγκεντρώνουν το φως μέσα στο υλικό με το μεγαλύτερο δ.δ. στα όρια του ορυκτού σχηματίζοντας ένα φωτεινό κωνικό δακτύλιο.



Εάν ο n του ορυκτού < n βαλσάμου,

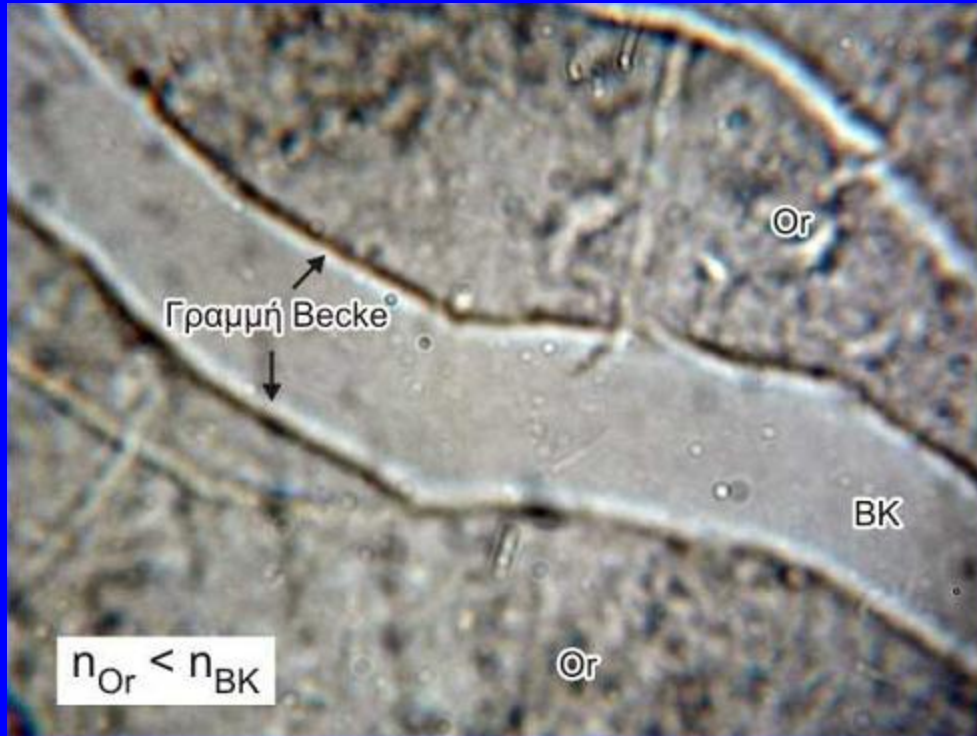
ο κώνος αποκλίνει πάνω από το ορυκτό



Εάν ο n του ορυκτού > n βαλσάμου,

ο κώνος συγκλίνει πάνω από το ορυκτό

Γραμμή Becke



Παρατηρείται μόνο με πολωτή (Nicols //): Κατεβάζοντας τη τράπεζα δηλ. αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ του δείγματος και του αντικειμενικού φακού, η γραμμή Becke εμφανίζεται να κινείται προς το υλικό με τον υψηλότερο δείκτη διάθλασης.

Χρώμα

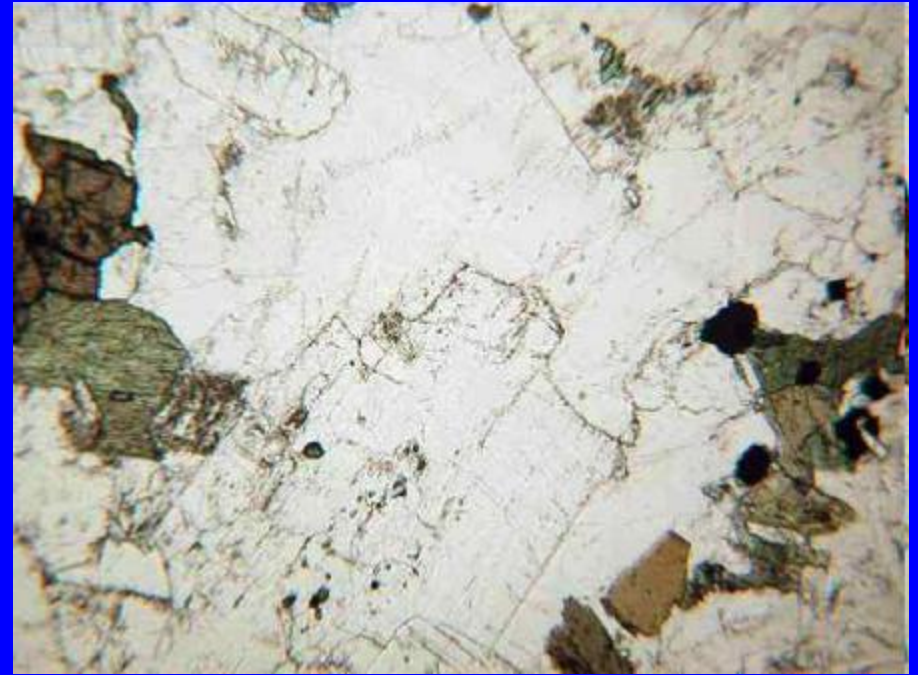
- Το χρώμα λεπτής τομής ενός ορυκτού εμφανίζεται μόνο με πολωτή.
- Τα ορυκτά εμφανίζονται ως άχρωμα ή λευκά (χαλαζίας, άστριοι, ολιβίνης) ή έγχρωμα (κεροσίλβη-πράσινη, βιοτίτης-καστανός, γλαυκοφανής-κυανός).
- Το χρώμα ενός ορυκτού στο μικροσκόπιο μπορεί να είναι διαφορετικό από το χρώμα του μακροσκοπικά (πχ. πυρόξενος, μαύρο-μακροσκοπικά, άχρωμο έως ελαφρά χρωματισμένο-μικροσκοπικά).

Το λευκό φως αποτελείται από ακτινοβολίες με διάφορα μήκη κύματος ($\lambda=380-780\text{nm}$) και διάφορα χρώματα (ιώδες, κυανό, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί ερυθρό).

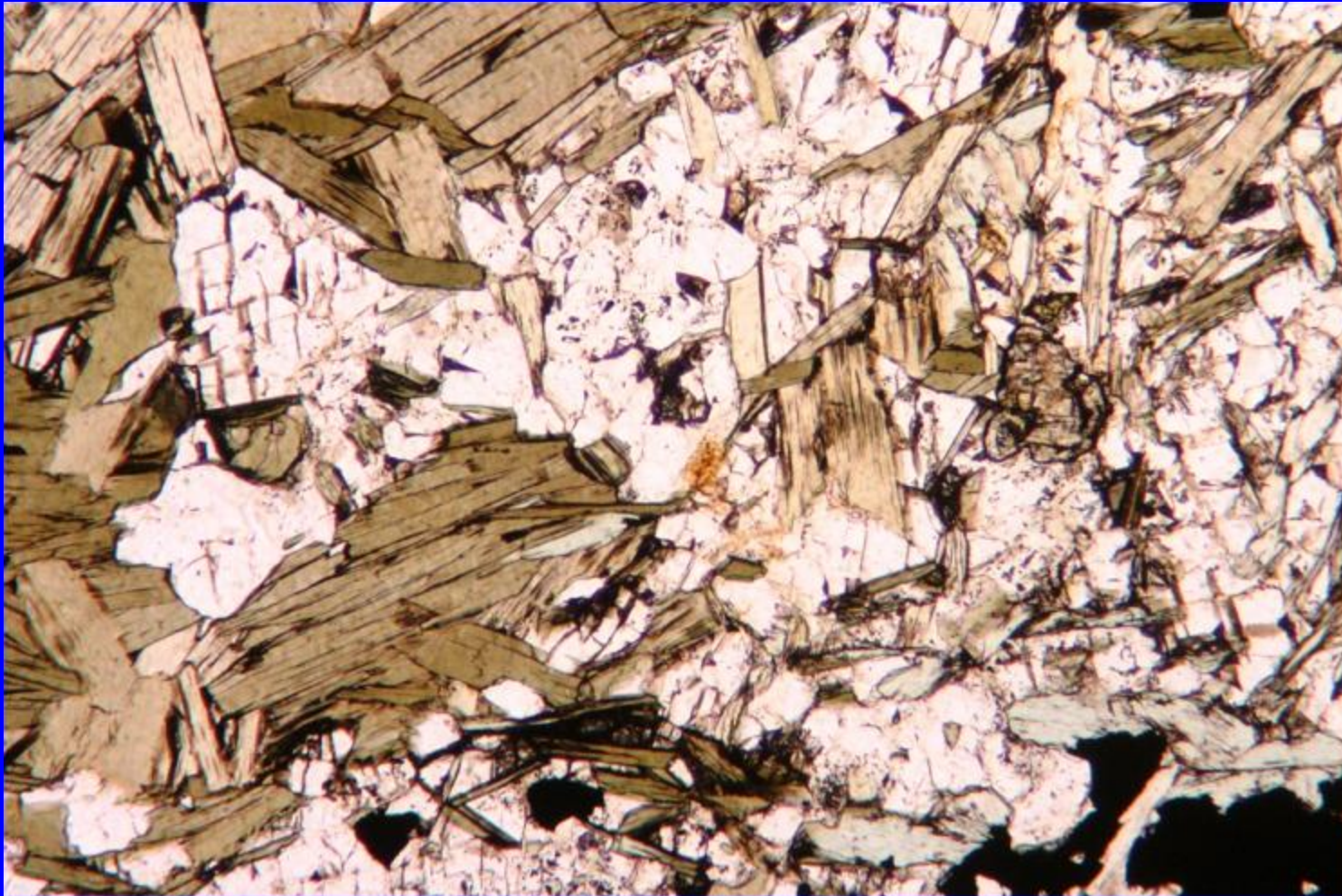
Τα λευκά ή άχρωμα ορυκτά (πχ. χαλαζίας) επιτρέπουν να διέλθουν όλες οι ακτινοβολίες με αποτέλεσμα το λευκό χρώμα.

Τα έγχρωμα ορυκτά (π.χ. πράσινη κερροσίλβη) απορροφούν κάποιες ακτινοβολίες και επιτρέπουν να διέλθουν οι υπόλοιπες, οι οποίες συνθέτουν κάποιο χρώμα διαφορετικό του λευκού.

Τα αδιαφανή ορυκτά (π.χ. μεταλλικά ορυκτά) απορροφούν όλες τις ακτινοβολίες με αποτέλεσμα το ορυκτό να εμφανίζεται μαύρο.

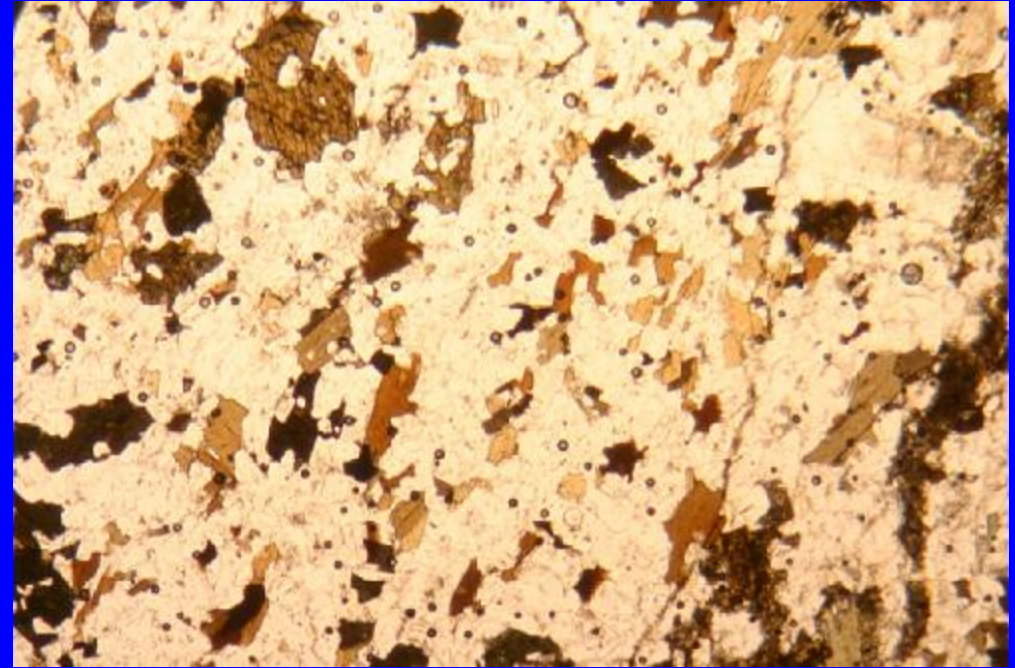
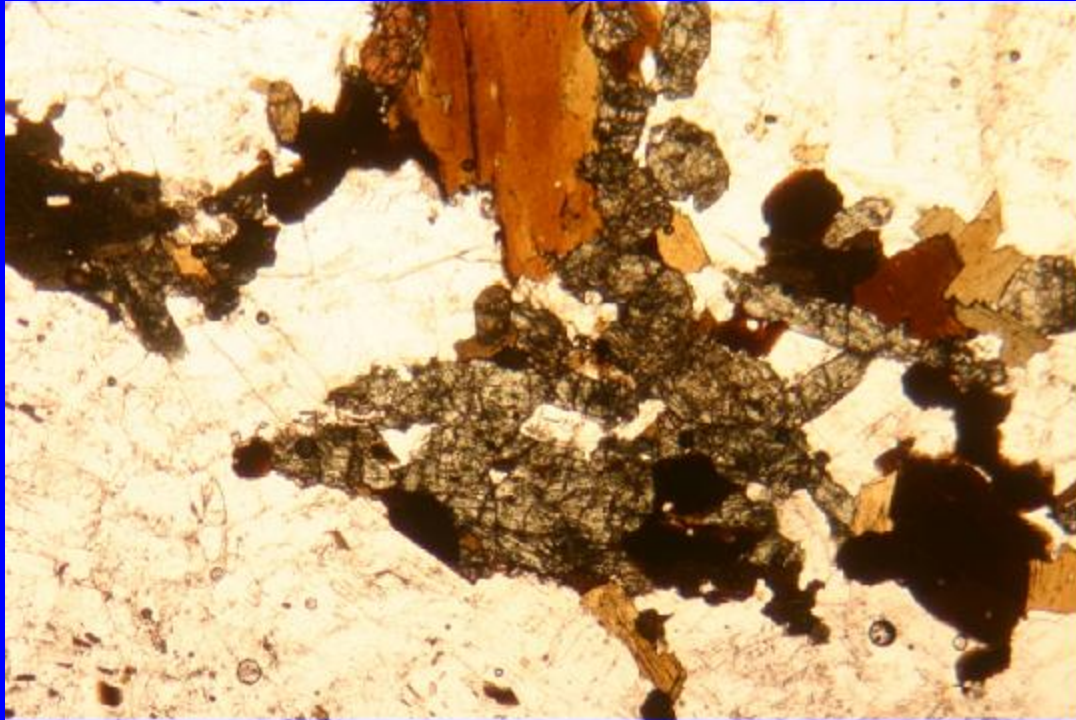


Έγχρωμα - Αχρωμα ορυκτά (Nicols //)



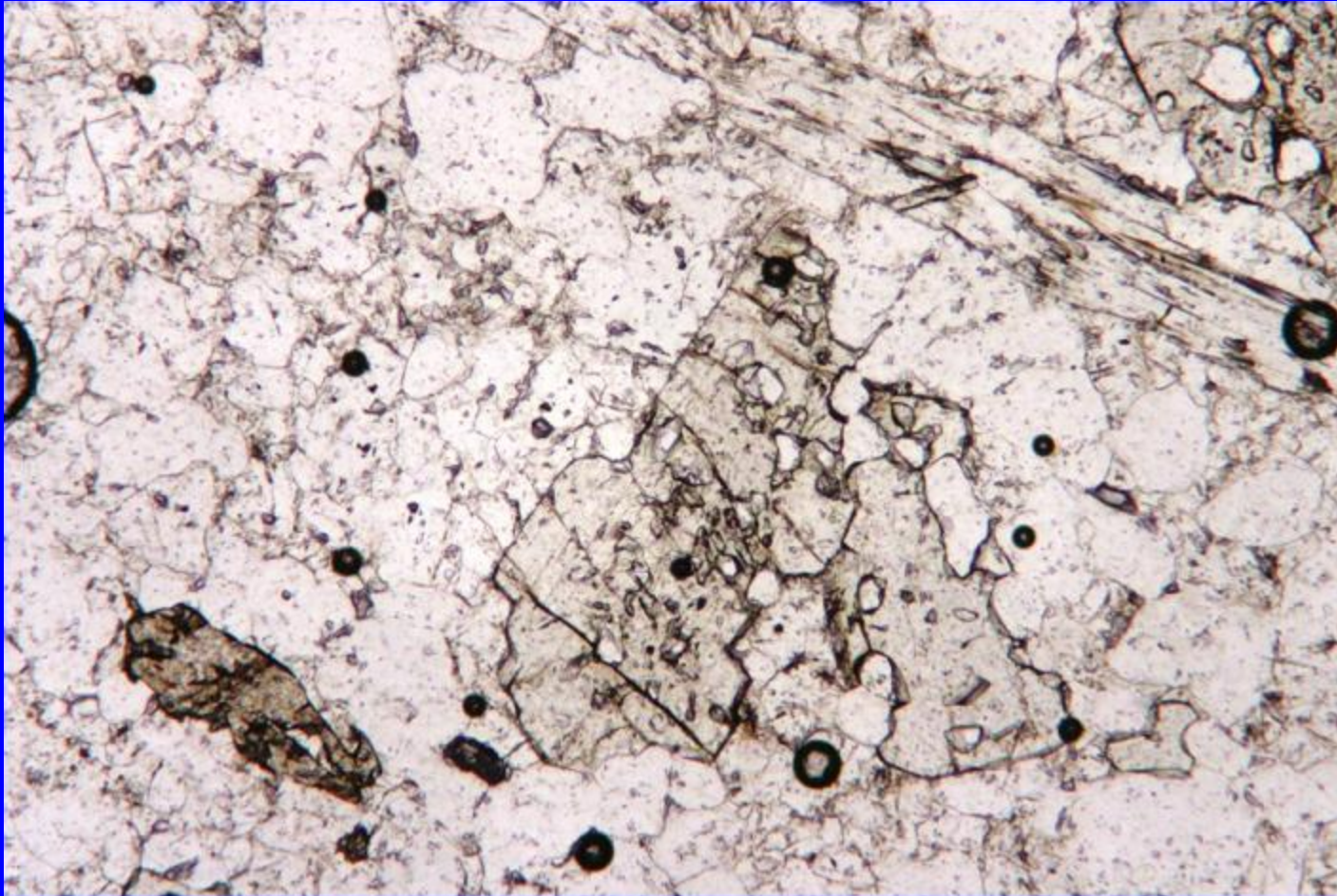
Βιοτίτης (καστανός-πράσινος)
Πλαγιόκλαστο (Αχρωμο)

Έγχρωμα - Αχρωμα ορυκτά (Nicols //)



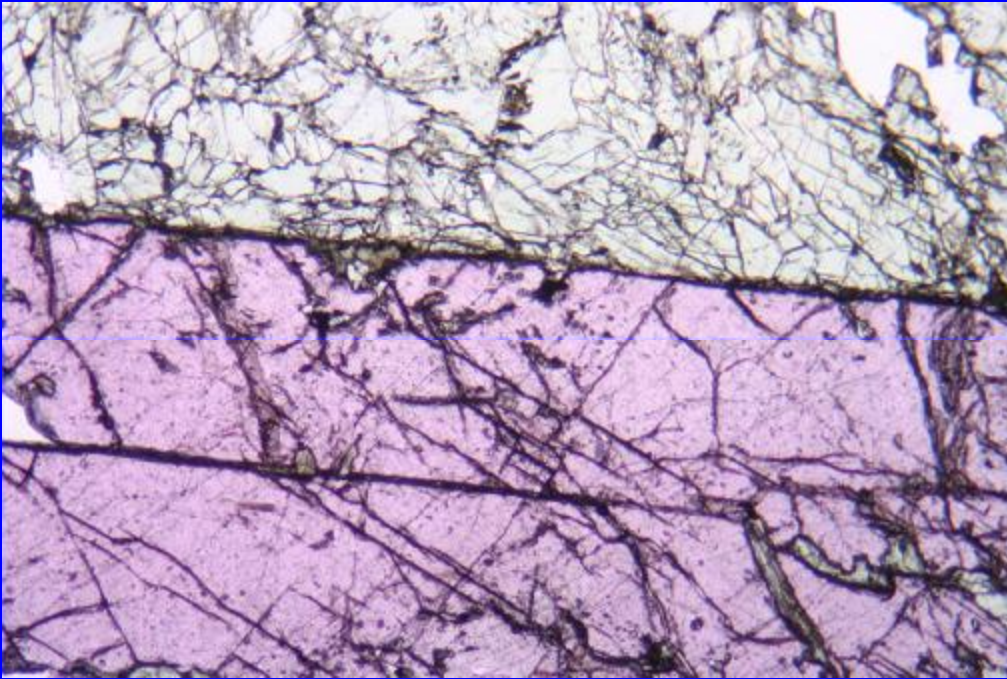
Βιοτίτης (καστανός) - Κεροσίλβη (πράσινη)
Πλαγιόκλαστο (Αχρωμο)

Έγχρωμα - Αχρωμα ορυκτά (Nicols //)

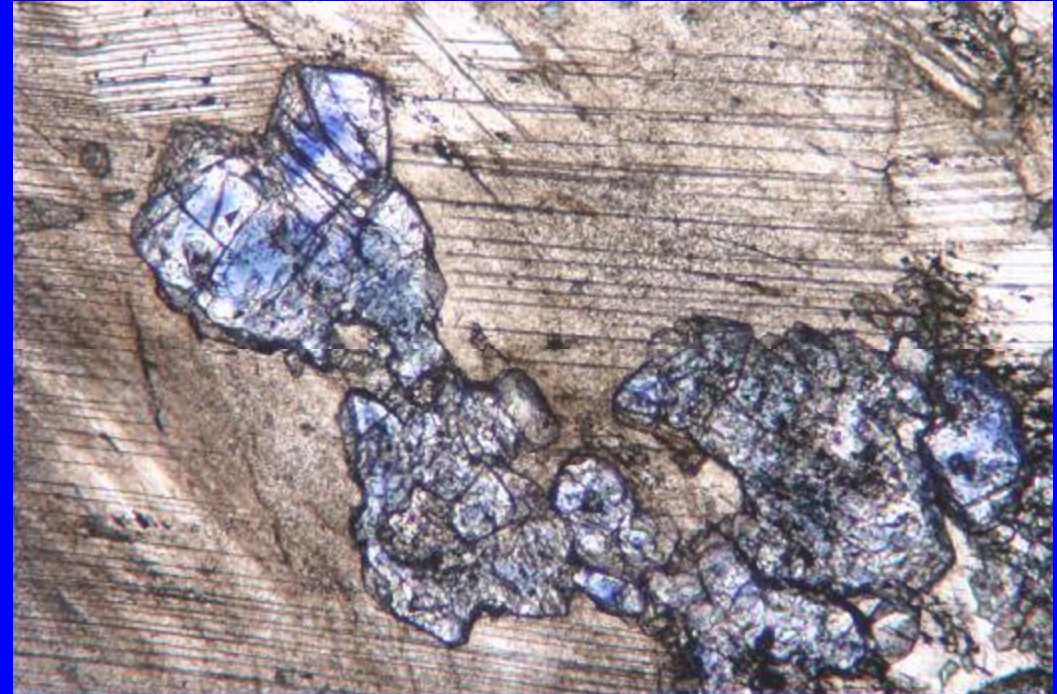


Τιτανίτης (καστανός) - Επίδοτο (ανοιχτό πράσινο)
Μοσχοβίτης και χαλαζίας (Αχρωμα)

Έγχρωμα- Αχρωμα ορυκτά (Nicols //)

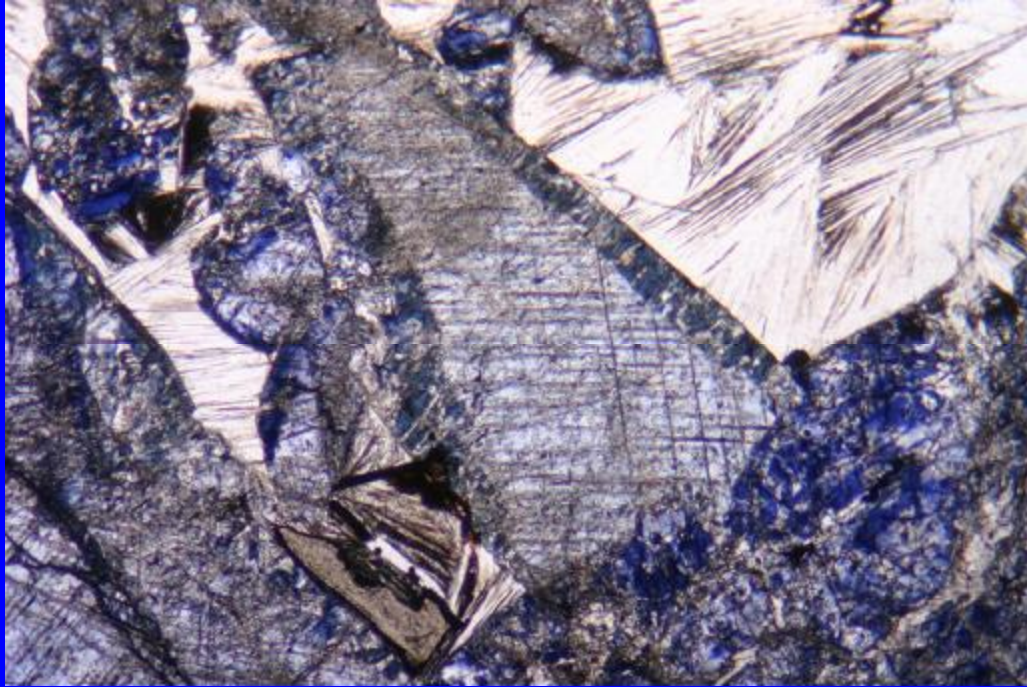


Κορούνδιο - ποικιλία ρουμπίνι (κόκκινο)
Αμφίβολος (πράσινο)

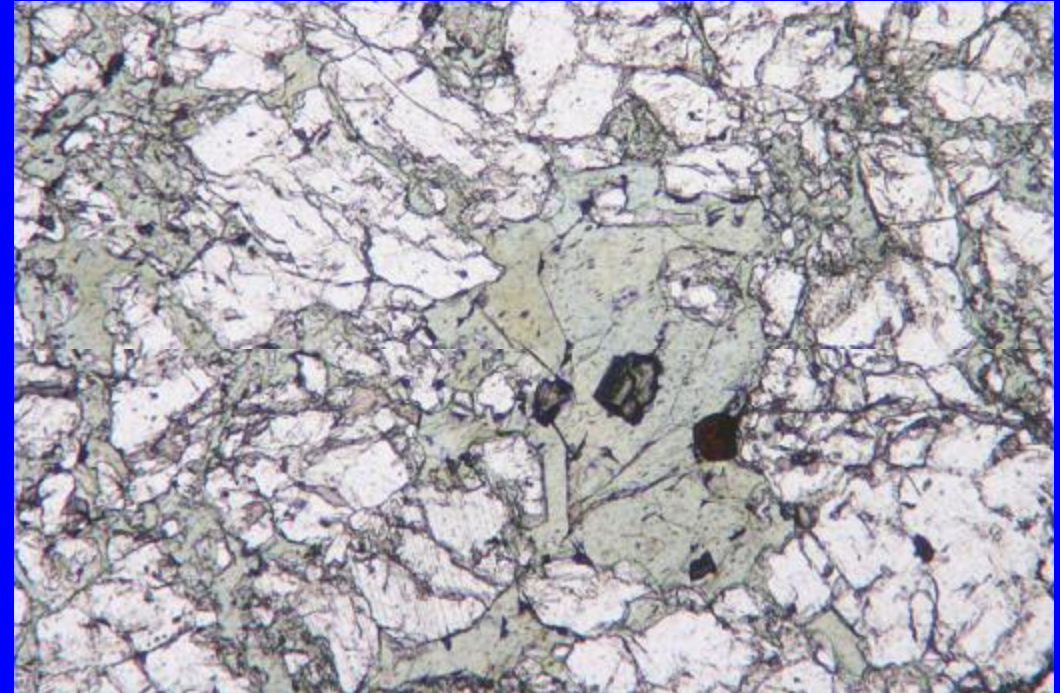


Κορούνδιο - ποικιλία
ζαφείρι (κυανό)
Ασβεστίτης (άχρωμο)

Εγχρωμα - Άχρωμα ορυκτά (Nicols //)

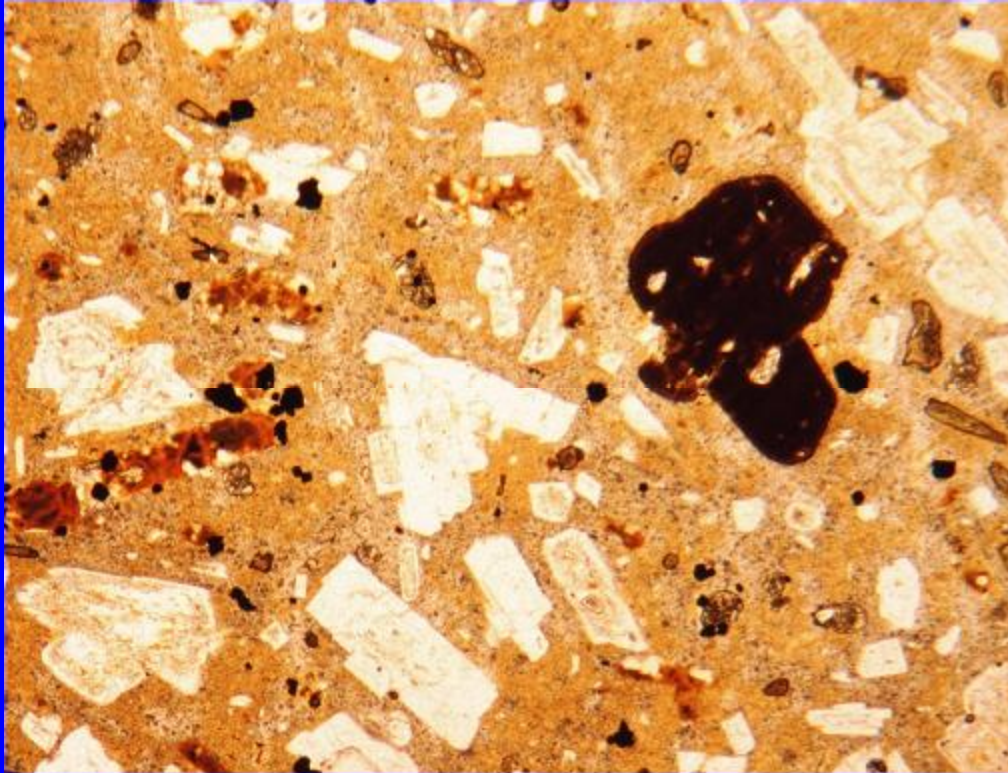


Κορούνδιο - ποικιλία ζαφείρι (κυανό)
Μαργαρίτης (άχρωμο)

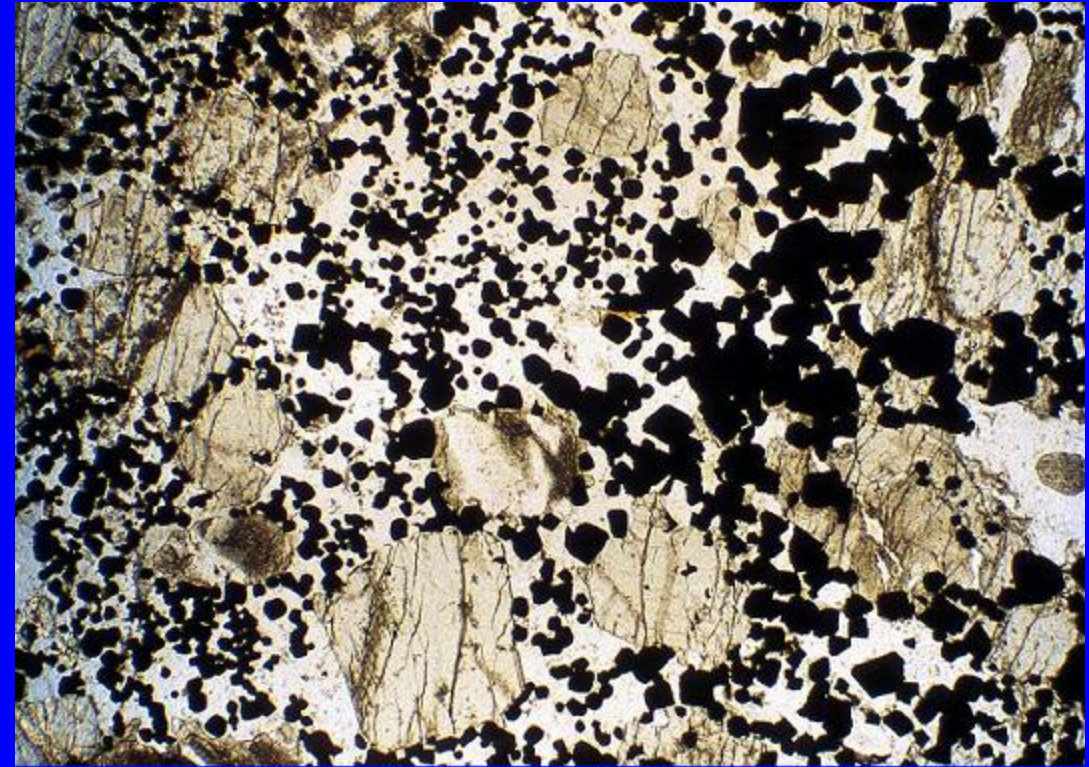


Τουρμαλίνης (πράσινος)
Πλαγιόκλαστο (άχρωμο)

Αδιαφανή ορυκτά (Nicols //)



Μαγνητίτης (μαύρο, αδιαφανές), φαινοκρύσταλλοι πλαγιόκλαστου (άχρωμο), βιοτίτη (έγχρωμο, καστανό), και κεροσίλβης (πράσινο) εντός υαλώδους κύριας μάζας

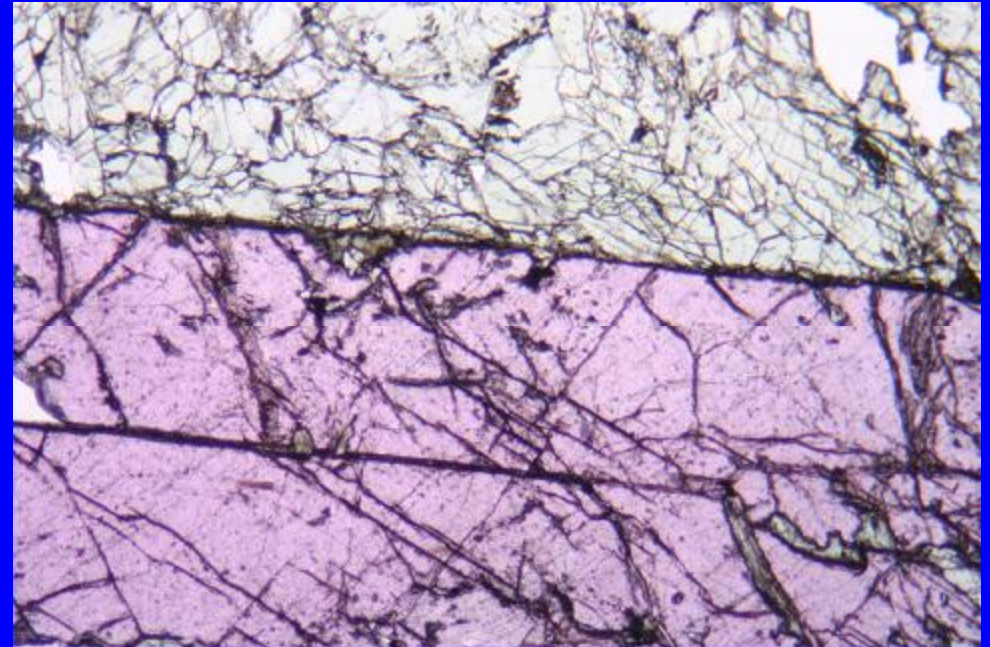


Χρωμίτης (μαύρος αδιαφανής) με πυρόξενο (έγχρωμο) και πλαγιόκλαστα (άχρωμα).

Μακροσκοπικά



Στο μικροσκόπιο
Nicols //



Το χρώμα ενός ορυκτού στο μικροσκόπιο μπορεί να είναι το ίδιο με το χρώμα του μακροσκοπικά. Το ρουμπίνι και ο αμφίβολος εμφανίζονται με κόκκινο και πράσινο χρώμα τόσο μακρο- όσο και μικροσκοπικά αντίστοιχα.

Μακροσκοπικά



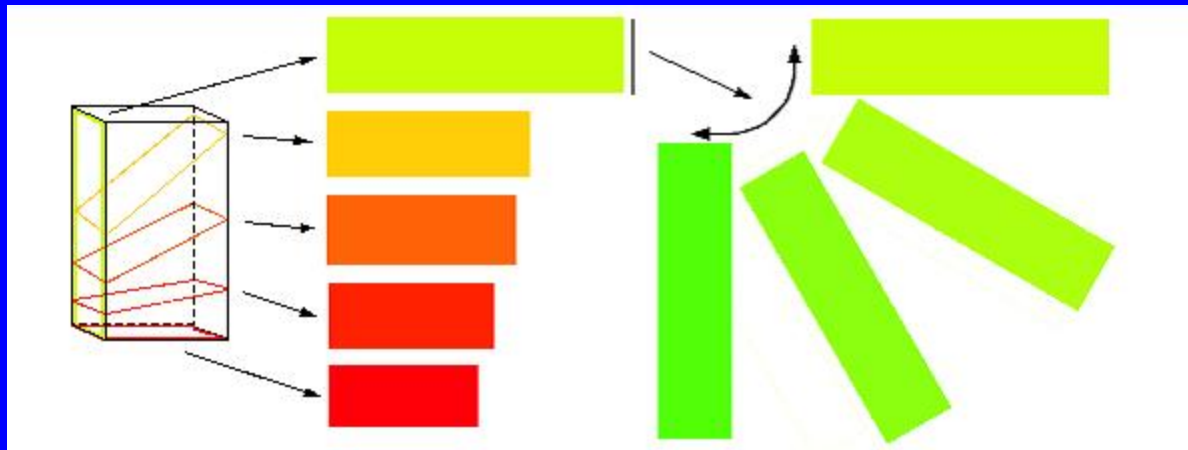
Μικροσκοπικά //Nicol's



Το χρώμα ενός ορυκτού στο μικροσκόπιο συχνά είναι διαφορετικό από το μακροσκοπικό του χρώμα. Πχ. Μακροσκοπικά ο γρανάτης (ισοδιαμετρικοί κρύσταλλοι) και ο πυρόξενος (πρισματικοί κρύσταλλοι) εμφανίζονται μαύροι, και το ορθόκλαστο γκρί ενώ μικροσκοπικά ο γρανάτης καστανός, ο πυρόξενος πράσινος και ο τιτανίτης άχρωμος. Το ορθόκλαστο (δεν διακρίνεται στην τομή είναι επίσης άχρωμο.

Πλεοχρωισμός ορυκτών

Ο πλειοχρωϊσμός ορίζεται σαν η αλλαγή του χρώματος ή της έντασης του χρώματος του ορυκτού κατά την περιστροφή της τράπεζας. Παρατηρείται μόνο με πολωτή. Οφείλεται στο ότι το ευθύγραμμο πολωμένο φως του μικροσκοπίου διερχόμενο μέσα από ένα ανισότροπο ορυκτό υφίσταται διαφορετική απορρόφηση σε διάφορες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφορετικού χρώματος. Συμβαίνει όταν τα μήκη κύματος της τακτικής και της εκτάκτου ακτίνας απορροφώνται διαφορετικά κατά το πέρασμα από το ορυκτό, και καταλήγουν διαφορετικά μήκη κύματος φωτός να διαπερνούν το ορυκτό. Πλεοχρωισμός παρατηρείται μόνο στα έγχρωμα ανισότροπα ορυκτά (δεν παρατηρείται στα άχρωμα ανισότροπα και στα ισότροπα ορυκτά).



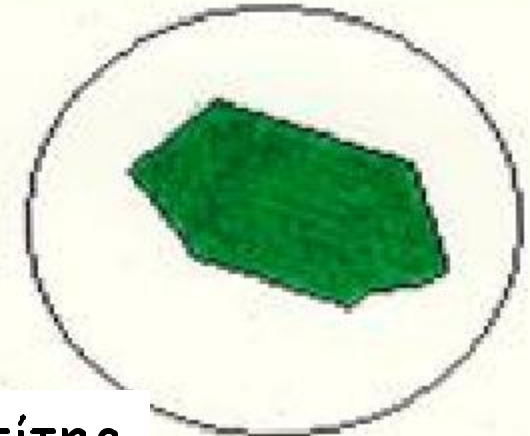
Τρεις τύποι πλεοχρωισμού

Ο πλεοχροϊσμός δεν εμφανίζεται με την ίδια ένταση σε όλες τις τομές. Έτσι:

Οι τομές παράλληλα στον οπτικό άξονα (μονάξονες) ή το επίπεδο οπτικών αξόνων (διάξονες) εμφανίζουν τη μέγιστη ένταση πλεοχροϊσμού. Οι τομές κάθετα στον οπτικό άξονα δεν εμφανίζουν πλεοχροϊσμό.

Οι ενδιάμεσες τομές εμφανίζουν πλεοχροϊσμό με ενδιάμεση ένταση.

Διαφορετική ένταση



Διαφορετικό τμήμα φάσματος



Διαφορετική Ένταση και τμήμα φάσματος



Βιοτίτης

Πυρόξενος

Κεροσίλβη

Πλεοχρωισμός ορυκτών

Για έγχρωμα μοναξονικά ορυκτά,

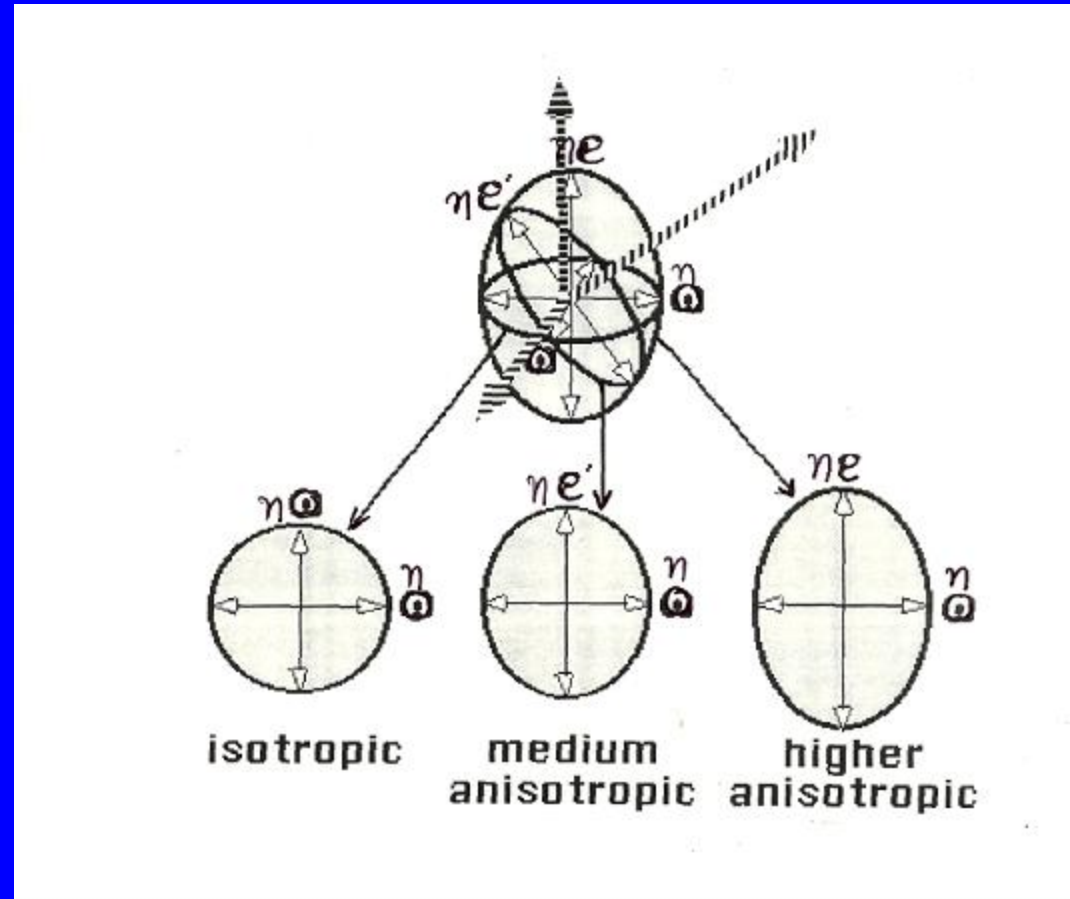
* Τομές κάθετες στον Z

κρυσταλλογραφικό ή στον Οπτικό Άξονα εμφανίζουν μόνο ένα χρώμα (αλλά όχι πλεοχρωισμό), που αντιστοιχεί στη τακτική ακτίνα (ισότροπες τομές).

* Τομές παράλληλες στον Z

κρυσταλλογραφικό ή στον Οπτικό Άξονα θα εμφανίσουν την ευρύτερη διακύμανση χρώματος καθώς και η n_o και η n_e είναι παρούσες (ανισότροπες πλεοχρωικές τομές).

Οι ενδιάμεσες τομές εμφανίζουν πλεοχροισμό με ενδιάμεση ένταση.



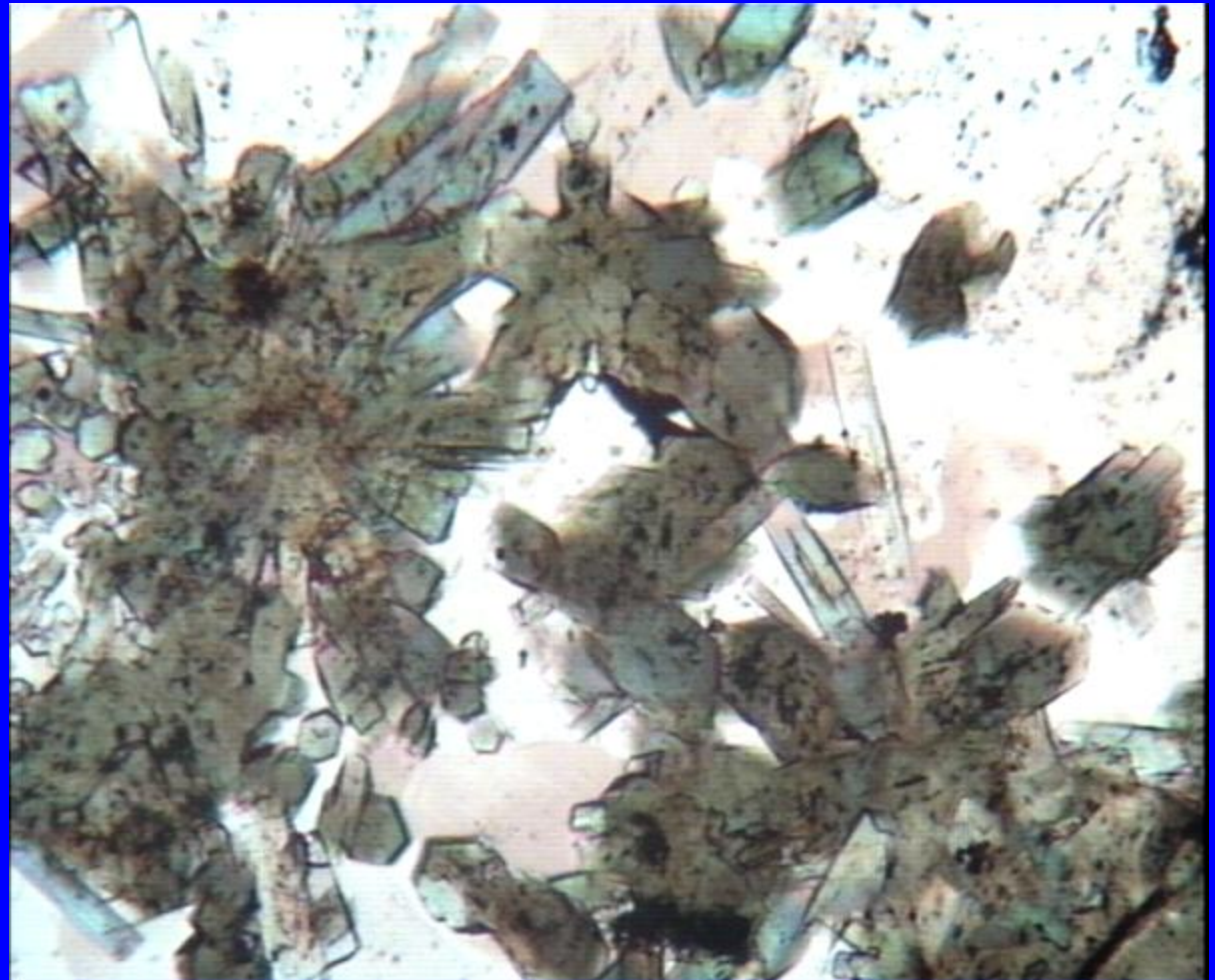
Πλεοχρωισμός ορυκτών

Για να περιγράψουμε τον πλειοχρωισμό των μοναξόνων ορυκτών πρέπει να καθορίσουμε το χρώμα το οποίο αντιστοιχεί στη τακτική και την έκτακτη ακτίνα (διχρωϊκοί).

π.χ.

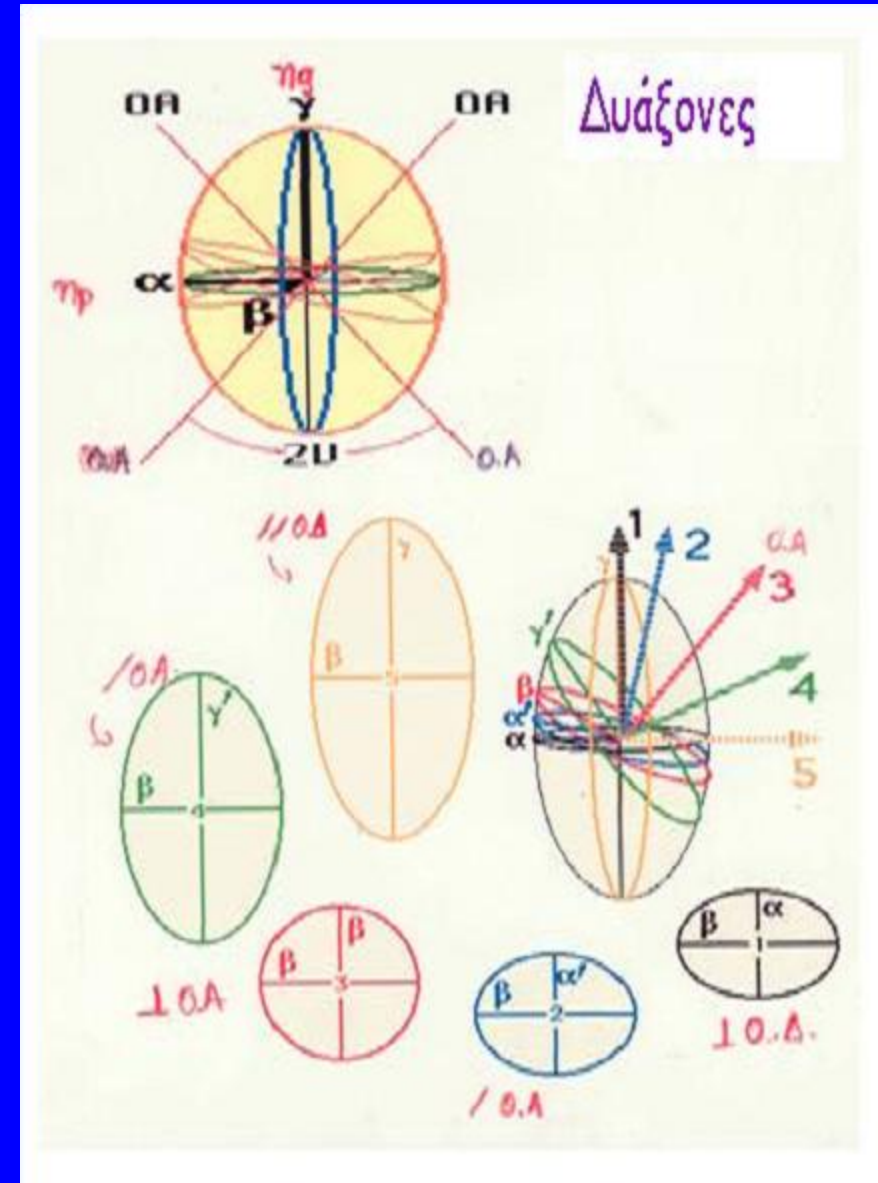
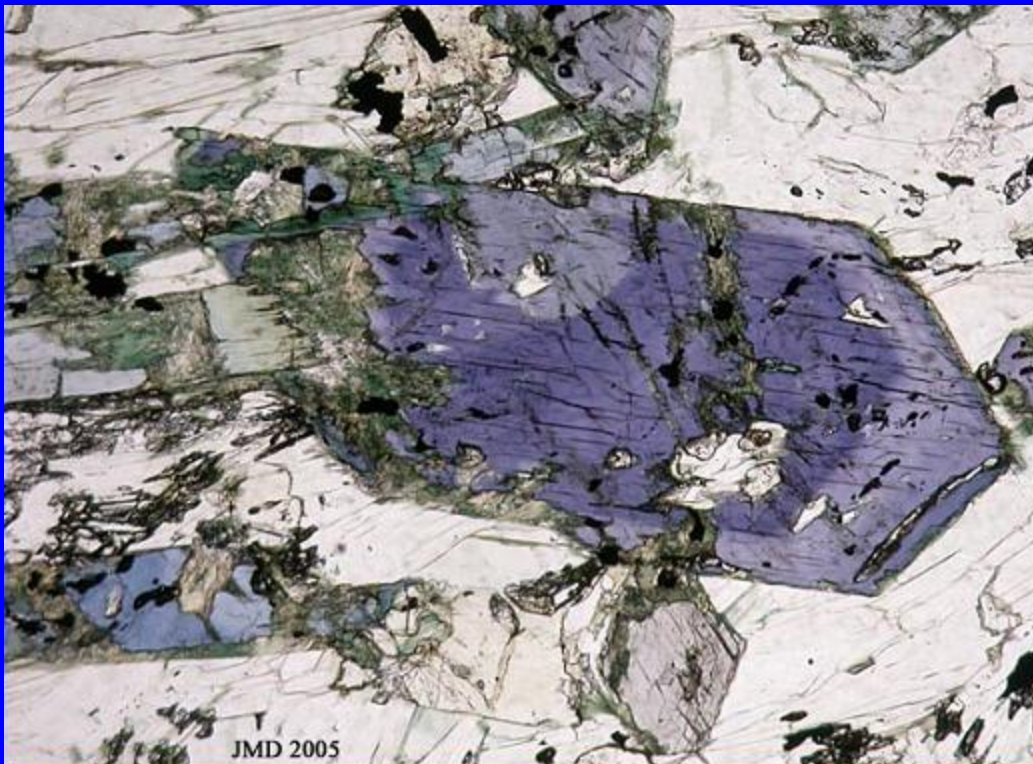
Τουρμαλίνης, τριγωνικό σύστημα

1. no = σκούρο πράσινο
2. ne = ανοικτό πράσινο



Για να περιγράψουμε πλήρως τον πλειοχρωϊσμό των διαξονικών ορυκτών είναι αναγκαίο να προσδιορίσουμε τρία χρώματα (τριχρωϊκοί). Κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί στο φως που πάλλεται παράλληλα προς τον ένα άξονα του ελλειψοειδούς. π.χ ο γλαυκοφανής

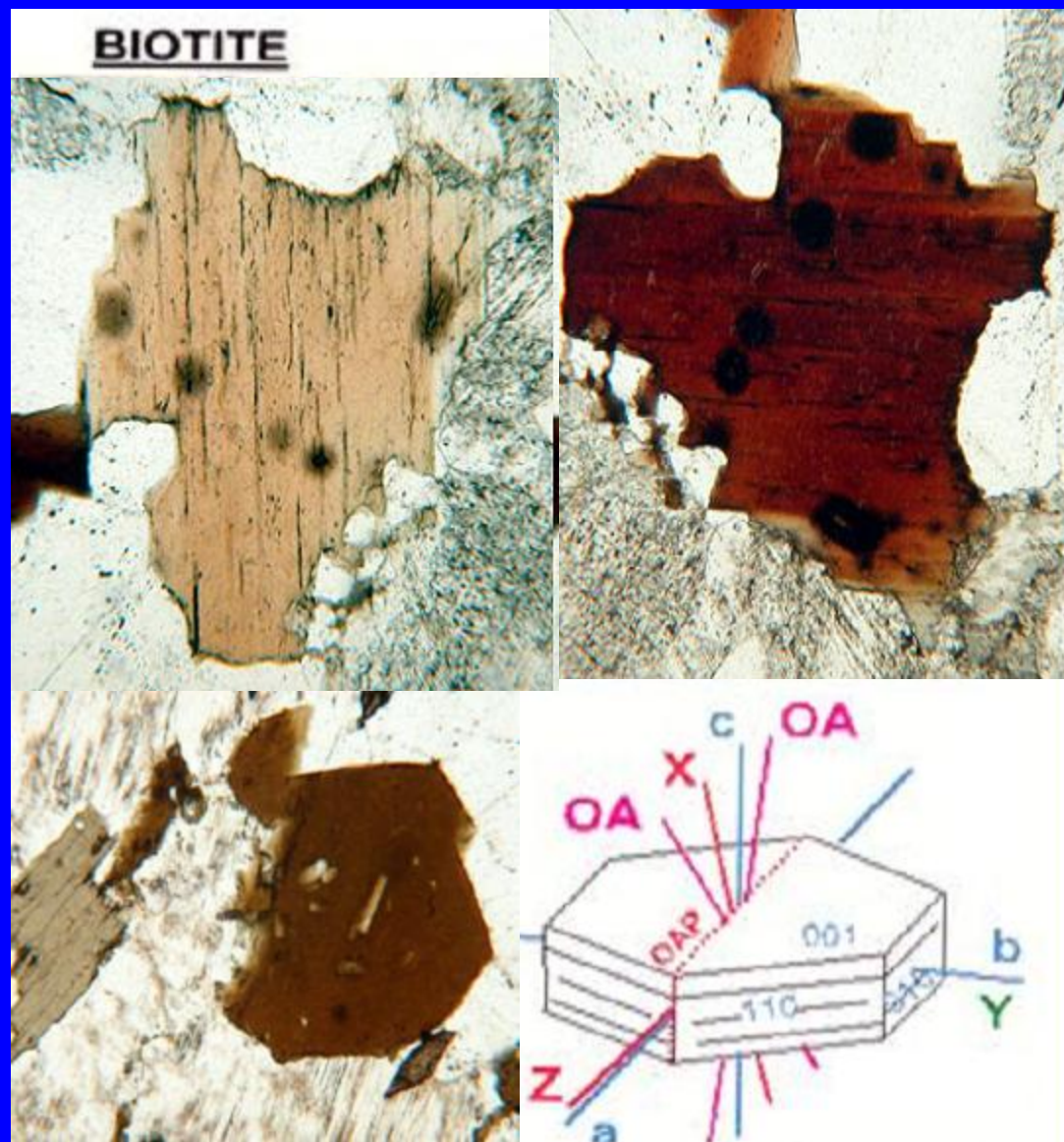
- $\eta\alpha$ = ανοικτό πράσινοκίτρινο
- $\eta\beta$ = κυανοϊώδες
- $\eta\gamma$ = κυανό



Πλεοχρωισμός ορυκτών

Εάν η αλλαγή του χρώματος είναι αρκετά σαφής ο πλεοχρωϊσμός λέγεται ότι είναι ισχυρός (ισχυρότερη ανισοτροπία).

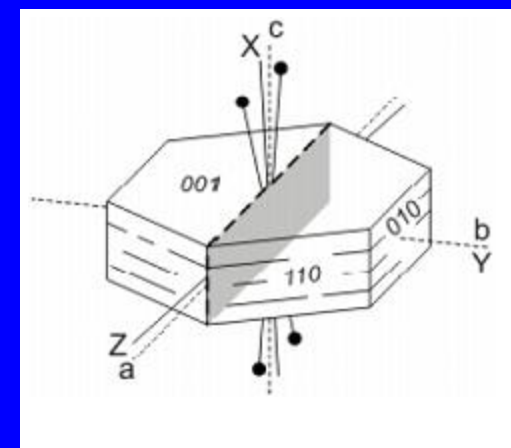
Εάν η αλλαγή του χρώματος είναι μικρότερη τότε ο πλειοχρωϊσμός λέγεται ότι είναι ασθενής (ασθενέστερη ανισοτροπία).



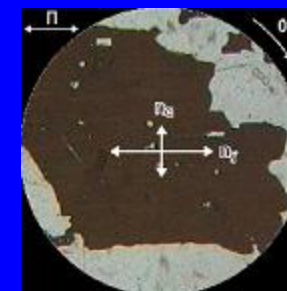
Έντονος πλεοχρωισμός βιοτίτη σε τομές // στο επίπεδο των οπτικών αξόνων (O.A). και απουσία πλεοχρωισμού σε τομές κάθετα σε οπτικό άξονα (O.A).

Τομή βιοτίτη // στο επίπεδο των οπτικών αξόνων (κάθετα στον σχισμό) Μέγιστη ένταση πλεοχρωισμού

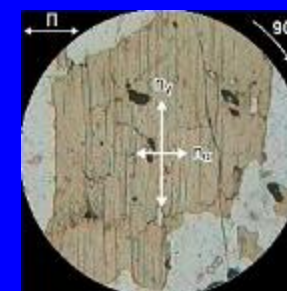
Στον βιοτίτη η γωνία $2V$ των οπτικών αξόνων είναι πολύ μικρή, και γι' αυτό το ορυκτό συμπεριφέρεται σαν οπτικά μονάξων. παράλληλα με το σχισμό βρίσκονται οι n_γ (Z) ή ο n_β (Y) που είναι ίσοι, ενώ κάθετα στο σχισμό βρίσκεται ο n_α (X) που είναι άνισος.



Όταν ο σχισμός είναι παράλληλος με το επίπεδο κράδανσης του πολωτή (Α-Δ), το πολωμένο φως διέρχεται ως n_γ , υφίσταται σημαντική απορρόφηση και ο βιοτίτης εμφανίζει σκούρο καστανό χρώμα.

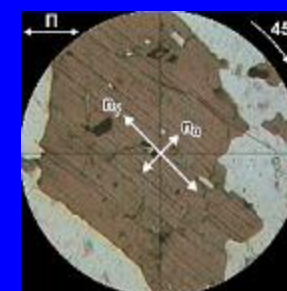


Όταν η τομή στραφεί κατά 90° και ο σχισμός είναι κάθετος στο επίπεδο κράδανσης του πολωτή, το φως διέρχεται ως n_α , υφίσταται μικρότερη απορρόφηση και ο βιοτίτης εμφανίζει ανοικτό καστανό χρώμα.



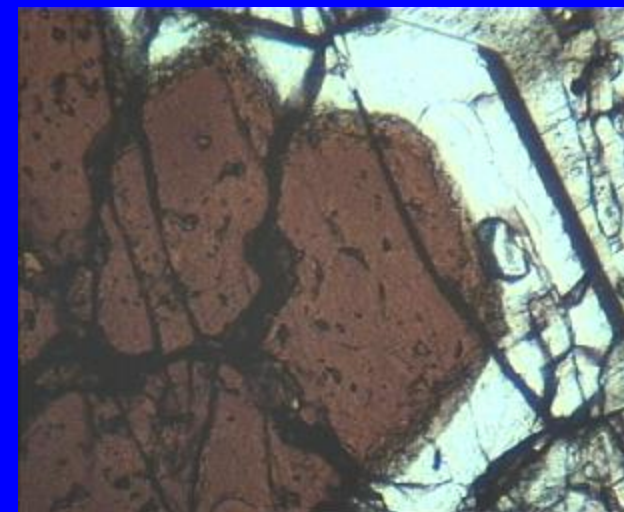
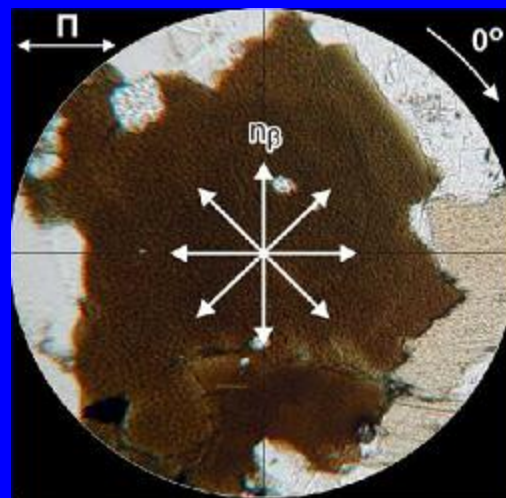
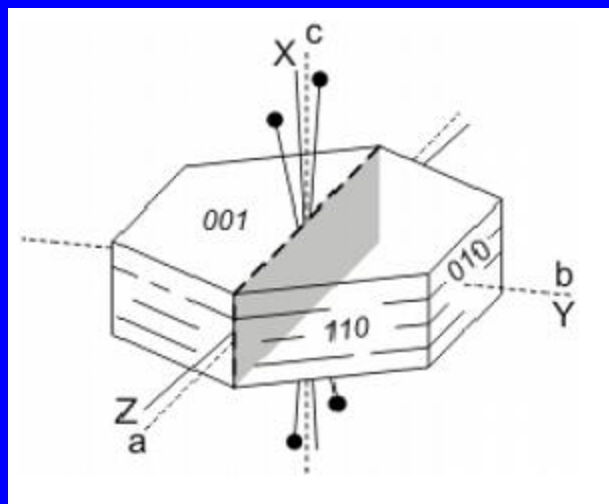
(// Nicols)

Στις ενδιάμεσες θέσεις το φως διέρχεται εν μέρει ως n_γ και εν μέρει ως n_α και ο βιοτίτης εμφανίζει καστανό χρώμα με ενδιάμεση απόχρωση.



Τομή βιοτίτη κάθετη στο επίπεδο των οπτικών αξόνων (// στο σχισμό) Δεν εμφανίζεται πλεοχρωσμός

(// Nicols)



Βιοτίτης (ανισότροπο ορυκτό, ισότροπη τομή)

Ti-ούχος γρανάτης (ισότροπος)

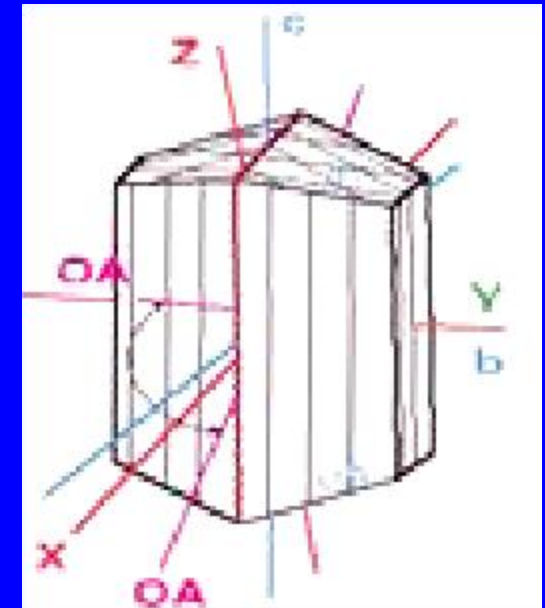
Στον βιοτίτη η γωνία $2V$ των οπτικών αξόνων είναι πολύ μικρή, και γι' αυτό το ορυκτό συμπεριφέρεται σαν οπτικά μονάξων: στην τομή προς όλες τις κατευθύνσεις βρίσκεται ο n_b (Y).

Όποια θέση και να έχει η τομή, το πολωμένο φως διέρχεται ως n_b , υφίσταται την ίδια απορρόφηση με αυτή που υφίσταται ως n_y (αφού $n_b = n_y$), δηλαδή ίδια απορρόφηση προς όλες τις κατευθύνσεις με συνέπεια ο βιοτίτης να μην εμφανίζει πλεοχρωσμό (σκούρο καστανό χρώμα σε όλες τις θέσεις).

Για τον ίδιο λόγο, τα ισότροπα ορυκτά που έχουν ένα δείκτη διάθλασης προς κάθε κατεύθυνση, δεν εμφανίζουν πλεοχρωσμό (ίδια απορρόφηση προς όλες τις κατευθύνσεις).

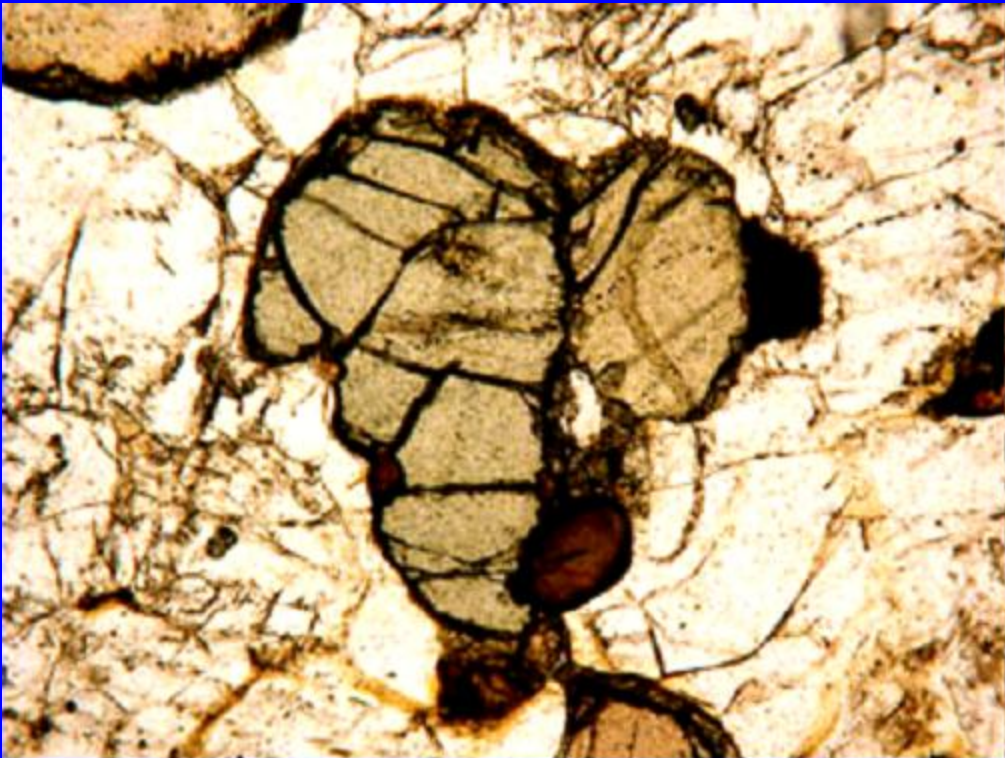
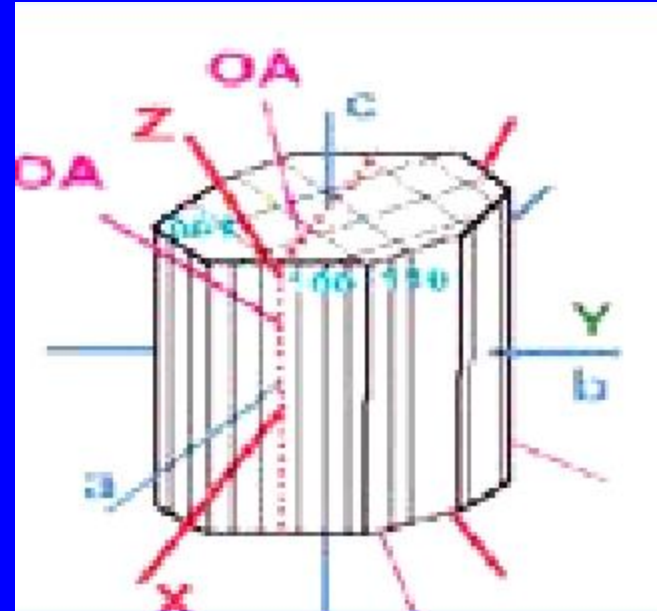
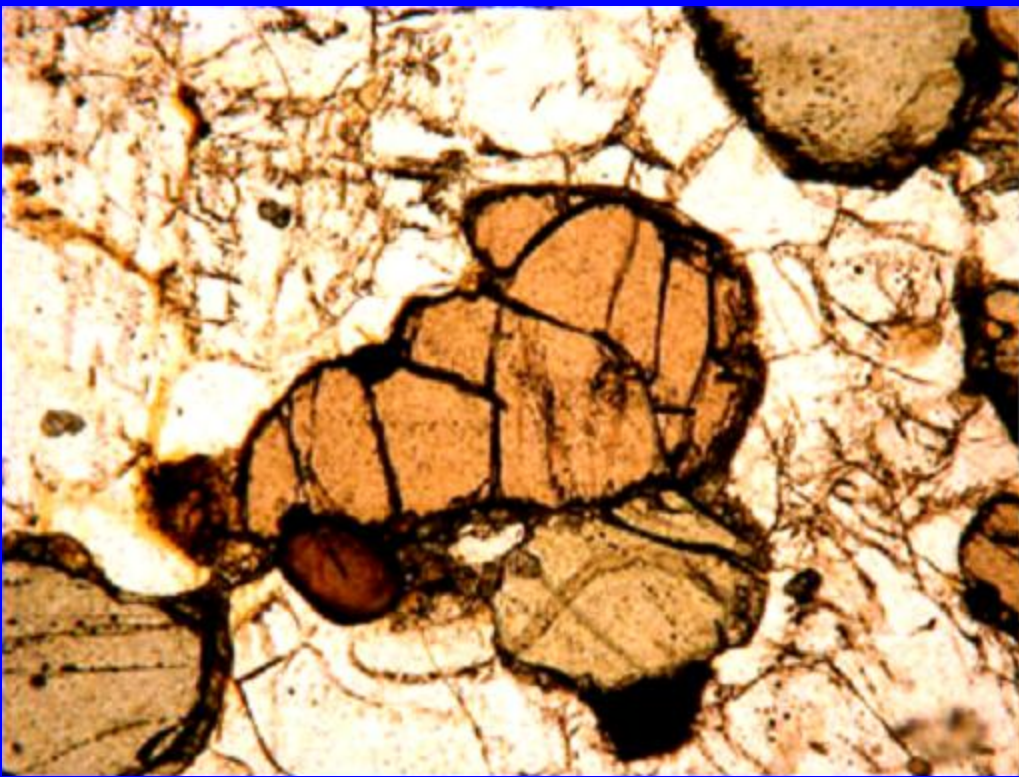
Πλεοχρωισμός ορυκτών

Έντονος πλεοχρωισμός κερροσίλβης σε τομές // στο επίπεδο οπτικών αξόνων (O.A). και απουσία πλεοχρωισμού σε τομές κάθετα σε οπτικό άξονα (O.A).



(// Nicols)

Πλεοχρωισμός ορυκτών



Ασθενής πλεοχρωισμός
πυροξένου

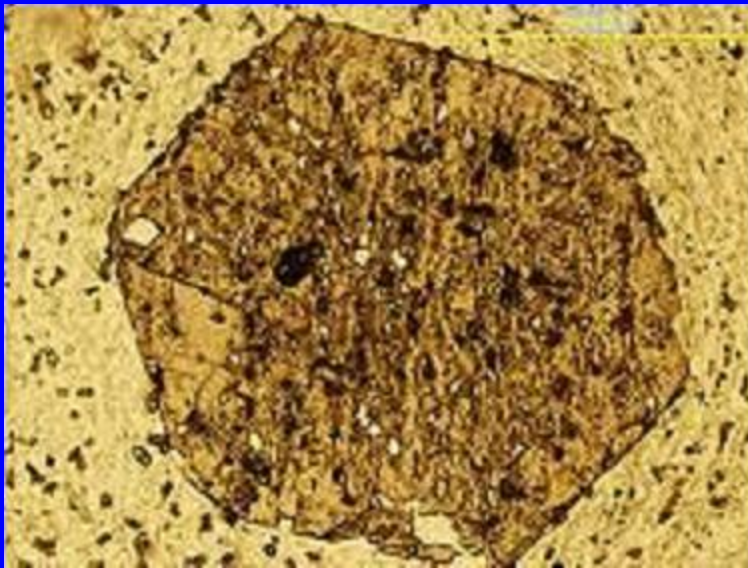
(// Nicols)

Παρατηρήσεις με πολωτή και αναλυτή

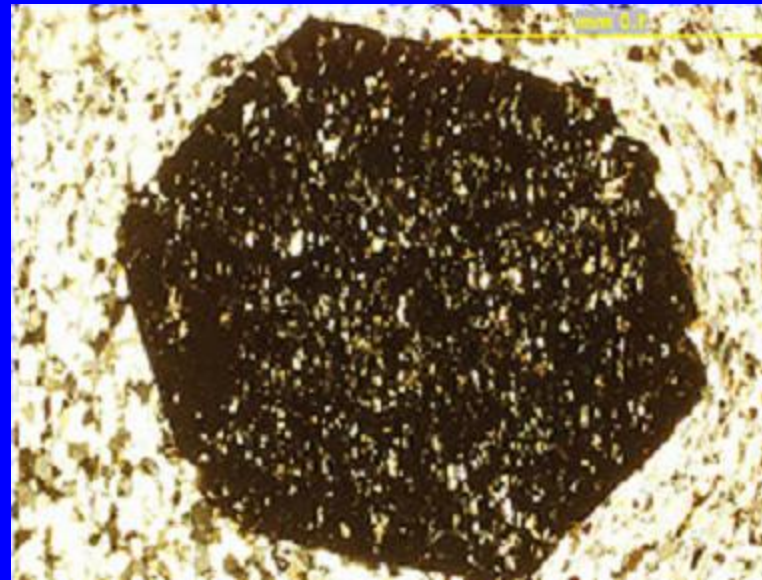
- * Κατάσβεση (Συνεχής - Τετράκις)
- * Έγχρωμη πόλωση
- * Κωνοσκοπικές εικόνες
- * Οπτικός χαρακτήρας (Αντισταθμιστές)

Κατάσβεση (extinction) – Συνεχής κατάσβεση

Εάν εργαζόμαστε με τον πολωτή και τον αναλυτή, και χωρίς λεπτή τομή στην τράπεζα του μικροσκοπίου, το οπτικό πεδίο είναι σκοτεινό, γιατί το πολωμένο φως που διέρχεται από τον πολωτή δεν διέρχεται από τον αναλυτή (κραδάνδεις πολωμένου φωτός A-Δ και B-N αντίστοιχα). Εάν στη συνέχεια παρεμβάλουμε οπτικά ισότροπη τομή, το πεδίο παραμένει σκοτεινό (συνεχής κατάσβεση) και με την περιστροφή της τράπεζας κατά 360°.



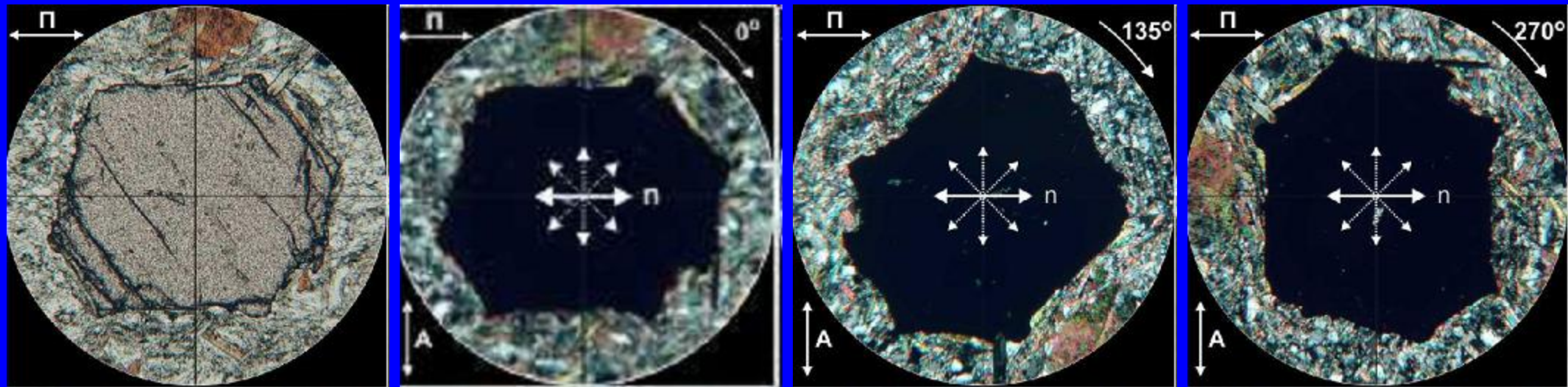
Γρανάτης (ισότροπο ορυκτό)
// Nicols



Γρανάτης (ισότροπο ορυκτό)
διασταυρωμένα Nicols – Συνεχής κατάσβεση

Κατάσβεση (extinction) – Συνεχής κατάσβεση

Στα ισότροπα ορυκτά το φως διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα ισότροπα ορυκτά δεν επηρεάζουν τη διεύθυνση κράδανσης του πολωμένου φωτός. Σε κάθε θέση της τομής το πολωμένο φως διέρχεται από το ισότροπο ορυκτό με διεύθυνση κράδανσης A-Δ. Το φως φτάνει στον αναλυτή που έχει διεύθυνση κράδανσης B-N και κατασβένυται. Το ορυκτό με τη στροφή της τράπεζας παραμένει διαρκώς σκοτεινό. Αποτέλεσμα: Συνεχής κατάσβεση.

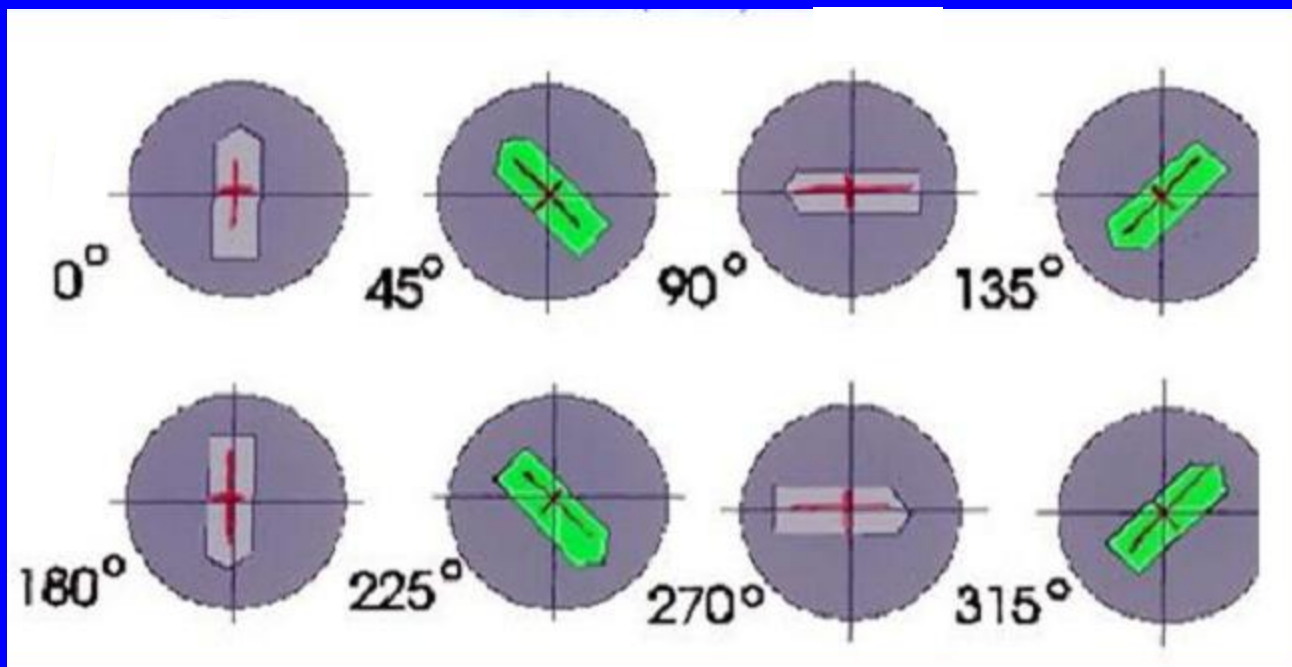


Γρανάτης (ισότροπο ορυκτό)
// Nicols

Γρανάτης (ισότροπο ορυκτό) διασταυρωμένα Nicols – Συνεχής κατάσβεση

Κατάσβεση (extinction) – Τετράκις κατάσβεση

Εάν παρεμβάλουμε (με πολωτή και αναλυτή) ανισότροπη τομή σε τυχούσα θέση, αυτή εμφανίζεται χρωματισμένη. Με περιστροφή της τράπεζας κατά 360° το χρώμα εξαφανίζεται και η τομή γίνεται σκοτεινή σε τέσσερεις θέσεις, οι οποίες λέγονται θέσεις κατάσβεσης (τετράκις κατάσβεση). Το φαινόμενο της τετράκις κατάσβεσης, παρατηρείται κάθε 90° . Κατάσβεση συμβαίνει όταν ο ένας από τους άξονες ελαστικότητας της τομής ταυτιστεί με το επίπεδο του πολωτή. Άρα η θέση κατάσβεσης μας παρέχει τις κατευθύνσεις των αξόνων ελαστικότητας της τομής που ταυτίζονται με το σταυρόνημα του προσοφθαλμίου. Τη στιγμή της κατάσβεσης τα περατωτικά όρια των κρυστάλλων ή ο σχισμός ή το επίπεδο διδυμίας βρίσκονται παράλληλα με το σταυρόνημα, διαφορετικά μετράμε την κατασβεστική γωνία (βλέπε παρακάτω).



Είδη τετράκις κατάσβεσης

- A) Ορθή ή παράλληλη κατάσβεση
- B) Συμμετρική κατάσβεση
- Γ) Πλάγια ή κεκλιμένη κατάσβεση

Ορθή ή παράλληλη κατάσβεση συμβαίνει όταν ο σχισμός ή τα περατωτικά όρια του κρυστάλλου ή επίπεδο διδυμίας είναι παράλληλα με ένα σταυρόνημα.

Πλάγια ή κεκλιμένη κατάσβεση συμβαίνει όταν ο σχισμός ή τα περατωτικά όρια του κρυστάλλου ή επίπεδο διδυμίας σχηματίζουν γωνία με το σταυρόνημα.

Συμμετρική κατάσβεση συμβαίνει όταν το σταυρόνημα διχοτομεί τη γωνία δύο σχισμών ή τη γωνία των περατωτικών ορίων.

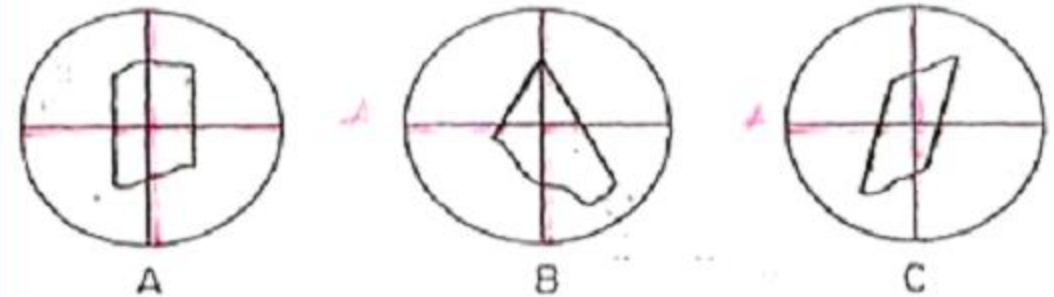


Fig. 6-1. (a) Parallel extinction. (b) Symmetrical extinction, in which the angle between two cleavages is bisected by a crosshair. (c) Inclined extinction.

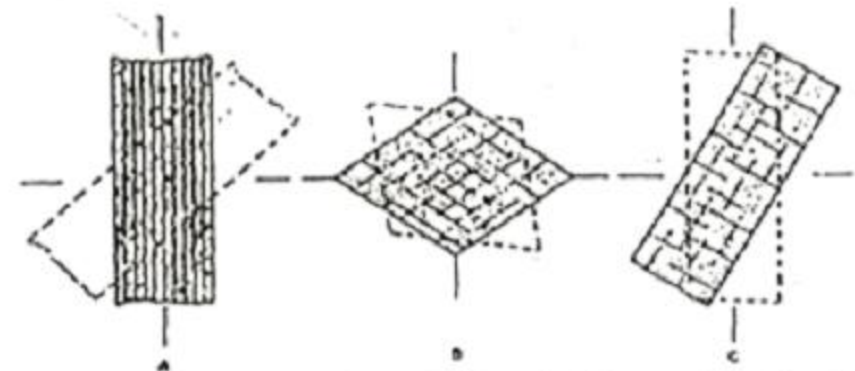
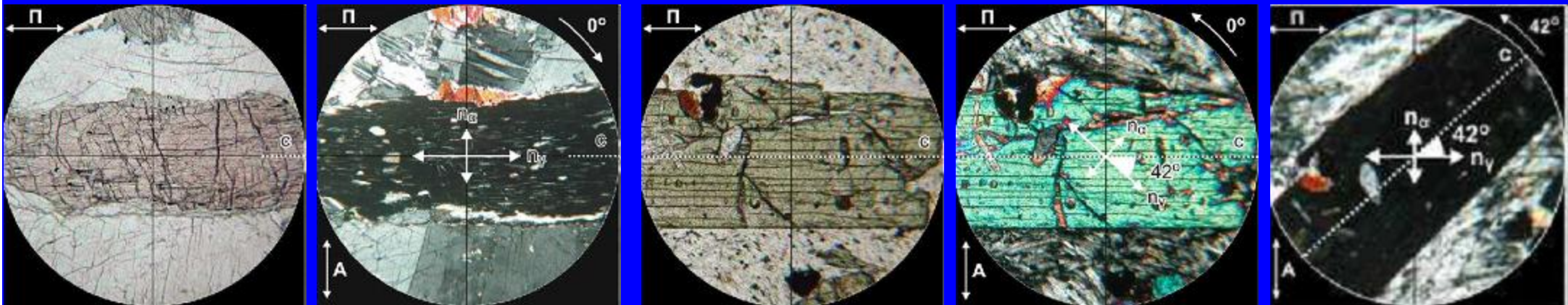


Fig. 17. Types of extinction. A: parallel (muscovite); B: symmetrical (tourmaline); C: inclined (kyanite).

Ορθή κατάσβεση εμφανίζουν οι μονάξονες κρύσταλλοι και από τους διάξονες οι κρύσταλλοι του ρομβικού συστήματος. Οι άξονες ελαστικότητας του κρυστάλλου είναι // με τους κρυσταλλογραφικούς άξονες, τη κατεύθυνση των οποίων υποδεικνύουν ο σχισμός ή κάποια πρισματική έδρα. Ο βιοτίτης κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές αλλά επειδή η γωνία $2V$ είναι σχεδόν 0° , συμπεριφέρεται σαν μονάξων και παρουσιάζει ορθή κατάσβεση.

Πλάγια κατάσβεση: εμφανίζουν οι κρύσταλλοι του μονοκλινούς και τρικλινούς συστήματος. Οι άξονες ελαστικότητας του κρυστάλλου σχηματίζουν γωνία με τους κρυσταλλογραφικούς άξονες. Η κατασβεστική γωνία δίνεται ως γωνία μεταξύ ενός άξονα ελαστικότητας και ενός κρυσταλλογραφικού άξονα. Πχ. Αυγίτης: $Z : c$ ή $n_y : c = 38-45^\circ$

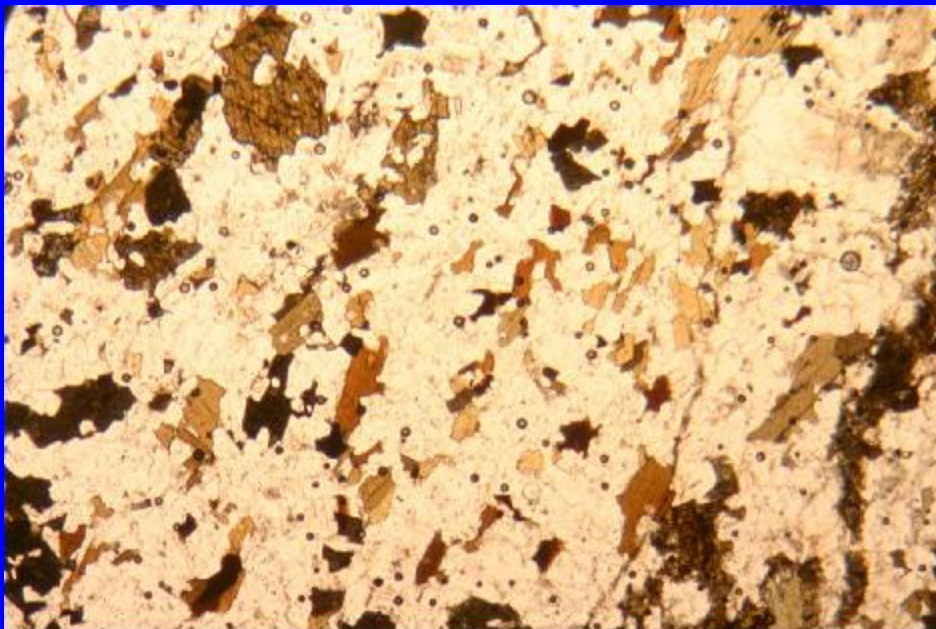
Συμμετρική κατάσβεση: Εμφανίζεται σε ορισμένα ορυκτά που έχουν είτε δύο σχισμούς είτε δύο χαρακτηριστικές κρυσταλλικές έδρες. Οι κατασβεστικές γωνίες ως προς τους δύο σχισμούς είναι ίσες. Οι άξονες ελαστικότητας του κρυστάλλου διχοτομούν τη γωνία των δύο σχισμών.



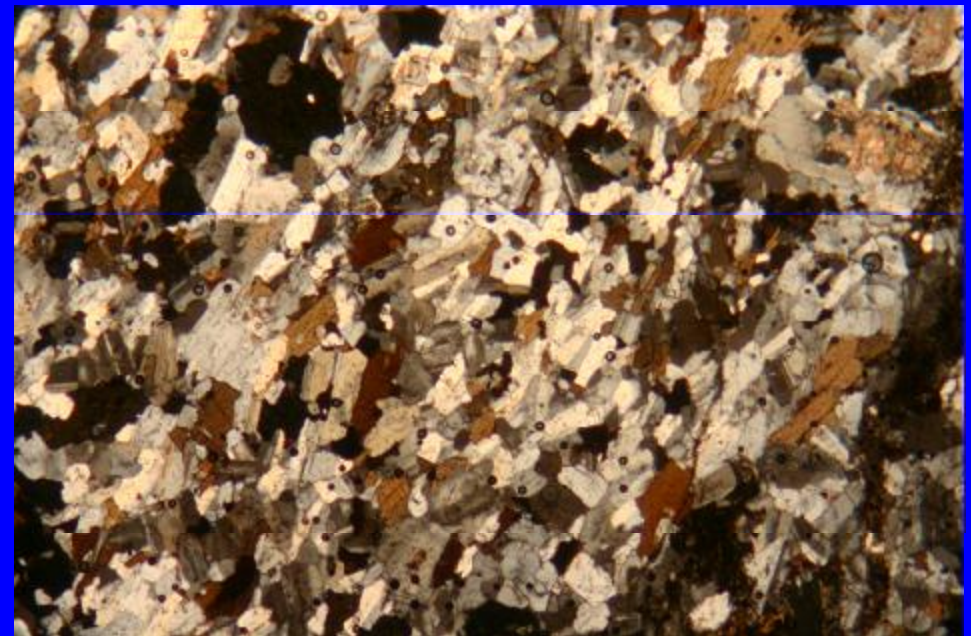
Ο πρισματικός σχισμός είναι παράλληλος στον άξονα c . Οι άξονες ελαστικότητας είναι: $n_y // c$ και $n_x, n_z \perp c$. Αποτέλεσμα: Ορθή κατάσβεση.

Ο πρισματικός σχισμός είναι // στον άξονα c . Οι άξονες ελαστικότητας σχηματίζουν γωνία με τους κρυσταλλογραφικούς άξονες: Κατασβεστική γωνία $n_y : c = 42^\circ$. Όταν ο σχισμός βρίσκεται // με το σταυρόνημα ο κρύσταλλος εμφανίζει χρώματα πόλωσης. Για να έρθει σε θέση κατάσβεσης πρέπει να στραφεί κατά 42° . Αποτέλεσμα: Πλάγια κατάσβεση.

Οι γωνίες κατάσβεσης εάν μετρηθούν σε διαφορετικούς κόκκους του ίδιου ορυκτού, στην ίδια λεπτή τομή, θα διαφέρουν. Οι γωνίες ποικίλουν λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού των κόκκων. Η μέγιστη γωνία κατάσβεσης που θα προσδιοριστεί είναι διαγνωστική για το ορυκτό και αυτή αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Τη μέγιστη αυτή γωνία μετράμε σε τομή // σε Οπτικό Άξονα. Η κατασβεστική γωνία σε ομάδες ορυκτών (π.χ. πυρόξενους, αμφιβόλους, πλαγιόκλαστα) παρουσιάζει διακύμανση λόγω μεταβολής στη χημική σύσταση των ορυκτών που εμπεριέχονται στις ομάδες αυτές.

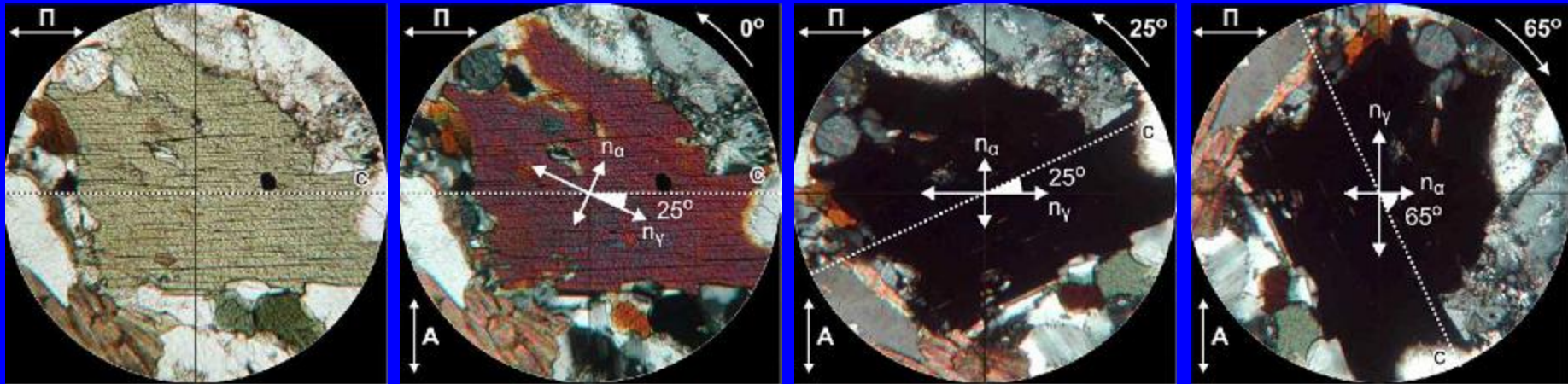


Βιοτίτης (καστανός) - Κεροσίλβη (πράσινη)
Πλαγιόκλαστο (Αχρωμο)
// Nicols



Η ίδια τομή με διασταυρωμένα Nicols. Παρατηρούμε ότι κάποιοι κόκκοι βιοτίτη, κεροσίλβης και πλαγιοκλάστων βρίσκονται σε θέση κατάσβεσης ενώ άλλοι όχι (θέση έγχρωμης πόλωσης (βλέπε παρακάτω)).

Μέτρηση της κατασβεστικής γωνίας



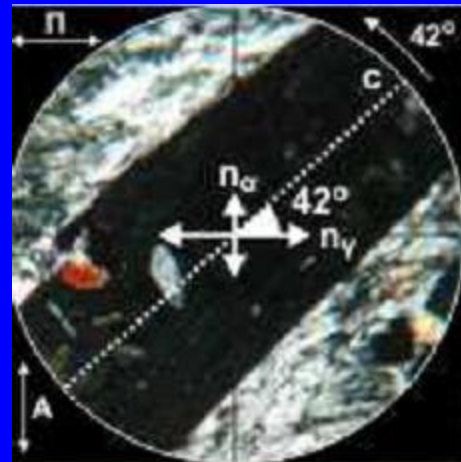
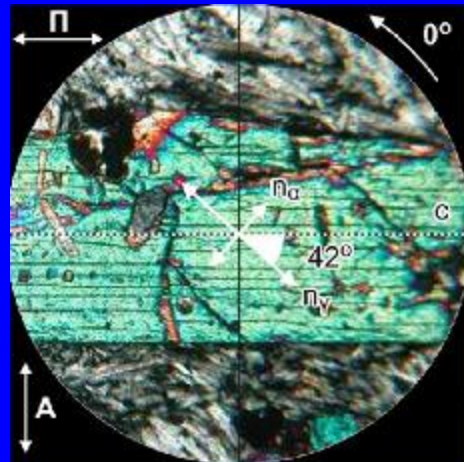
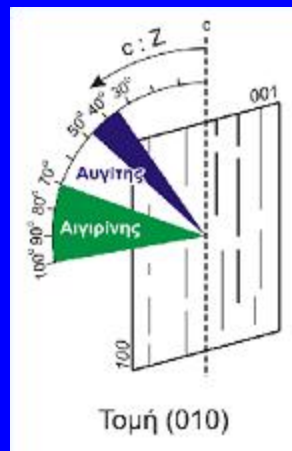
Μόνο με πολωτή στρέφουμε την τράπεζα έως ότου ο σχισμός ή κάποια πρισματική έδρα του κρυστάλλου ευθυγραμμιστεί με το σταυρόνημα. Στη θέση αυτή διαβάζουμε την ένδειξη του γωνιομέτρου της τράπεζας (πχ. 126°). Βάζουμε τον αναλυτή. Ο κρύσταλλος εμφανίζει χρώματα πόλωσης. Στρέφουμε την τράπεζα αριστερόστροφα (ή δεξιόστροφα) έως ότου το ορυκτό έρθει σε θέση κατάσβεσης. Στη θέση αυτή διαβάζουμε τη νέα ένδειξη του γωνιομέτρου (πχ. 101°).

Η κατασβεστική γωνία ισούται με τη διαφορά των ενδείξεων: $126^\circ - 101^\circ = \underline{25^\circ}$.

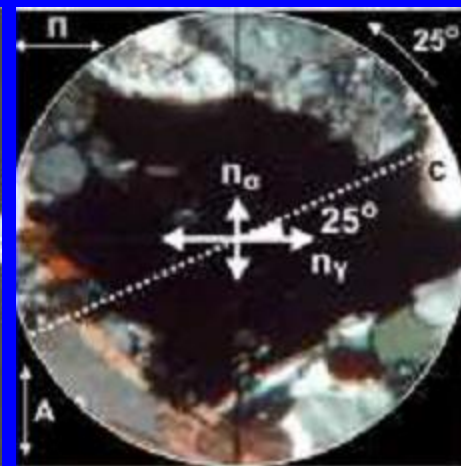
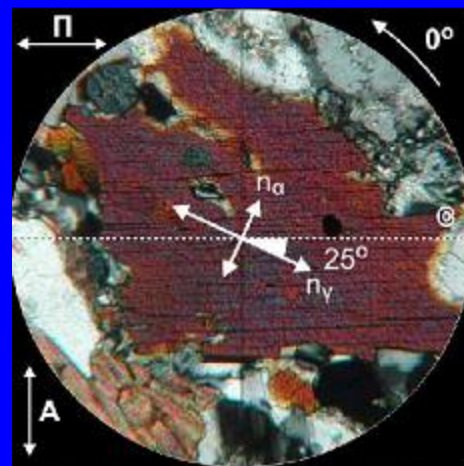
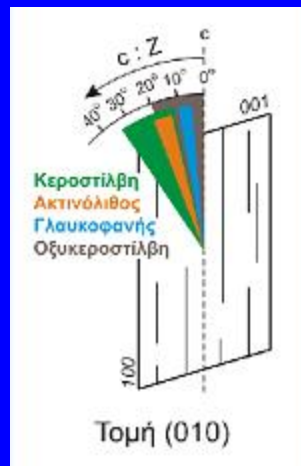
Αν σε διάφορους κρυστάλλους κεροσίλβης μετρήσουμε 10° , 14° ... 25° , η κατασβεστική γωνία της κεροσίλβης είναι 25° . Ενίοτε απαιτείται να μετρήσουμε την κατασβεστική γωνία ως προς κάποιο άξονα ελαστικότητας (πχ. n_γ , n_β ή n_α). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε τον αντισταθμιστή για να βρούμε τους άξονες ελαστικότητας της τομής.

Κατασβεστική γωνία πυροξένων - αμφιβόλων

<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/>



Κλινοπυρόξενοι



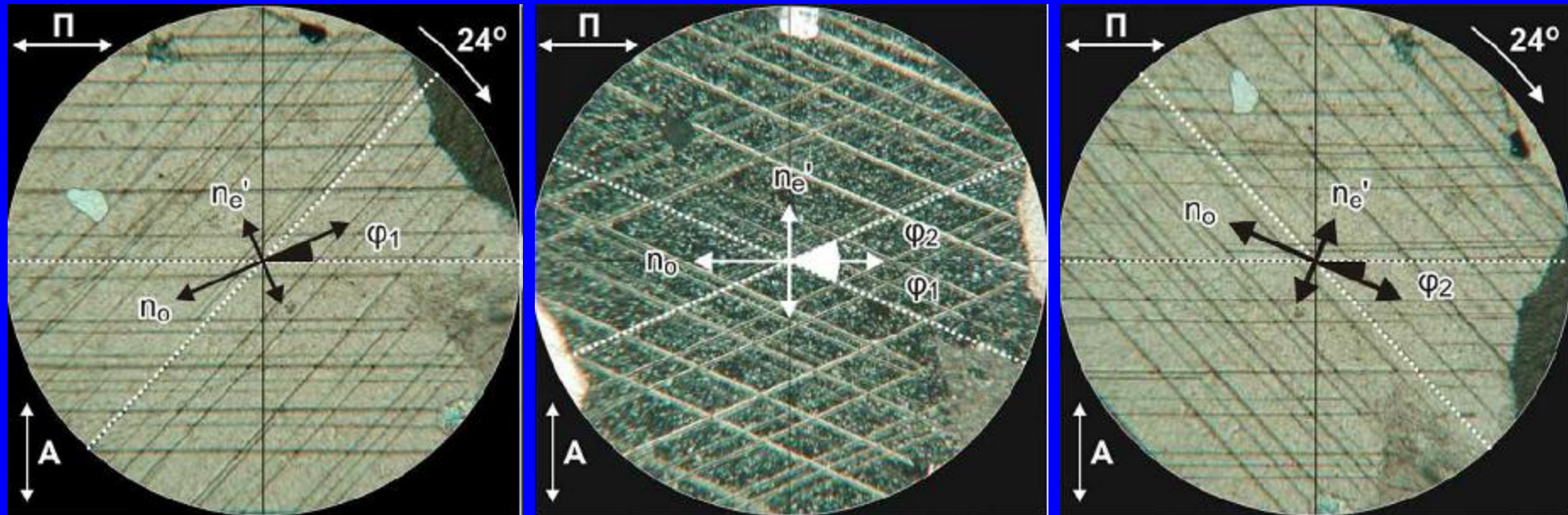
Αμφίβολοι

Οι κλινοπυρόξενοι και οι αμφίβολοι ανήκουν στο μονοκλινές σύστημα. Εμφανίζουν πλάγια κατάσβεση. Η χαρακτηριστική κατασβεστική γωνία:

Σχηματίζεται μεταξύ $\eta\gamma : c$. Μετρείται σε τομές (010). Στους κλινοπυρόξενους είναι μεγάλη (συνήθως 30°-50°). Στις αμφιβόλους είναι μικρή (συνήθως 0°-30°).

Οι τομές (010): Είναι πρισματικές παράλληλα στον άξονα c. Εμφανίζουν έναν πρισματικό σχισμό. Εμφανίζουν τα υψηλότερα χρώματα πόλωσης, διότι περιέχουν τους $\eta\gamma$ και $\eta\delta$ δηλαδή έχουν τη μέγιστη διπλοθλαστικότητα.

Συμμετρική κατάσβεση



Η τομή του ασβεστίτη εμφανίζει δύο σχισμούς (στικτές γραμμές). Οι άξονες ελαστικότητας $n_{e'}$ και n_o δικοτομούν τη γωνία των δύο σχισμών.

Οι κατασβεστικές γωνίες φ_1 και φ_2 ως προς τους δύο σχισμούς είναι αντίστοιχα ίσες. Αποτέλεσμα: Συμμετρική κατάσβεση.

- Με την εναλλαγή των θέσεων κατάσβεσης και έγχρωμης πόλωσης μέσα στον κρύσταλλο αποκαλύπτονται:

* διδυμία

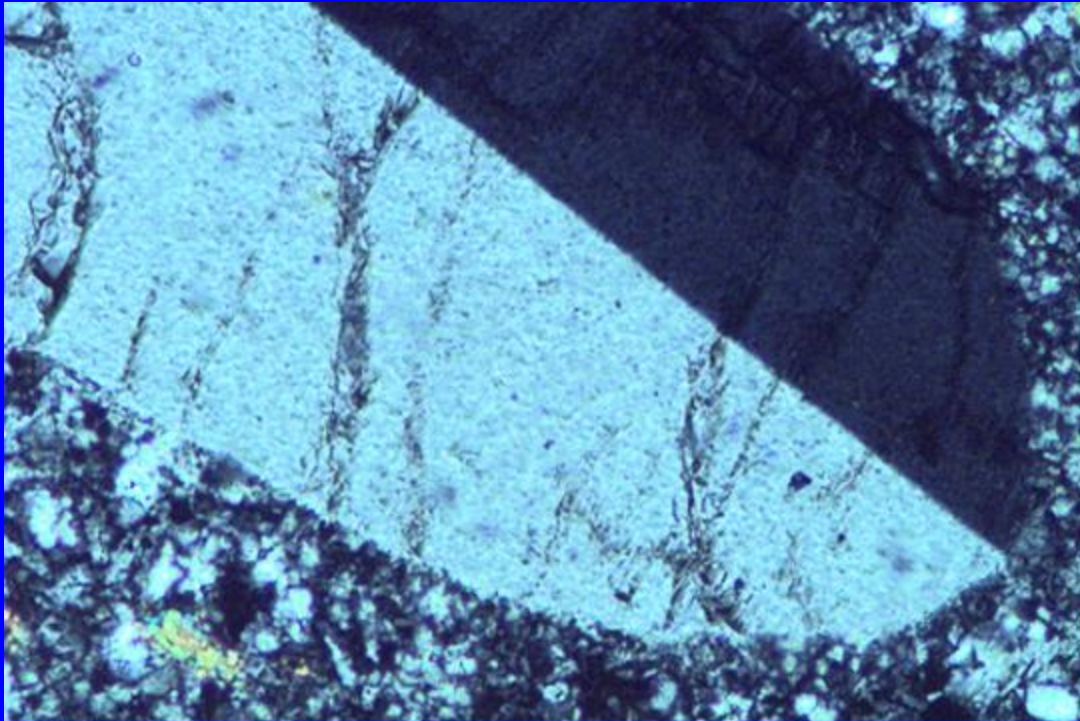
* πολυδυμία

- Διαφορετικά τμήματα του ιδίου κόκκου μπορεί να έρχονται σε κατάσβεση σε διαφορετικό χρόνο. Αυτό μπορεί να συμβεί από διαφορές στη χημική σύσταση ή καταπόνηση (κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης κάποιοι κόκκοι κυρτώνονται με επακόλουθο διαφορετικά τμήματα του ιδίου κόκκου να έχουν διαφορετικούς προσανατολισμούς, και να έρχονται σε κατάσβεση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές):

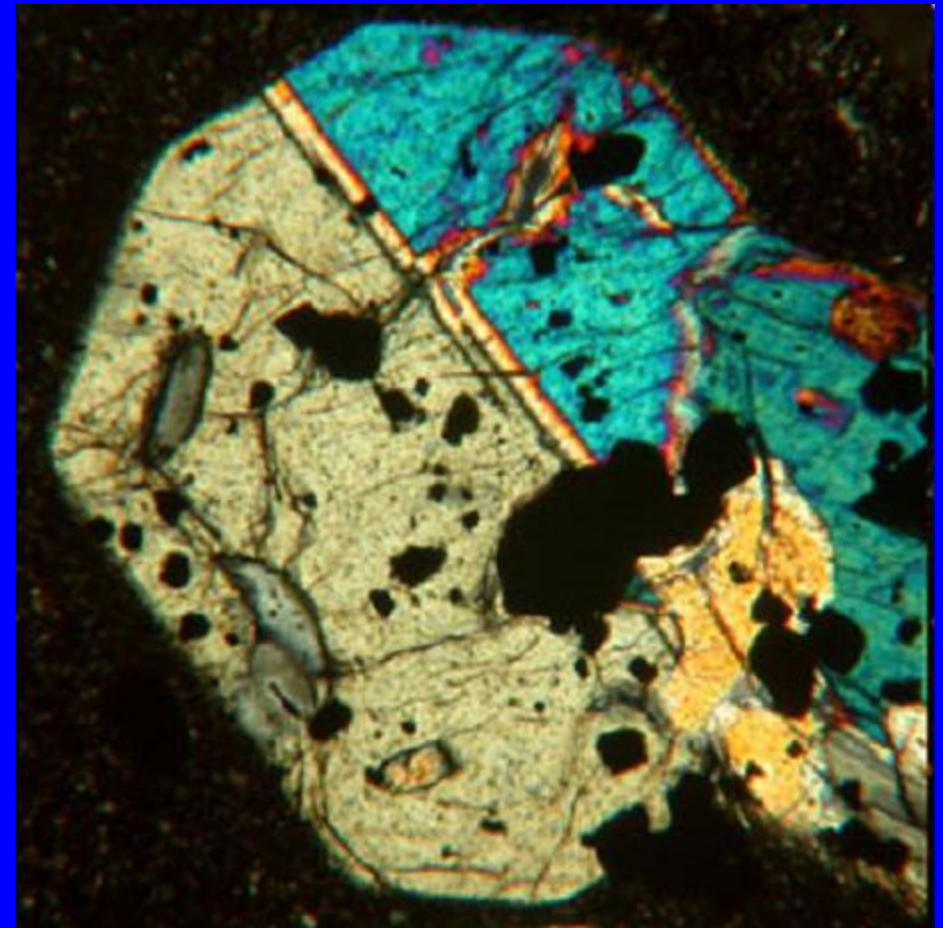
* Χημική ζώνωση

* Κυματοειδής κατάσβεση

Διδυμία



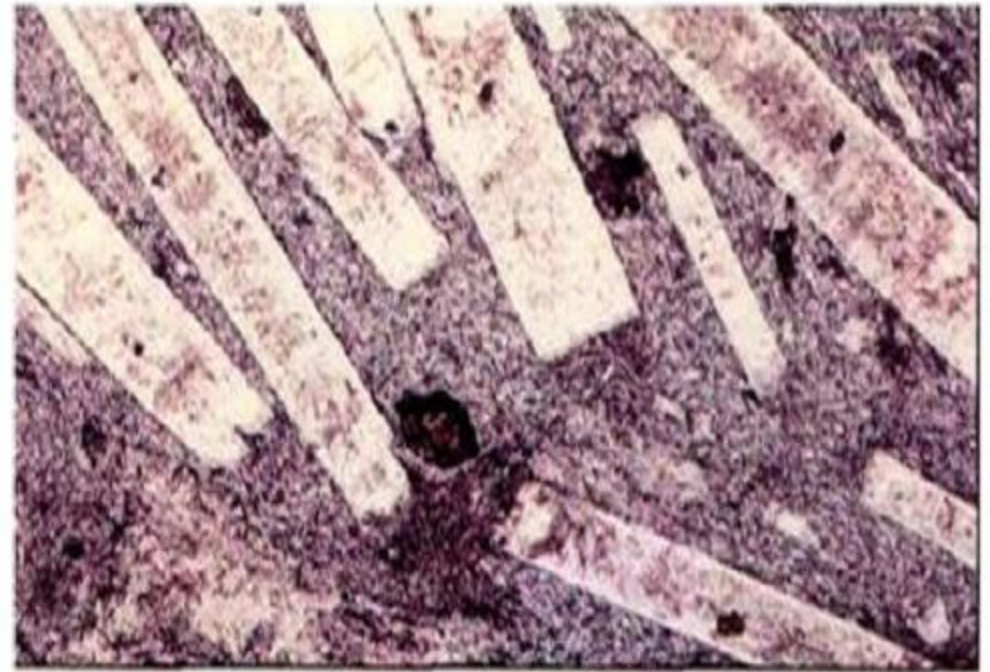
Δίδυμος κρύσταλλος Κ-ούχου άστριου με απλή διδυμία όπου το ένα μέλος βρίσκεται σε θέση κατάσβεσης και το άλλο σε θέση έγχρωμης πόλωσης
Διασταυρωμένα Nicols



Δίδυμος κρύσταλλος πυρόξενου (απλή διδυμία) όπου τα δύο μέλη βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις έγχρωμης πόλωσης (βλέπε επόμενο κεφάλαιο). Οι μαύροι κόκκοι στο κέντρο είναι αδιαφανή ορυκτά.
Διασταυρωμένα Nicols

Διδυμία

Πρισματικοί κρύσταλλοι σανίδινου (Κ-ούχου άστριου) σε // (άνω φωτ.) και διασταυρωμένα (κάτω φωτ.) Nicols. Στο αριστερό τμήμα της κάτω φωτογραφίας φαίνονται δύο δίδυμοι κρύσταλλοι σε διαφορετικές θέσεις έγχρωμης πόλωσης. Στο κέντρο της κάτω φωτογραφίας δύο κρύσταλλοι βρίσκονται σε θέση κατάσβεσης

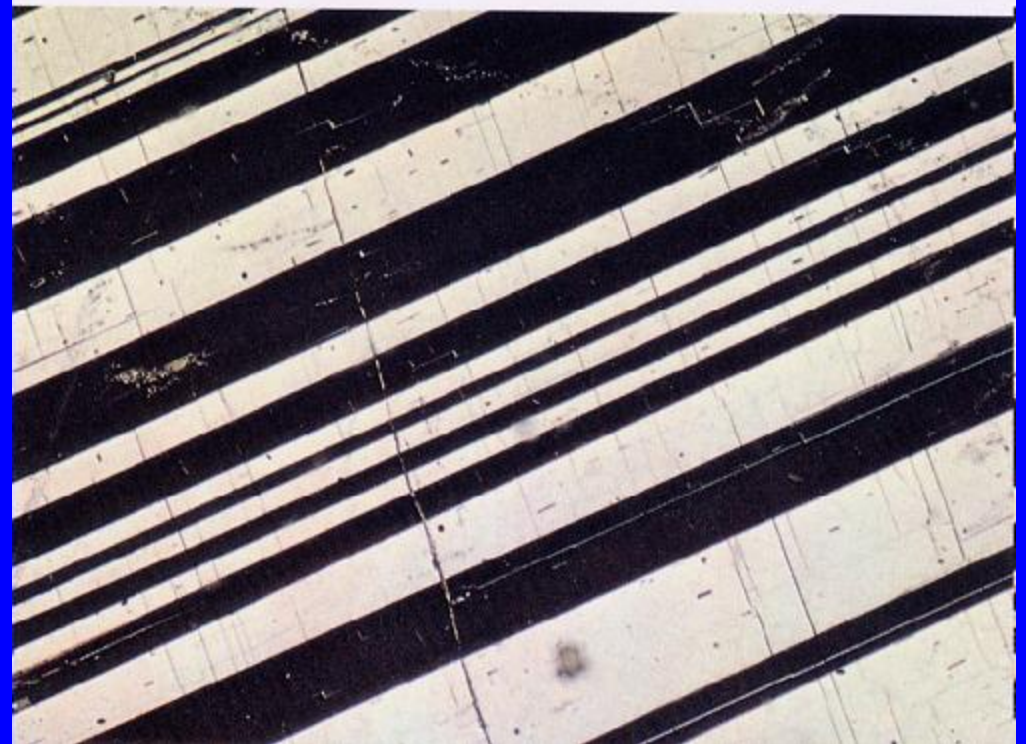


30 Prismatic crystals of sanidine in plane-polarized light (x 13).



Πολυδιδυμία

Κρύσταλλος πλαγιόκλαστου σε // (άνω φωτ.) και διασταυρωμένα (κάτω φωτ.) Nicols. Το πλαγιόκλαστο είναι άχρωμο ορυκτό (άνω φωτ.). Στα διασταυρωμένα Nicols φαίνεται η πολυδιδυμία υπό μορφή παράλληλων μαύρων-λευκών ταινιών (θέσεις κατάσβεσης και έγχρωμης πόλωσης αντίστοιχα).



Ζώνωση



Φαινοκρύσταλλοι πλαγιόκλαστου σε λεπτοκρυσταλλική κύρια μάζα (σε διασταυρωμένα Nicols). Στη σύμφυση κρυστάλλων πλαγιόκλαστου στο αριστερό τμήμα της φωτογραφίας φαίνεται τόσο η πολυδιδυμία υπό μορφή παράλληλων μαύρων-λευκών ταινιών όσο και η χημική ζώνωση υπο μορφή ομόκεντρων μαύρων και γκρί δακτύλιων (θέσεις κατάσβεσης και έγχρωμής πόλωσης αντίστοιχα).



Φαινοκρύσταλλος πλαγιόκλαστου σε λεπτοκρυσταλλική κύρια μάζα (σε διασταυρωμένα Nicols). Η χημική ζώνωση παρουσιάζεται υπο μορφή ομόκεντρων μαύρων και γκρί δακτύλιων (θέσεις κατάσβεσης και έγχρωμής πόλωσης αντίστοιχα).

Κυματοειδής κατάσβεση

Κρύσταλλοι χαλαζία (σε διασταυρωμένα Nicols) σε θέσεις έγχρωμης πόλωσης (λευκά και γκρί χρώματα) και κατάσβεσης (μαύρες περιοχές). Οι κρύσταλλοι παρουσιάζουν κυματοειδή κατάσβεση (διαφορετικά τμήματα του ιδίου κόκκου έρχονται σε κατάσβεση σε διαφορετικό χρόνο) λόγω τεκτονικής καταπόνησης.



Περθίτες-Μικροπερθίτες

Να-ούχος άστριος (αλβίτης)
υπό μορφή λευκών ταινιών
(θέσεις έγχρωμης πόλωσης)
που έχει απομιχτεί απο Κ-ούχο
άστριο (κύρια μάζα με γκρί
χρώματα έγχρωμης πόλωσης)
(σε διασταυρωμένα Nicols).



Χρώματα Πόλωσης ή Συμβολής

(interference colours)

Interference Colors and Birefringence

Chlorite

Epidote

Titanite

Orthopyroxene

Hornblende Olivine

Calcite →

Feldspars

Clinopyroxene

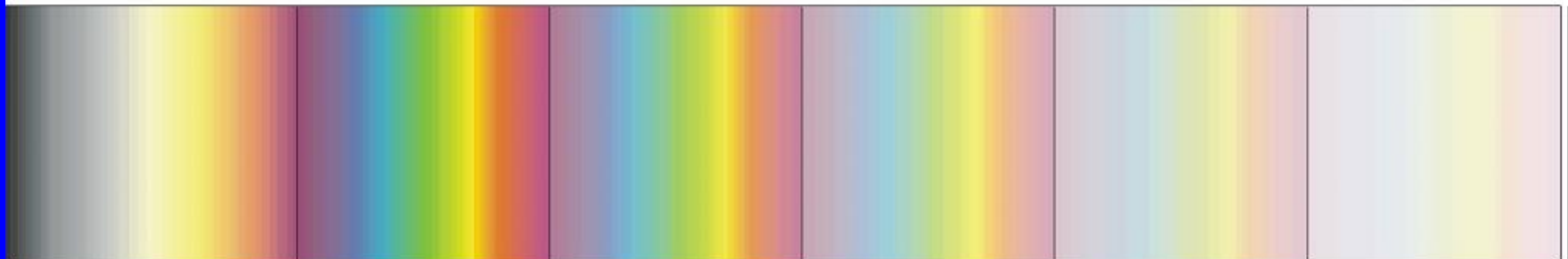
Biotite

Dolomite

Quartz

Sillimanite

Muscovite



Increasing birefringence →

1st order

2nd order

3rd order

4th order

5th order

6th order

Order of interference colors

Χρώματα πόλωσης ή συμβολής (Interference colours)

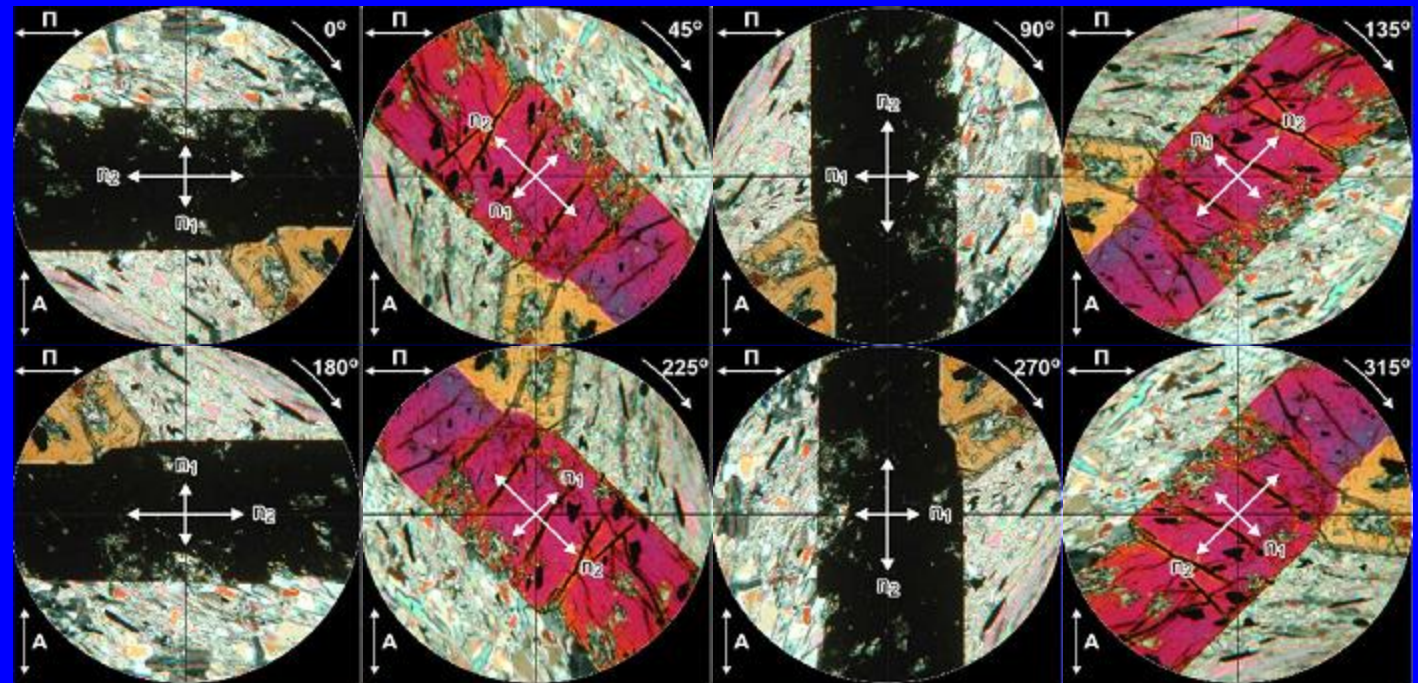
Κατά την παρατήρηση με πολωτή και αναλύτη μόνο (χωρίς λεπτή τομή στην τράπεζα του μικροσκοπίου), το οπτικό πεδίο του μικροσκοπίου εμφανίζεται να είναι σκοτεινό.

- Στα ισότροπα ορυκτά (κυβικό σύστημα) σε όλες τις τομές του ορυκτού εμφανίζεται μόνο κατάσβεση (συνεχής κατάσβεση). Το ίδιο συμβαίνει και στις ισότροπες τομές ανισοτρόπων ορυκτών (τομές κάθετες στον/στους οπτικό/οπτικούς άξονες μοναξόνων/διαξόνων κρυστάλλων).

- Στα ανισότροπα ορυκτά και στις ανισότροπες τομές τους (όλες οι υπόλοιπες τομές), εμφανίζονται χρώματα πόλωσης ή συμβολής όταν εργαζόμαστε με πολωτή και αναλυτή. Οι 4 θέσεις έγχρωμης πόλωσης βρίσκονται στις 45° ως προς τις 4 θέσεις κατάσβεσης. Απέχουν μεταξύ τους 90° όπως και οι θέσεις κατάσβεσης. Η μόνη αλλαγή στα χρώματα συμβολής είναι ότι γίνονται λαμπρότερα ή πιο σκοτεινά με την περιστροφή της τράπεζας.

Ανισότροπα ορυκτά - 4κις κατάσβεση και έγχρωμη πόλωση

Οι διευθύνσεις κράδανσης των δύο ακτινών (τακτικής και έκτακτης), δηλαδή οι άξονες ελαστικότητας της τομής συμβολίζονται με δύο διανύσματα κάθετα μεταξύ τους με μέγεθος που αντιστοιχεί στους δείκτες διάθλασης των δύο ακτινών (n_1 και n_2).



Όταν οι άξονες ελαστικότητας της τομής συμπίπτουν με το σταυρόνημα, τότε έχουμε θέσεις κατάσβεσης: το φως διέρχεται από το ορυκτό με διεύθυνση κράδανσης A-Δ, φτάνει στον αναλυτή με διεύθυνση κράδανσης B-N και κατασβένυται. Σε μία πλήρη περιστροφή της τράπεζας το φαινόμενο αυτό συμβαίνει 4 φορές (τετράκις κατάσβεση).

Όταν άξονες ελαστικότητας της τομής δεν συμπίπτουν με το σταυρόνημα οι δύο ακτίνες λόγω της διαφορετικής τους ταχύτητας αποκτούν μία διαφορά πορείας Δ . Φτάνουν στον αναλυτή με τις διευθύνσεις κράδανσής τους υπό γωνία ως προς τις διευθύνσεις κράδανσης του πολωτή και αναλυτή. Από τον αναλυτή διέρχονται οι συνιστώσες των ακτίνων που είναι παράλληλες με τη διεύθυνση κράδανσης του αναλυτή, ενώ αποσβένυνται οι συνιστώσες που είναι παράλληλες με τη διεύθυνση κράδανσης του πολωτή. Οι δύο διερχόμενες συνιστώσες συμβάλλουν και, κατά τη συμβολή, κάποιες από τις ακτινοβολίες του λευκού φωτός κατασβένυνται μερικώς ή ολικώς με αποτέλεσμα να διέλθουν από τον αναλυτή οι συμπληρωματικές. Αποτέλεσμα: Το ορυκτό εμφανίζει χρώμα πόλωσης.

Εντός της λεπτής τομής η από τον πολωτή προερχόμενη φωτεινή ακτίνα E υφίσταται διπλή διάθλαση και αναλύεται σε δύο συνιστώσες την E' και την O' κατά τους άξονες ελαστικότητας της τομής δηλ. σε επίπεδα κράδανσης κάθετα μεταξύ τους και έχουν διαφορετικές ταχύτητες και δείκτες διάθλασης. Οι δύο αυτές ακτίνες εξέρχονται από τη λεπτή τομή και είναι παράλληλες μεταξύ τους και ευθύγραμμα πολωμένες.

Εάν n_1 και n_2 οι δ.δ. των αξόνων ελαστικότητας της τομής και d το πάχος της λεπτής τομής τότε στο πάχος αυτό εμπεριέχονται d/λ_1 και d/λ_2 μήκη κύματος για την τακτική και την έκτακτη ακτίνα (άξονες ελαστικότητας της τομής) αντίστοιχα.

Η διαφορά φάσεως $\varphi = d (1/\lambda_1 - 1/\lambda_2) = d \cdot n (1/v_1 - 1/v_2)$

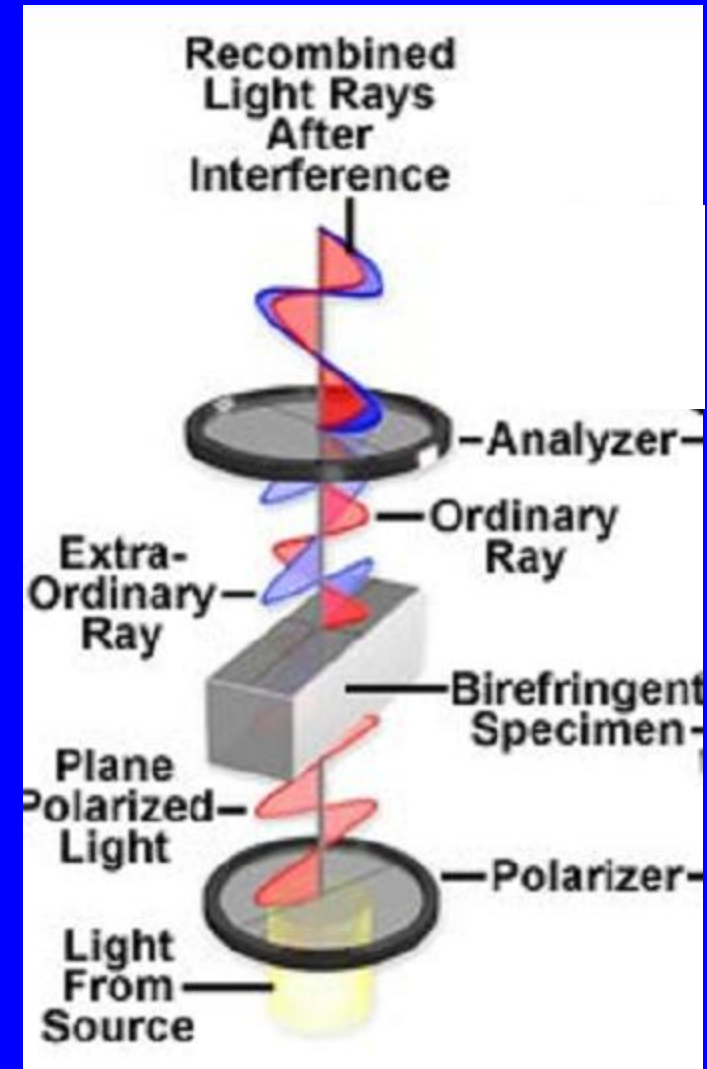
Η διαφορά πορείας $\Delta = d \cdot \lambda \cdot n (1/v_1 - 1/v_2) = d (c/v_1 - c/v_2) = d (n_2 - n_1)$

Η διαφορά πορείας εξαρτάται από το πάχος της λεπτής τομής και τη διαφορά $n_2 - n_1$ της τομής (διπλοθλαστικότητα) δηλ. τον προσανατολισμό της τομής ως προς το ελλειψοειδές

Κατόπιν οι δύο ακτίνες συναντούν τον αναλύτη υπό γωνία δηλαδή σχηματίζουν γωνία με το επίπεδο κράδανσης του αναλυτή.

Εντός του αναλυτή κάθε μία από τις δύο κράδανσεις αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μία κατά το επίπεδο του αναλυτή και μία κάθετα σε αυτό. Οι δύο συνιστώσες που πάλλονται κάθετα στο επίπεδο του αναλυτή δεν διέρχονται από αυτόν. Οι δύο άλλες διέρχονται και συμβάλουν (φαινόμενα κατασβεστικής συμβολής) και μετά την κατάσβεση ορισμένου χρώματος (ορισμένου μήκους κύματος), τα υπόλοιπα θα δώσουν το συμπληρωματικό χρώμα, δηλ χρώμα έγχρωμης πόλωσης ή συμβολής.

Η από τη συμβολή προερχόμενη φωτεινή ακτίνα εισέρχεται στον προσοφθάλμιο φακό και τη βλέπει ο παρατηρητής.



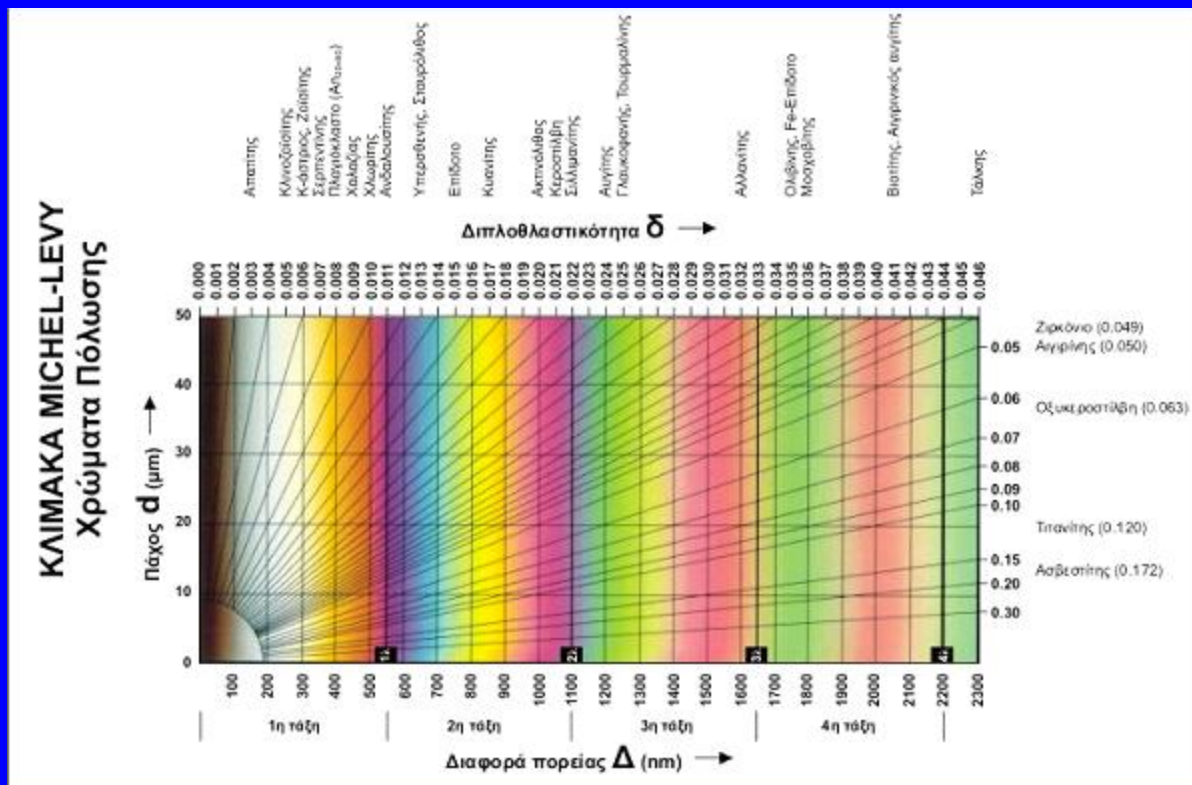
Κλίμακα Michel-Levy - χρώματα πόλωσης

Η κλίμακα Michel-Levy δείχνει την σειρά των χρωμάτων πόλωσης και βοηθά στην αναγνώριση ορυκτών στο πολωτικό μικροσκόπιο. Στην κλίμακα συσχετίζονται η διαφορά πορείας Δ (σε nm), η διπλοθλαστικότητα δ και το πάχος d (σε μm). Κάθε χρώμα πόλωσης αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη διαφορά πορείας (υστέρηση), δηλ. εξαρτάται από το πάχος και τη διπλοθλαστικότητα $\Delta = d (n_2 - n_1)$.

Διπλοθλαστικότητα (birefringence) ονομάζεται η διαφορά των δεικτών διάθλασης των δύο ακτινών, της τακτικής και της έκτακτης. Η διπλοθλαστικότητα εξαρτάται από τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό της τομής. Η Μεγίστη διπλοθλαστικότητα του ορυκτού (αντιστοιχεί σε μέγιστη διαφορά πορείας) μετράται σε τομή // σε O.A ή επίπεδο O.A

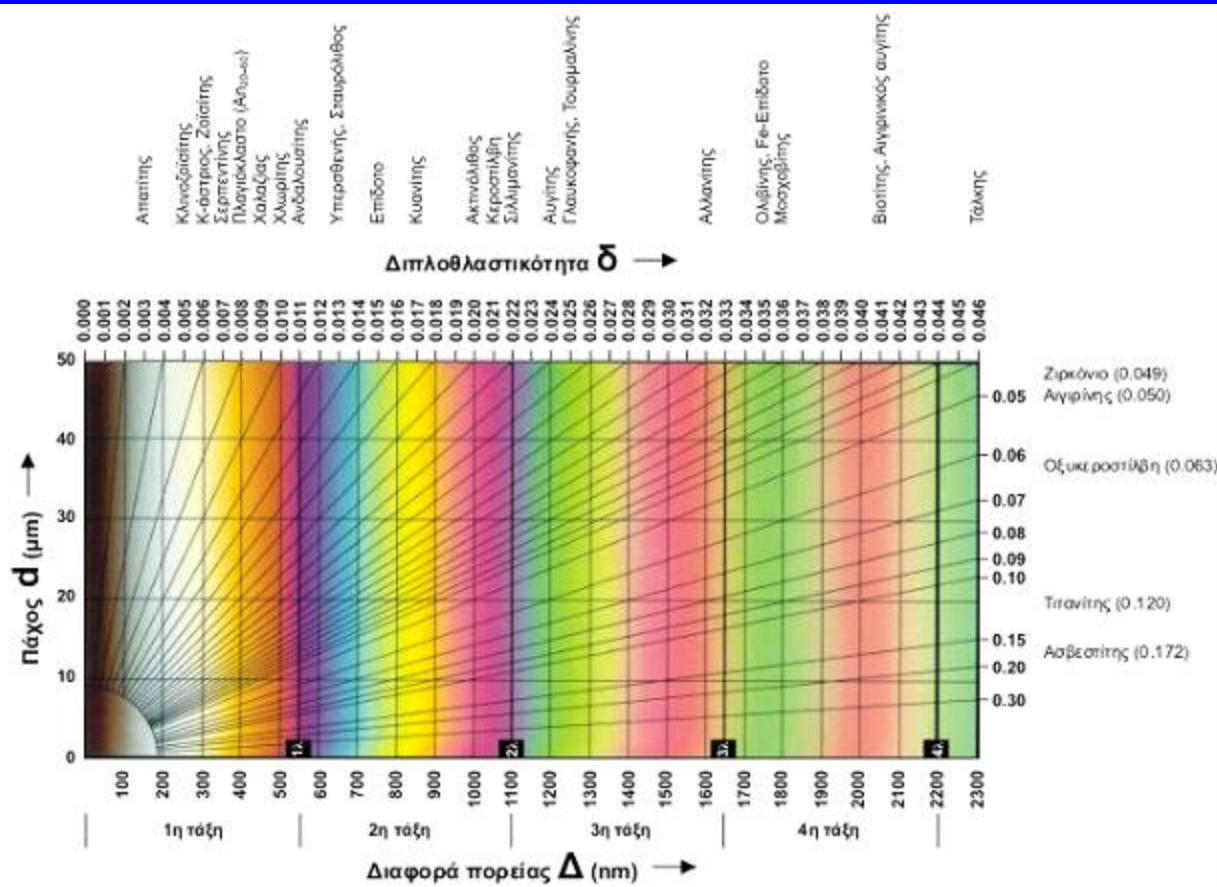
Μέγιστη διπλοθλαστικότητα μοναξόνων $(n_e - n_o)$ ή $(n_o - n_e)$

Μέγιστη διπλοθλαστικότητα διαξόνων $(n_g - n_p)$ ή $(n_y - n_a)$



<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/>

ΚΛΙΜΑΚΑ MICHEL-LEVY Χρώματα Πόλωσης



<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/>

Κλίμακα Michel-Levy

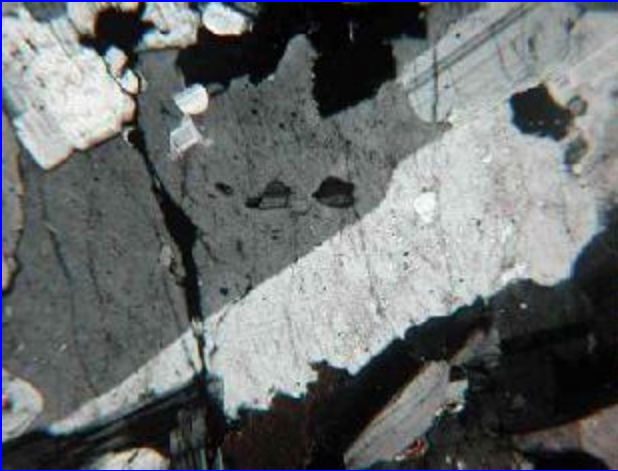
Διαφορετικές τομές του ίδιου ορυκτού έχουν διαφορετικά χρώματα πόλωσης, δηλαδή διαφορετικές τιμές διαφοράς πορείας και διαφορετικές τιμές διπλοθλαστικότητας.

Ορυκτά με χαμηλή διπλοθλαστικότητα έχουν τομές με χρώματα πόλωσης I τάξεως (γκρίζα, άσπρα, πορτοκαλί έως κόκκινα (αντιστοιχούν σε διαφορά πορείας < 550 nm) .

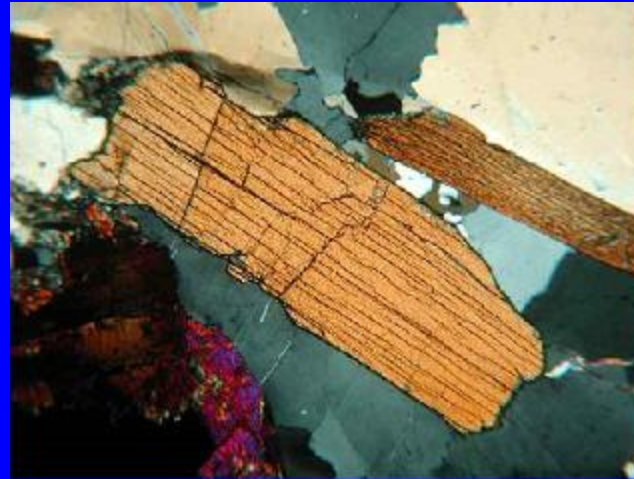
Ορυκτά με υψηλή διπλοθλαστικότητα έχουν τομές με χρώματα πόλωσης II τάξης (μώβ, μπλε, πράσινα, κίτρινα έως κόκκινα (αντιστοιχούν σε διαφορά πορείας > 550 nm)

Ορυκτά με υψηλότερη διπλοθλαστικότητα έχουν τομές με χρώματα πόλωσης III και ανώτερης τάξης, έχουν τομές ανοιχτόχρωμες (διαφορά πορείας > 1100 nm) .

Χρώματα πόλωσης



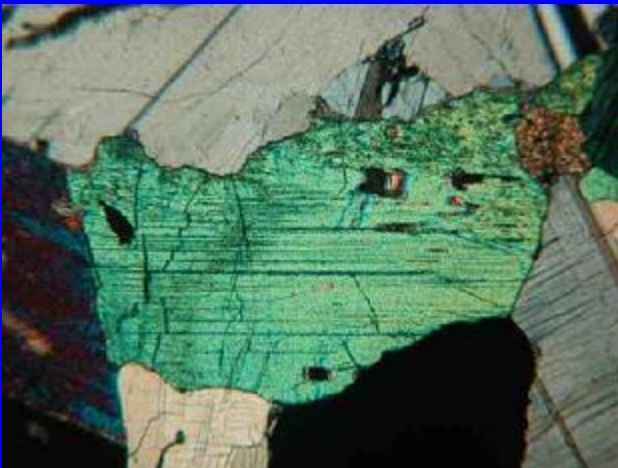
Γκριζα χαμηλά 1ης τάξης
(Κ-άστριος).



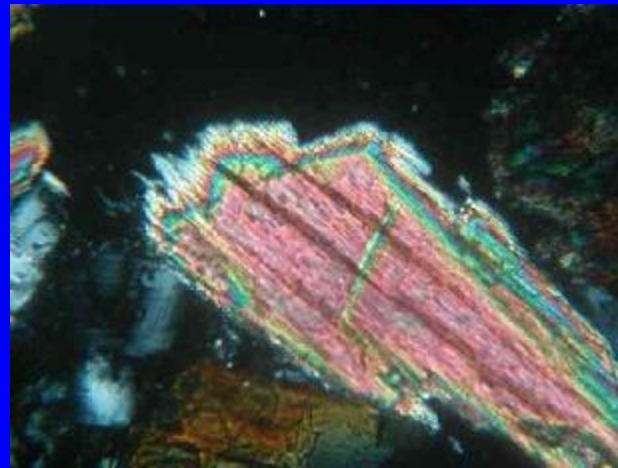
Κίτρινο 1ης τάξης
(Κυανίτης).



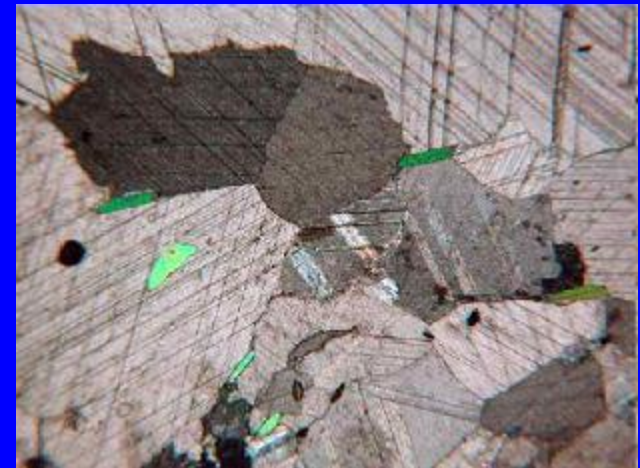
Ερυθρό 1ης τάξης
(Σταυρόλιθος).



Κυανοπράσινο 2ης τάξης
(Αυγίτης).

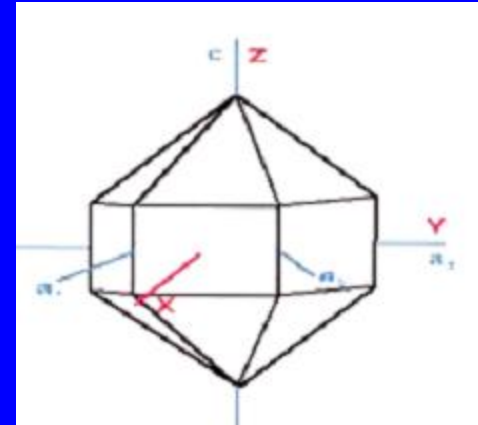
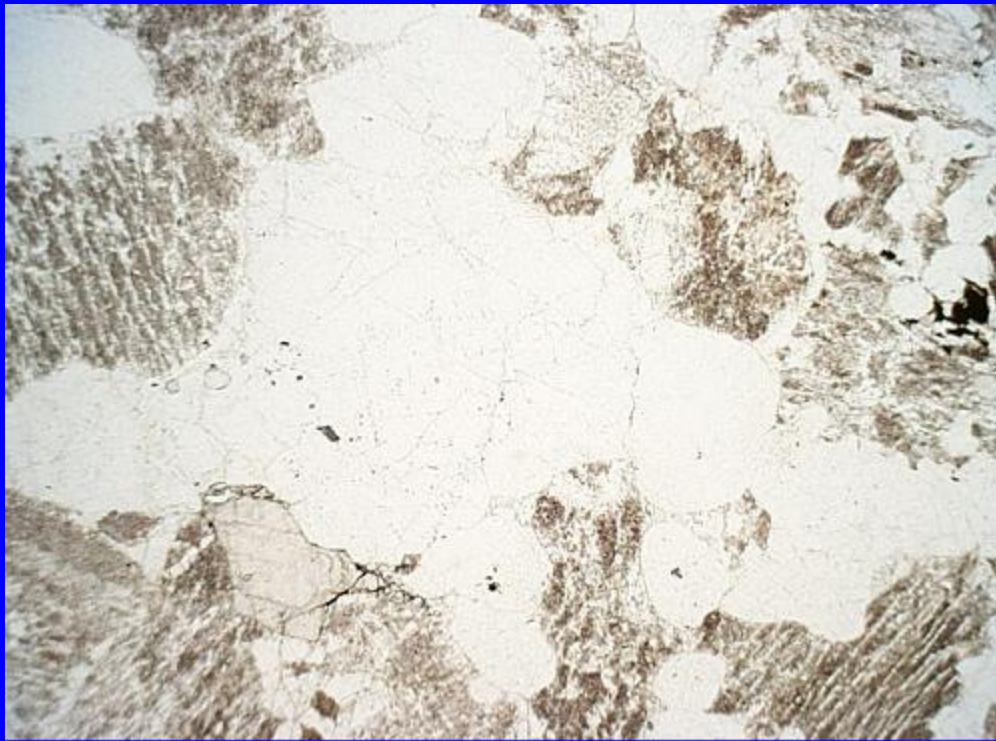


Ερυθρό 2ης τάξης
(Καστανή κεροσίλβη).

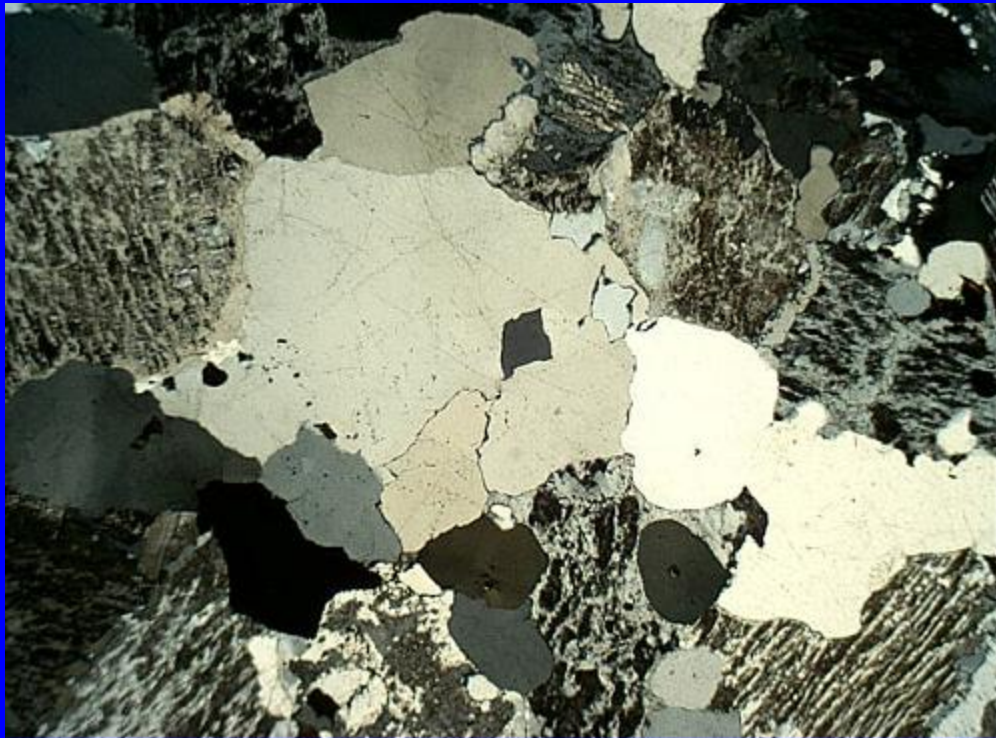


Πολύ υψηλά 4ης τάξης και άνω
(Ασβεσίτης).

Χρώματα πόλωσης I τάξης (χαλαζίας, άστριος)

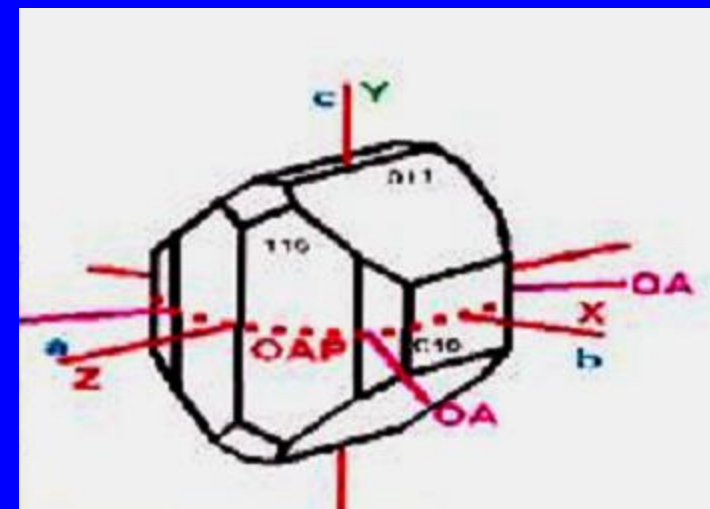
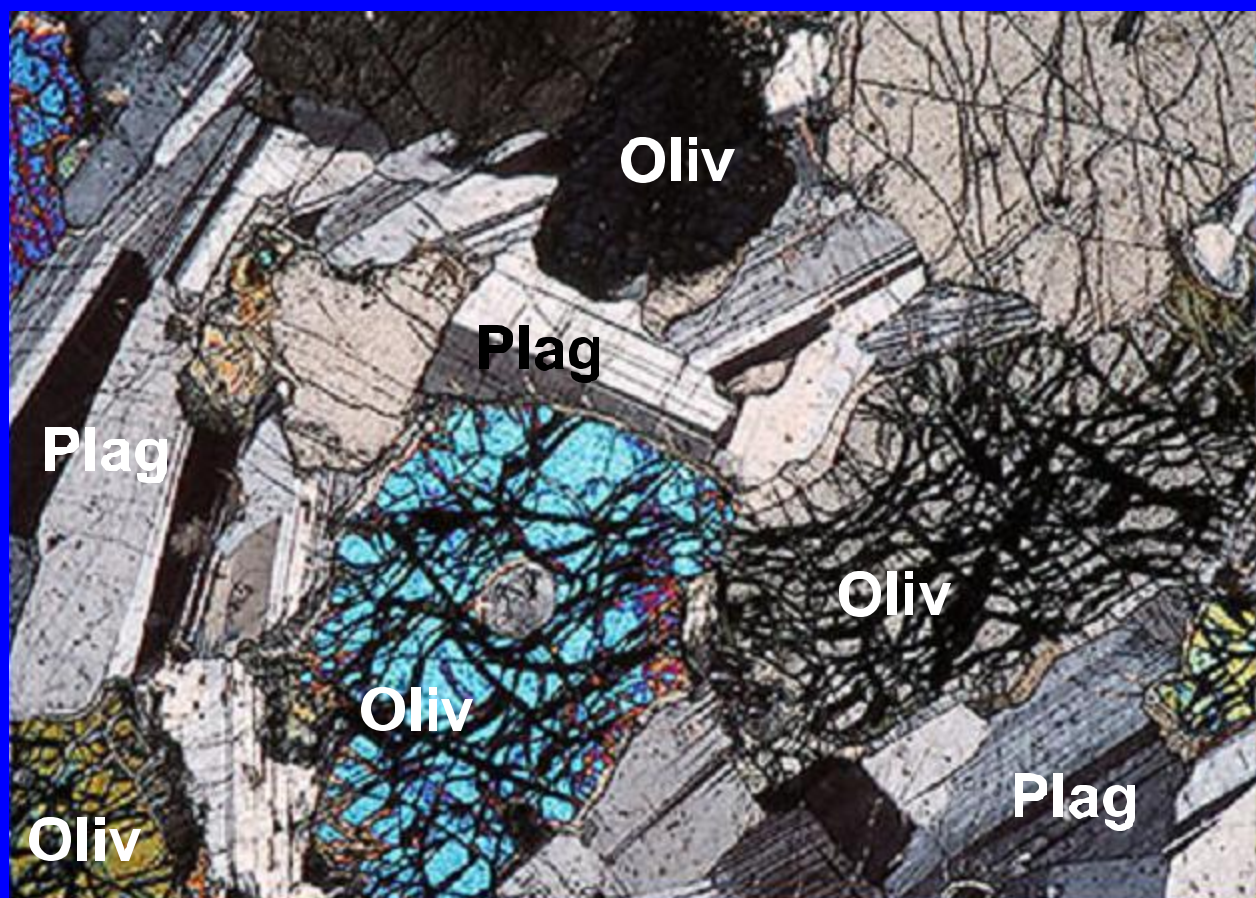


Χαλαζίας



Χαλαζίας (αχρωμος) και K-Na-ούχοι άστριοι (άχρωμοι που εμφανίζονται καστανοί λόγω αποσάθρωσης) στα // Nicols (άνω φωτ.). Σε διασταυρωμένα Nicols διακρίνονται διαφορετικές τομές των παραπάνω ορυκτών που είτε ευρίσκονται σε θέσεις κατάσβεσης είτε σε θέσεις έγχρωμης πόλωσης. Τα χρώματα πόλωσης και των δύο ανωτέρω ορυκτών είναι χαμηλά, I τάξης γκρι έως λευκά (αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές διπλοθλαστικότητας και διαφοράς πορείας ανάλογα με τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό κάθε κόκκου ορυκτού στην τομή) (βλέπε παρακάτω)

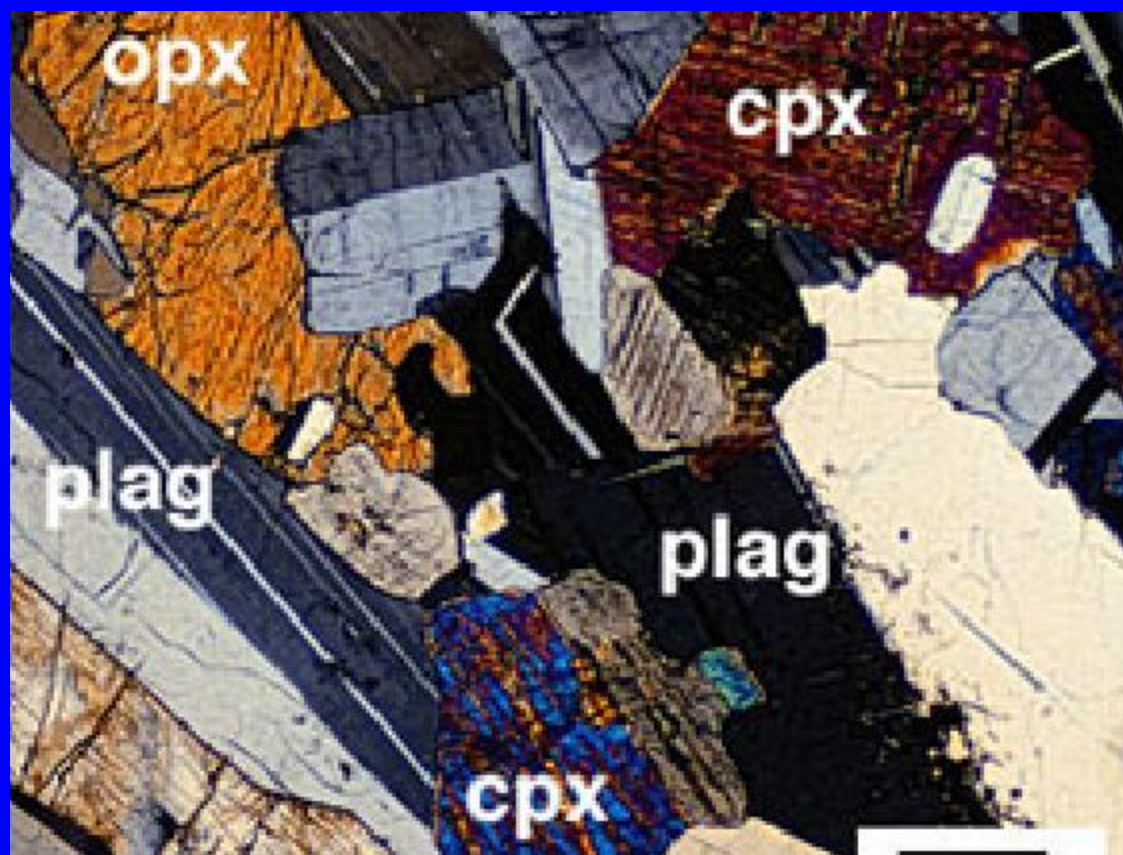
Χρώματα πόλωσης I τάξης (πλαγιόκλαστο) και II τάξης (ολιβίνης)



Ολιβίνης

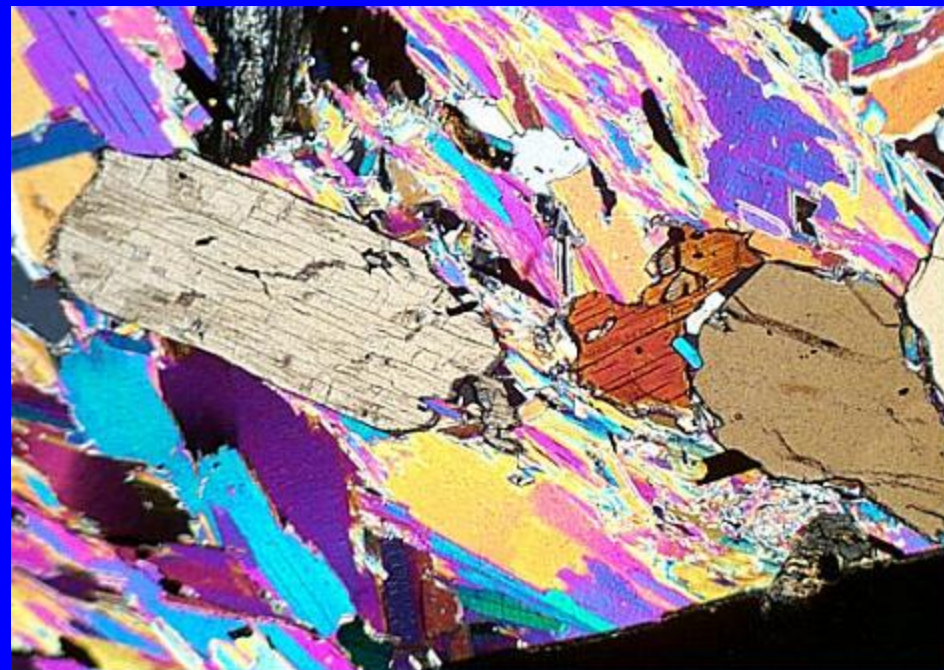
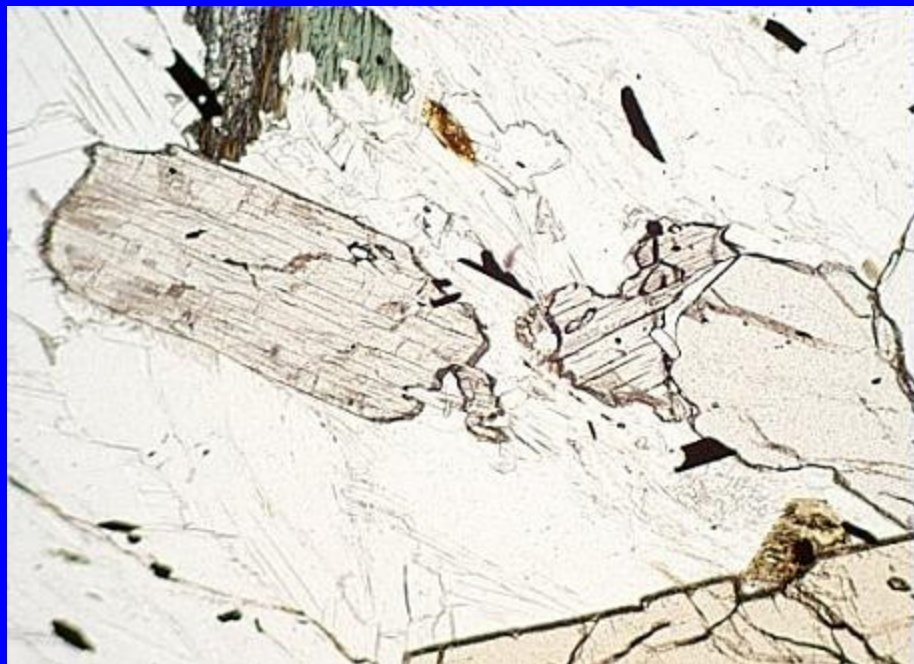
Πλαγιόκλαστα (γκρί-λευκά χρώματα πόλωσης I τάξης) με πολυδιδυμίες, και ολιβίνης με χρώματα πόλωσης II τάξης σε διασταυρωμένα Nicols. Διακρίνονται διαφορετικές τομές του ολιβίνη που είτε ευρίσκονται σε θέσεις κατάσβεσης (πάνω τμήμα φωτογραφίας) είτε σε θέσεις έγχρωμης πόλωσης. Τα χρώματα πόλωσης του ολιβίνη (κίτρινο και κυανό II τάξης καθώς και γκρί I τάξης) αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές διπλοθλαστικότητας και διαφοράς πορείας ανάλογα με τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό κάθε κόκκου ορυκτού στην τομή).

Χρώματα πόλωσης I τάξης (πλαγιόκλαστο) και ΙΙ τάξης (πυρόξενοι)



Πλαγιόκλαστα (γκρί-λευκά χρώματα πόλωσης I τάξης) με πολυδιδυμίες, και κλινο- και ορθοπυρόξενοι (cpx, opx) με χρώματα πόλωσης ΙΙ (και Ι) τάξης σε διασταυρωμένα Nicols. Διακρίνονται διαφορετικές τομές των πυροξένων που ευρίσκονται σε θέσεις έγχρωμης πόλωσης. Τα χρώματα πόλωσης των πυροξένων (πορτοκαλί και κόκκινο I τάξης καθώς και ιώδες ΙΙ τάξης) αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές διπλοθλαστικότητας και διαφοράς πορείας ανάλογα με τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό κάθε κόκκου ορυκτού στην τομή).

Χρώματα πόλωσης I τάξης (κυανίτης) και ΙΙΙ τάξης (μοσχοβίτης)

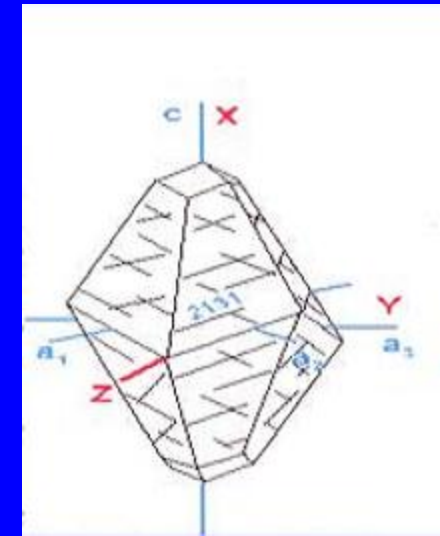


Κυανίτης και μοσχοβίτης (και τα δύο άχρωμο ορυκτά σε // Nicols όπου ο κυανίτης διακρίνεται για το υψηλότερο ανάγλυφο σε σχέση με τον μοσχοβίτη (αριστερή φωτ.). Σε διασταυρωμένα Nicols διακρίνονται διαφορετικές τομές των παραπάνω ορυκτών που είτε ευρίσκονται σε θέσεις κατάσβεσης είτε σε θέσεις έγχρωμης πόλωσης. Τα χρώματα πόλωσης του κυανίτη είναι χαμηλά, I τάξης κίτρινο έως πορτοκαλί-ερυθρό, ενώ του μοσχοβίτη έως ΙΙΙ τάξης ενώ υπάρχουν και τομές με χρώματα ΙΙ τάξης (αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές διπλοθλαστικότητας και διαφοράς πορείας ανάλογα με τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό κάθε κόκκου ορυκτού στην τομή)

Χρώματα πόλωσης ανώτερης τάξης (ασβεσίτης, τιτανίτης)



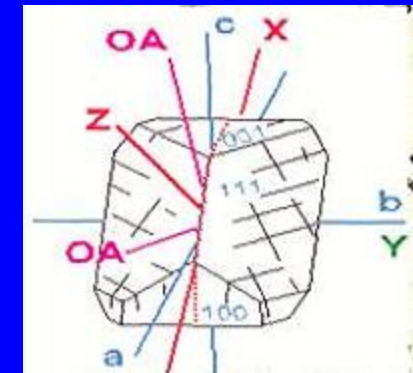
Κρύσταλλοι ασβεσίτης σε θέσεις έγχρωμης πόλωσης (με χρώματα πόλωσης ανώτερης τάξης) και θέση κατάσβεσης (κάτω τμήμα φωτ.) Διακρίνεται ο διπλός σχισμός του ορυκτού. Διασταυρωμένα Nicols.



Ασβεσίτης

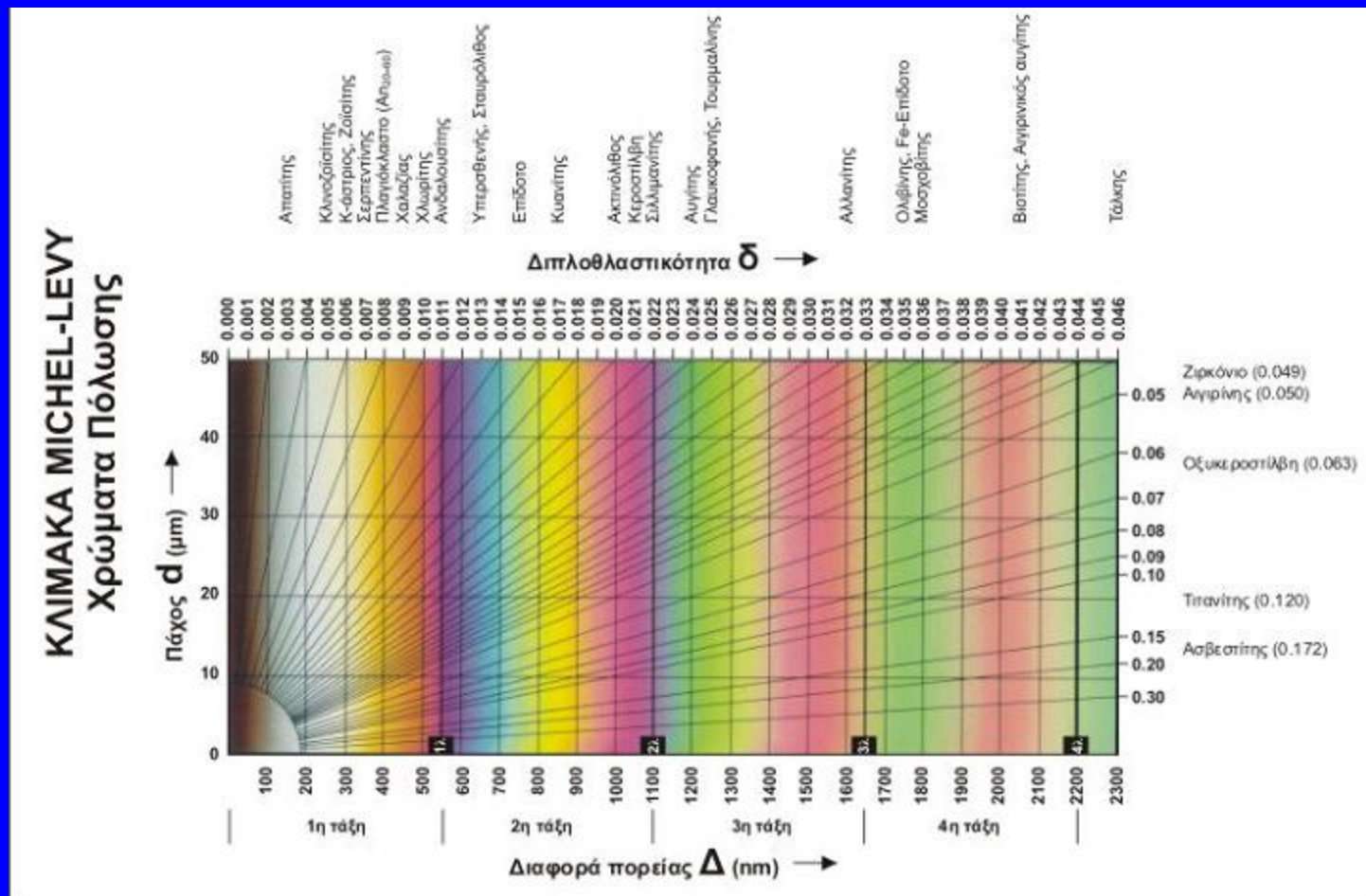
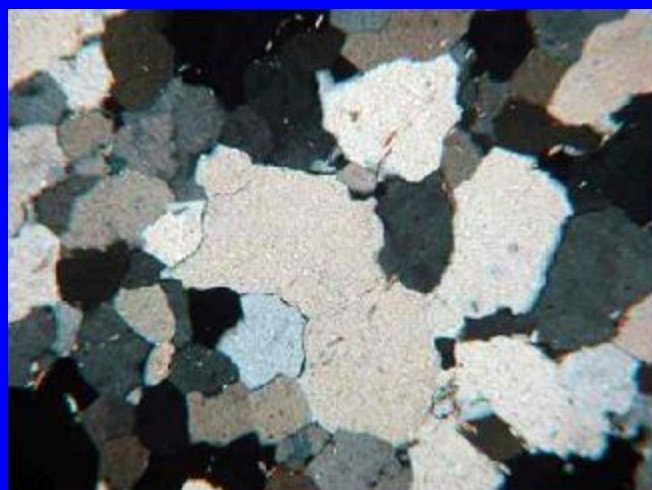


Ιδιόμορφος κρύσταλλος τιτανίτη με χρώματα πόλωσης ανώτερης τάξης που εγκλείεται εντός Κ-ούχου άστριου με γκρί χρώματα πόλωσης I τάξης. Στο κάτω αριστερό τμήμα της φωτ. διακρίνονται διάφορες τομές κρυστάλλων του ορυκτού βιοτίτης με χρώματα πόλωσης III τάξης. Διασταυρωμένα Nicols.



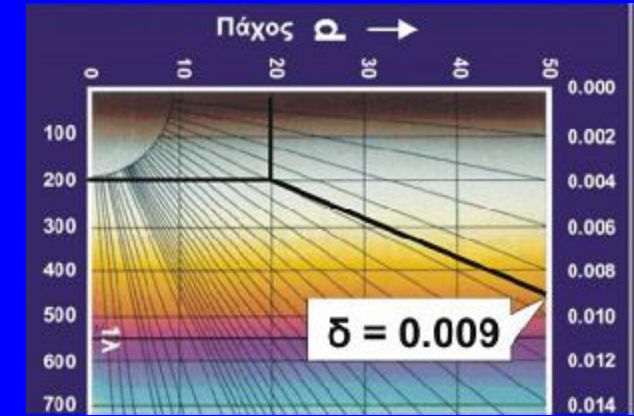
Τιτανίτης

Προσδιορισμός της διπλοθλαστικότητας με βάση τα χρώματα πόλωσης στη κλίμακα Michel-Levy (π.χ χαλαζίας- Μονάξων)



Ο χαλαζίας είναι ορυκτό με χαμηλή διπλοθλαστικότητα. Στην λεπτή τομή (αριστερά) οι κρύσταλλοι χαλαζία εμφανίζουν χαμηλά χρώματα πόλωσης από λευκά 1ης τάξης έως χαμηλά γκριζα 1ης τάξης και μαύρα. Το χρώμα πόλωσης που αντιστοιχεί στη διπλοθλαστικότητα του χαλαζία είναι το υψηλότερο από αυτά, δηλαδή το λευκό 1ης τάξης. Στην κλίμακα Michel-Levy το λευκό 1ης τάξης αντιστοιχεί σε διαφορά πορείας $\Delta \sim 250$ nm. Η διαγώνια γραμμή που ξεκινά από το σημείο τομής της οριζόντιας γραμμής (για $\Delta \sim 250$ nm) και της κατακόρυφης (για $d = 30$ μm) μας δείχνει ότι ο χαλαζίας έχει διπλοθλαστικότητα $\delta = 0,009$. Σημείωση: Οι κρύσταλλοι με τα πολύ σκούρα γκριζα χρώματα πόλωσης έως μαύρα είναι κάθετοι σε οπτικό άξονα.

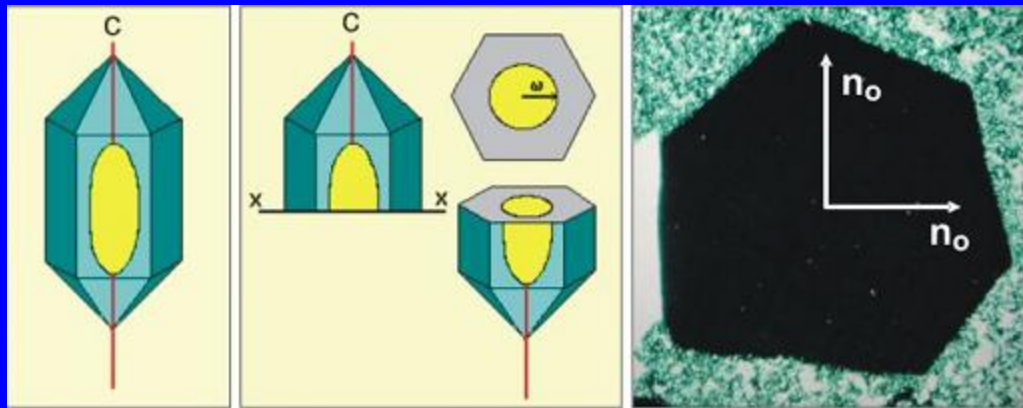
Σχέση προσανατολισμού ορυκτών στη λεπτή τομή, διπλοθλαστικότητας και χρωμάτων πόλωσης. Π.χ σε τρεις διαφορετικές τομές στον χαλαζία (οπτικά μονάξων)



A. Τομή κάθετη στον άξονα c και τον οπτικό άξονα.

Ελάχιστη διπλοθλαστικότητα $\delta = 0$

Διαρκής κατάσβεση ή πολύ χαμηλό χρώμα πόλωσης



Σε τομή κάθετη στον άξονα c και τον οπτικό άξονα του χαλαζία: η τομή του ελλειψοειδούς είναι κύκλος με ακτίνα n_o η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι $\delta = 0$.

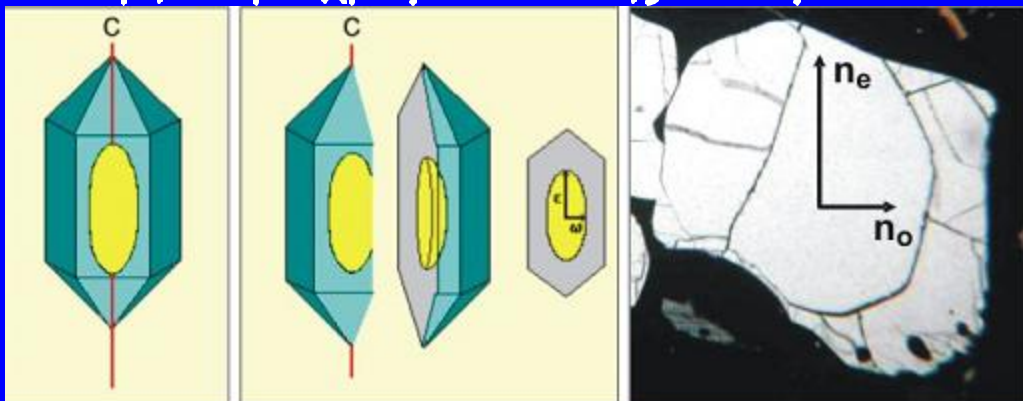
Αποτέλεσμα: $\Delta = d \cdot \delta = 0$

(Διαρκής κατάσβεση)

Σημείωση: Η τομή μπορεί να μην είναι εντελώς σκοτεινή αλλά να εμφανίζει πολύ χαμηλά χρώματα πόλωσης, όταν είναι περίπου κάθετη στον οπτικό άξονα

B. Τομή παράλληλη στον άξονα c και τον οπτικό άξονα. Μέγιστη διπλοθλαστικότητα $\delta = n_e - n_o$.

Το υψηλότερο χρώμα πόλωσης του ορυκτού



Σε τομή παράλληλη στον άξονα c και τον οπτικό άξονα του χαλαζία: η τομή του ελλειψοειδούς είναι έλλειψη με ακτίνες n_e και n_o η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι μέγιστη $\delta = n_e - n_o$ πχ. για το χαλαζία $\delta = 1,553 - 1,544 = 0,009$

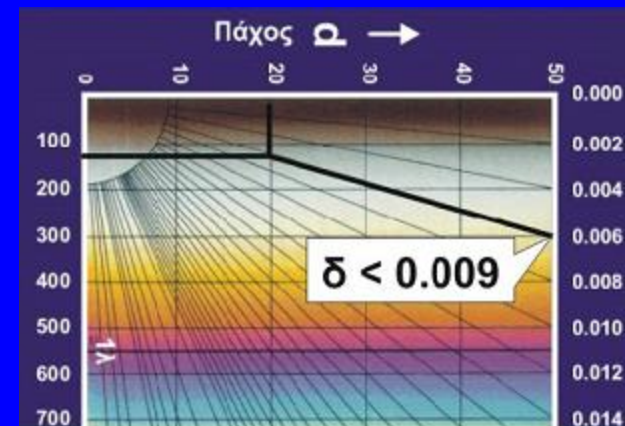
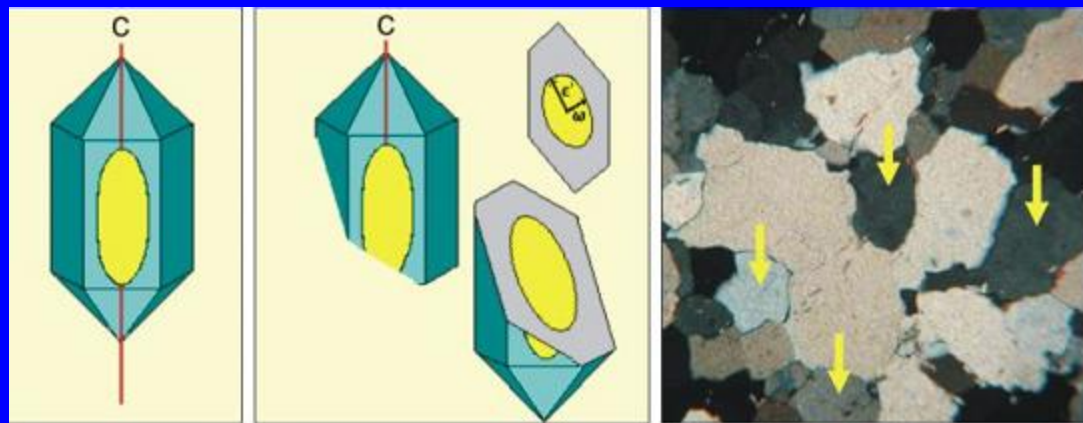
Αποτέλεσμα: Η τομή εμφανίζει το υψηλότερο χρώμα πόλωσης του ορυκτού. πχ. για το χαλαζία και για πάχος τομής 20 μm αυτό είναι το λευκό 1ης τάξης (αντιστοιχεί σε $\Delta \sim 200 \text{ nm}$)

Σχέση προσανατολισμού ορυκτών στη λεπτή τομή, διπλοθλαστικότητας και χρωμάτων πόλωσης (χαλαζίας)

Γ. Τομή ενδιάμεση υπό γωνία ως προς τον άξονα c και τον οπτικό άξονα)

Ενδιάμεση διπλοθλαστικότητα $\delta = n_e' - n_o$ ($0 < \delta < n_e - n_o$)

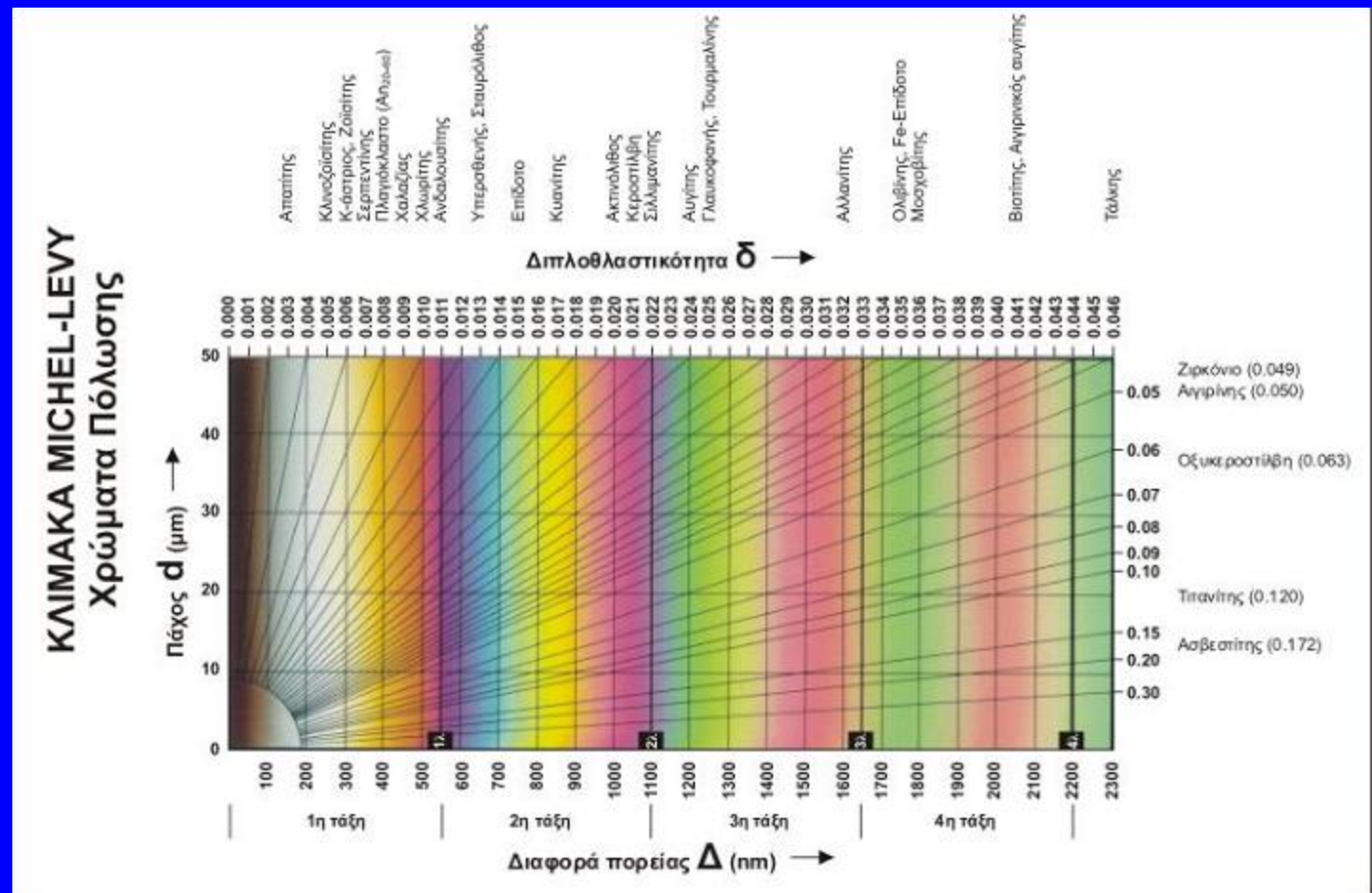
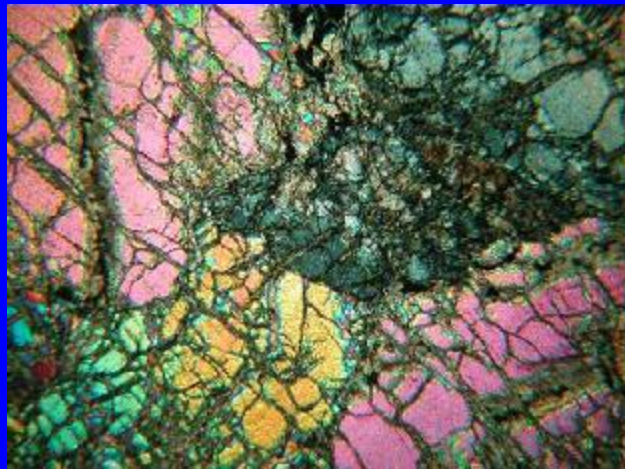
Ενδιάμεσο χρώμα πόλωσης



Σε τυχαία τομή υπό γωνία ως προς τον άξονα c και τον οπτικό άξονα του χαλαζία: η τομή του ελλειψοειδούς είναι έλλειψη με ακτίνες n_e' και n_o (όπου n_e' μεταξύ n_e και n_o) η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι ενδιάμεση $\delta = n_e' - n_o$ (μεταξύ 0 και $n_e - n_o$) πχ. για το χαλαζία $0 < \delta < 0,009$

Αποτέλεσμα: Η τομή εμφανίζει ενδιάμεσο χρώμα πόλωσης, ανάμεσα στο μαύρο (ή σκούρο γκριζο) και το υψηλότερο χρώμα πόλωσης του ορυκτού. πχ. για το χαλαζία και για πάχος τομής 20 μm αυτό είναι το ανοικτό ή σκούρο γκριζο 1ης τάξης (αντιστοιχεί σε $\Delta < 200$ nm)

Προσδιορισμός της διπλοθλαστικότητας με βάση τα χρώματα πόλωσης στη κλίμακα Michel-Levy (π.χ Ολιβίνης - Διάξονας)

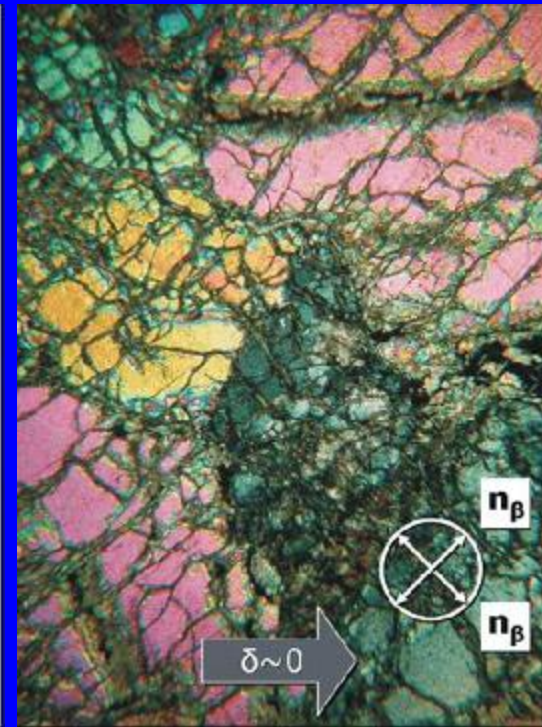
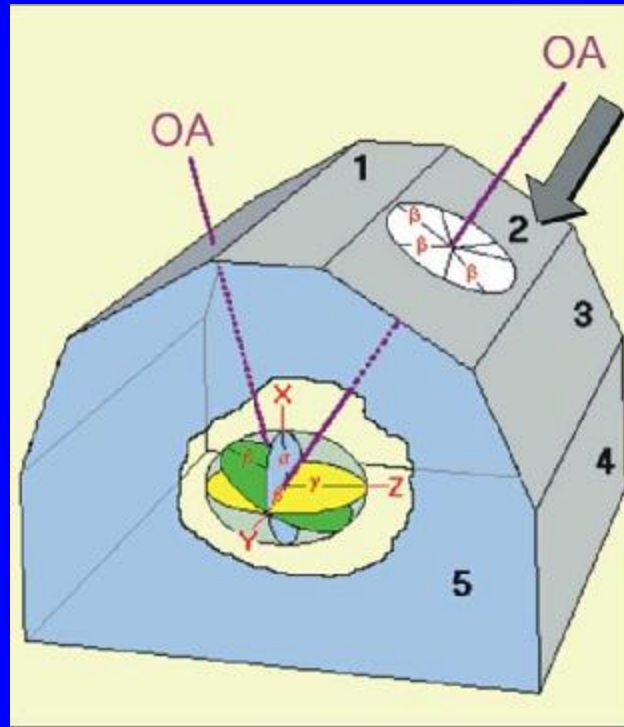


Στην λεπτή τομή οι κρύσταλλοι ολιβίνη εμφανίζουν υψηλά χρώματα πόλωσης από ερυθρό 2ης τάξης (επάνω αριστερά και κάτω δεξιά), πράσινο και κίτρινο 2ης τάξης (κάτω αριστερά) έως χαμηλά γκριζα 1ης τάξης (επάνω δεξιά). Το χρώμα πόλωσης που αντιστοιχεί στη διπλοθλαστικότητα του ολιβίνης είναι το υψηλότερο από αυτά, δηλαδή το ερυθρό 2ης τάξης. Στην κλίμακα Michel-Levy το ερυθρό 2ης τάξης αντιστοιχεί σε διαφορά πορείας $\Delta \sim 1050$ nm. Η διαγώνια γραμμή που ξεκινά από το σημείο τομής της οριζόντιας γραμμής (για $\Delta \sim 1050$ nm) και της κατακόρυφης (για $d = 30$ μm) μας δείχνει ότι ο ολιβίνης έχει διπλοθλαστικότητα $\delta = 0,035$. Σημείωση: Ο κρύσταλλος με τα γκριζα χρώματα πόλωσης είναι κάθετος σε οπτικό άξονα.

Σχέση προσανατολισμού ορυκτών στη λεπτή τομή, διπλοθλαστικότητας και χρωμάτων πόλωσης (π.χ. ολιβίνης - Ρομβικό σύστημα - Διάξονας)

Ας θεωρήσουμε ένα διάξονα κρύσταλλο (π.χ. ολιβίνη), ο οποίος κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα και έχει:

$$\begin{aligned}n_{\alpha} &= 1,635 \\n_{\beta} &= 1,644 \\n_{\gamma} &= 1,670\end{aligned}$$

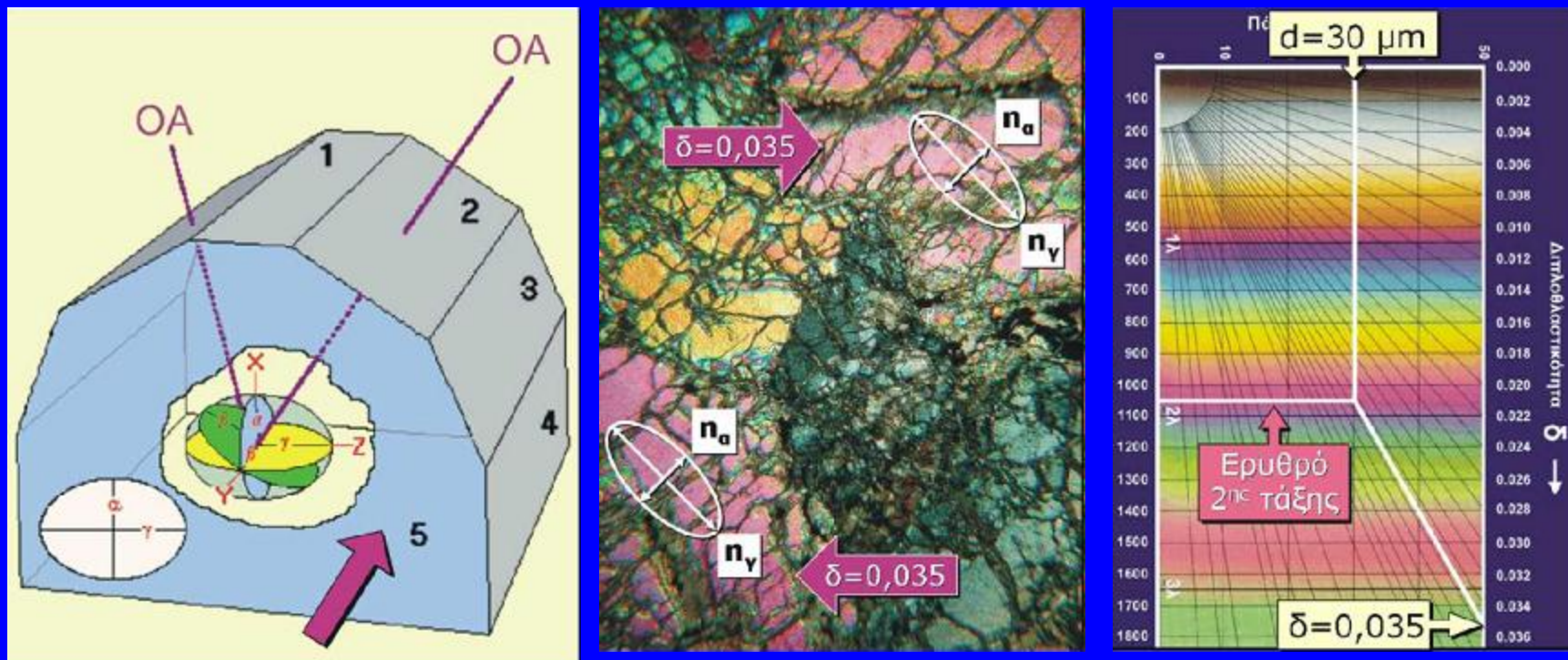


A. Τομή κάθετη σε οπτικό άξονα.

Ελάχιστη διπλοθλαστικότητα $\delta = 0$. Διαρκής κατάσβεση ή πολύ χαμηλό χρώμα πόλωσης

Σε τομή κάθετη στον οπτικό άξονα του κρυστάλλου (π.χ. τομή 2), η τομή του ελλειψοειδούς είναι κύκλος με ακτίνα n_{β} και η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι $\delta=0$. Αποτέλεσμα: Διαρκής κατάσβεση. Σημείωση: Η τομή μπορεί να μην είναι εντελώς σκοτεινή αλλά να εμφανίζει πολύ χαμηλά χρώματα πόλωσης, όταν είναι περίπου κάθετη στον οπτικό άξονα

Σχέση προσανατολισμού ορυκτών στη λεπτή τομή, διπλοθλαστικότητας και χρωμάτων πόλωσης (π.χ. ολιβίνης - Ρομβικό σύστημα - Διάξονας)



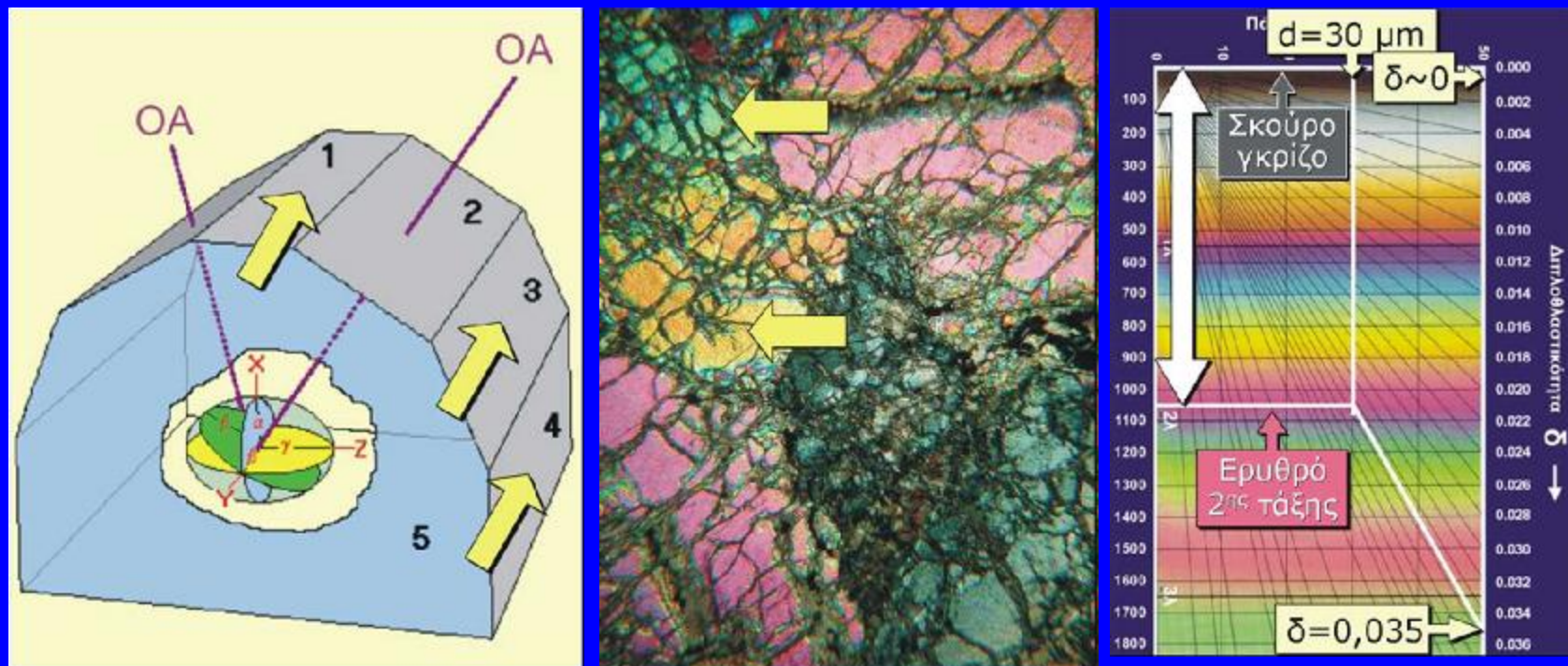
Β. Τομή παράλληλη στο επίπεδο οπτικών αξόνων.

Μέγιστη διπλοθλαστικότητα $\delta = n_{\gamma} - n_{\alpha}$, Το υψηλότερο χρώμα πόλωσης του ορυκτού

Σε τομή παράλληλη στο επίπεδο οπτικών αξόνων του κρυστάλλου (πχ. τομή 5): η τομή του ελλειψοειδούς είναι έλλειψη με ακτίνες n_{γ} και n_{α} η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι μέγιστη $\delta = n_{\gamma} - n_{\alpha}$ πχ. για το συγκεκριμένο ορυκτό $\delta = 1,670 - 1,635 = 0,035$

Αποτέλεσμα: Η τομή εμφανίζει το υψηλότερο χρώμα πόλωσης του ορυκτού. πχ. για το συγκεκριμένο ορυκτό και για πάχος τομής 30 μm αυτό είναι το ερυθρό 2ης τάξης

Σχέση προσανατολισμού ορυκτών στη λεπτή τομή, διπλοθλαστικότητας και χρωμάτων πόλωσης (π.χ. ολιβίνης - Ρομβικό σύστημα - Διάξονας)



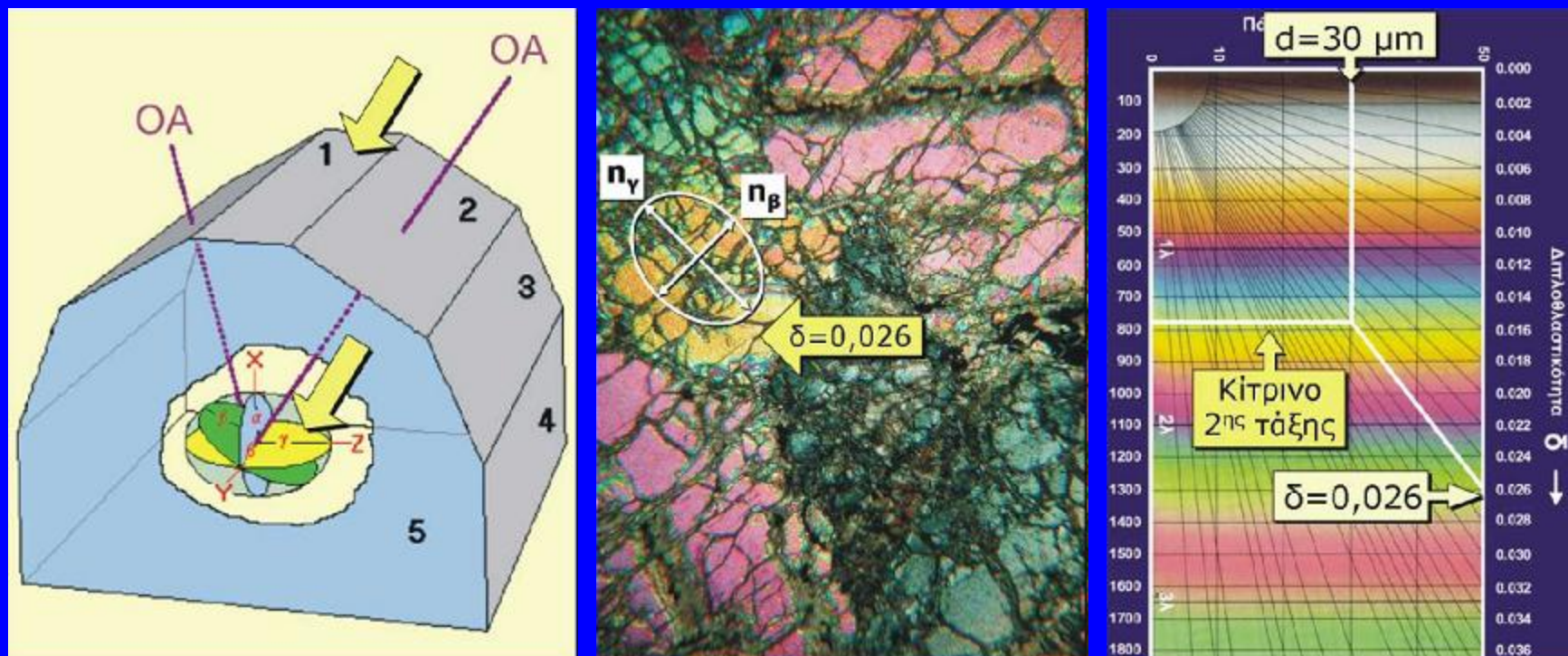
Γ. Τομή ενδιάμεση,

Ενδιάμεση διπλοθλαστικότητα $\delta = n\gamma' - n\alpha'$ ($0 < \delta < n\gamma - n\alpha$) Ενδιάμεσο χρώμα πόλωσης

Σε τομή ενδιάμεση (π.χ. τομές 1, 3, 4): η τομή του ελλειψοειδούς είναι έλλειψη με ακτίνες $n\gamma'$ (μεταξύ $n\gamma$ και $n\beta$) και $n\alpha'$ (μεταξύ $n\beta$ και $n\alpha$) η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι ενδιάμεση $\delta = n\gamma' - n\alpha'$ (μεταξύ 0 και $n\gamma - n\alpha$) π.χ. για το συγκεκριμένο ορυκτό $0 < \delta < 0,035$

Αποτέλεσμα: Η τομή εμφανίζει ενδιάμεσο χρώμα πόλωσης, ανάμεσα στο μαύρο (ή σκούρο γκριζο) και το υψηλότερο χρώμα πόλωσης του ορυκτού. π.χ. για το συγκεκριμένο ορυκτό και για πάχος τομής 30 μm αυτό μπορεί να είναι κάποιο χρώμα πόλωσης 1ης ή 2ης τάξης (περιοχή λευκού διπλού βέλους στην κλίμακα Michel-Levy).

Σχέση προσανατολισμού ορυκτών στη λεπτή τομή, διπλοθλαστικότητας και χρωμάτων πόλωσης (π.χ. ολιβίνης - Ρομβικό σύστημα - Διάξονας)



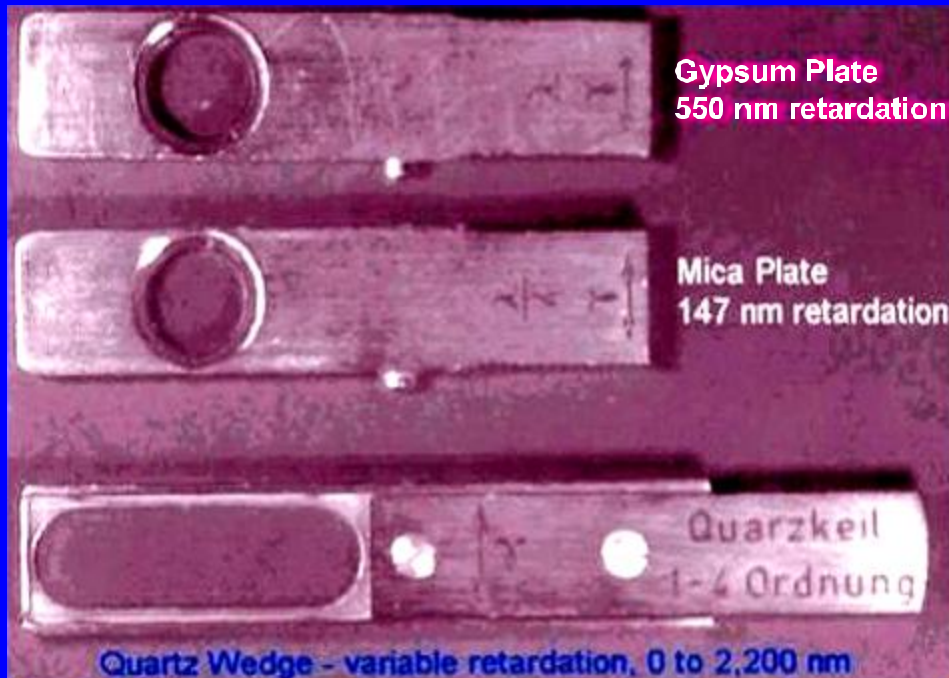
Δ. Τομή παράλληλη στην κύρια τομή Y-Z.

Ενδιάμεση διπλοθλαστικότητα $\delta = n_\gamma - n_\beta$, Ενδιάμεσο χρώμα πόλωσης

Σε τομή παράλληλη στην κύρια τομή Y-Z (πχ. τομή 1): η τομή αυτή ανήκει στις ενδιάμεσες περιπτώσεις η τομή του ελλειψοειδούς είναι έλλειψη με ακτίνες n_γ και n_β η διπλοθλαστικότητα της τομής είναι ενδιάμεση $\delta = n_\gamma - n_\beta$ πχ. για το συγκεκριμένο ορυκτό $\delta = 1,670 - 1,644 = 0,026$
Αποτέλεσμα: Η τομή εμφανίζει ενδιάμεσο χρώμα πόλωσης. πχ. για το συγκεκριμένο ορυκτό και για πάχος τομής 30 μm αυτό είναι το κίτρινο 2ης τάξης

Αντισταθμιστές

Είναι λεπτές τομές διπλοθλαστικών κρυστάλλων που παρεμβάλλονται μεταξύ του πολωτή και του αναλυτή, σε γωνία 45° ως προς τα επίπεδα κραδάνσεως του πολωτή και του αναλυτή. Έχουν χαραγμένη την διεύθυνση κράδανσης του $n_y = n_g =$ μεγάλος δείκτης διάθλασης = αργή ακτίνα.



Οι αντισταθμιστές εισάγουν άλλοι μεταβλητή διαφορά πορείας (σφήνα χαλαζία) και άλλοι σταθερή διαφορά πορείας (υστέρηση) όπως:

Αντισταθμιστές γύψου εισάγουν διαφορά πορείας λ δηλ. (550 nm) παράγοντας έτσι το ερυθρό χρώμα πρώτης τάξης.

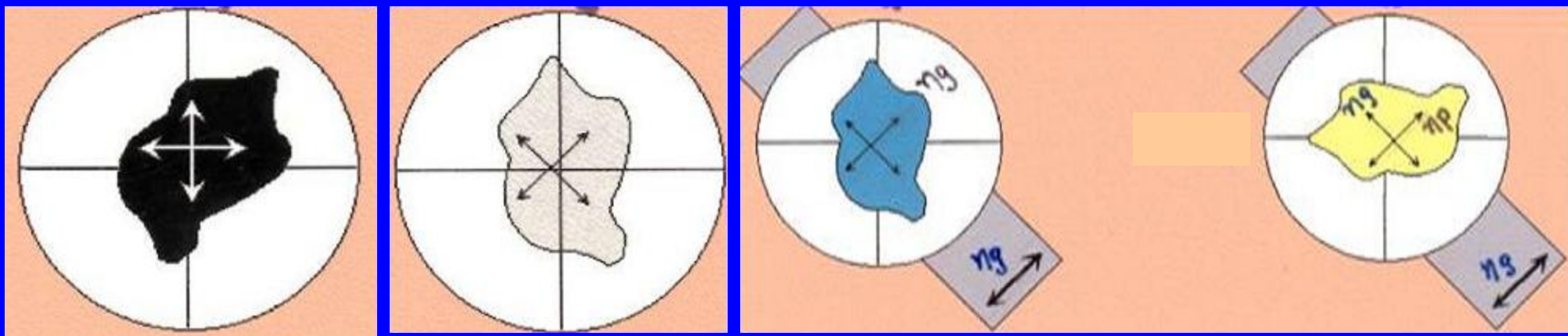
Αντισταθμιστές μαρμαρυγία $\lambda/4$ περίπου 140 nm - παράγοντας το γκρίζο χρώμα πρώτης τάξης.

Με τους αντισταθμιστές προσδιορίζονται:

- i) η θέση των αξόνων ελαστικότητας της τομής δηλ. ο n_g (n_y) και ο n_p (n_x)
- ii) η τάξη των χρωμάτων συμβολής της λεπτής τομής
- iii) Επιμήκυνση

1) Για να προσδιορίσουμε τους άξονες ελαστικότητας της τομής (δηλ. τη θέση του $\eta_g = \eta_y$ και του $\eta_p = \eta_x$).

1. Περιστρέφουμε την τράπεζα για να φέρουμε τον κόκκο σε θέση κατάσβεσης και σ' αυτή τη θέση οι διευθύνσεις των αξόνων ελαστικότητας του κόκκου είναι παράλληλες προς το σταυρόνημα του μικροσκοπίου.
2. Περιστρέφουμε στη συνέχεια την τράπεζα 45° κατά οποιαδήποτε φορά. Ο κόκκος θα πρέπει να παρουσιάζει χρώμα πόλωσης (συμβολής). Στη συνέχεια πρέπει να στρέψουμε και άλλες 90° .
3. Εισάγουμε το Πλακίδιο της Γύψου και στις δύο θέσεις δηλ. των 45° και των 90° . Το χρώμα συμβολής που παρουσιάζεται τώρα στον κόκκο είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο από το καταγραμμένο στο βήμα 2. δηλ. το χρώμα μετατοπίζεται δεξιά ή αριστερά στην κλίμακα κατά 550 nm όση και η διαφορά φάσης που εισάγει ο αντισταθμιστής μας (πρόσθεση ή αφαίρεση).
4. Εάν το χρώμα αυξάνεται, ανεβαίνοντας τον πίνακα, ο η_g του αντισταθμιστή είναι παράλληλος προς τον η_g του κόκκου του ορυκτού. Εάν το χρώμα ελαττώνεται, κατεβαίνοντας το πίνακα, ο η_g του αντισταθμιστή είναι παράλληλος προς τον η_p του κόκκου του ορυκτού.

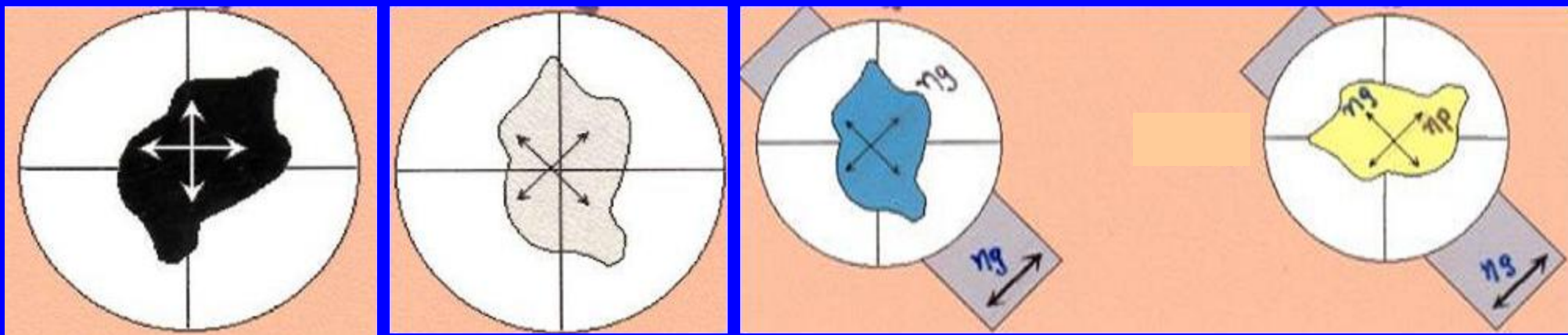


2. Τρόπος προσδιορισμού της τάξης των χρωμάτων πόλωσης (συμβολής) σε τομή κρυστάλλου

Αρχικά περιστρέφεται η τράπεζα κατά 45° από τη θέση κατάσβεσης και παρατηρείται το χρώμα πόλωσης της τομής. Αυτό το χρώμα καλούμαστε να το προσδιορίσουμε και να το εντάξουμε στα χρώματα Ιης, ΙΙας, ΙΙΙης ή ανωτέρας τάξης.

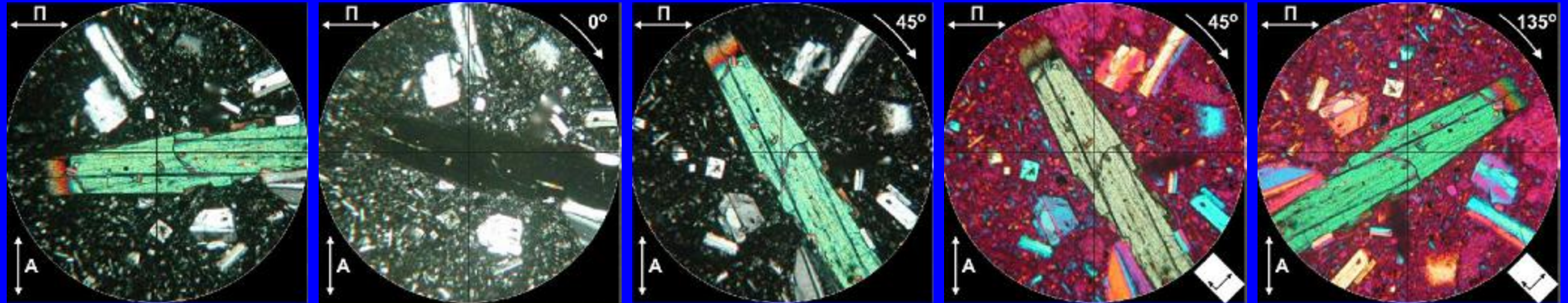
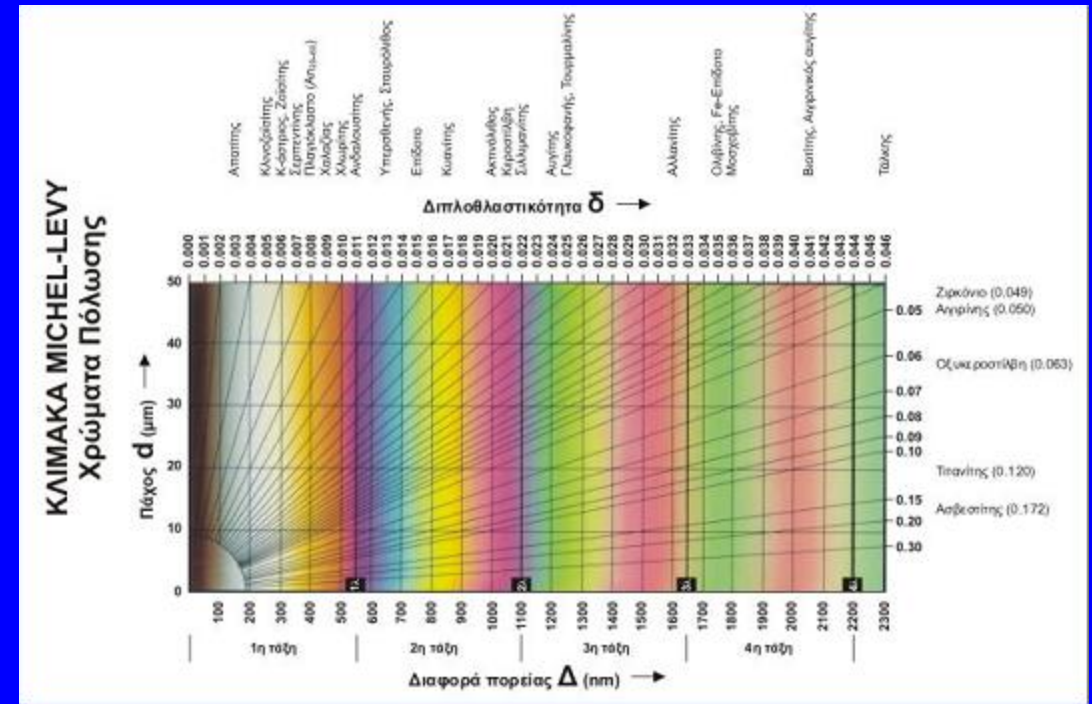
·Γενικά θα πρέπει τα χρώματα που παρατηρούνται με τον αντισταθμιστή στη θέση αυτή των 45° αλλά και στη θέση των 90° (δηλ. ακολουθεί και νέα περιστροφή κατά 90°) να ταυτίζονται με τα χρώματα που προκύπτουν μετά από τη πρόσθεση ή τη αφαίρεση του χρώματος του αντισταθμιστή (π.χ. 550 nm) με/από το χρώμα του ορυκτού (π.χ. 250 nm , γκρι Ι τάξης).

·εισάγεται ο αντισταθμιστής και το χρώμα πόλωσης που παρατηρούμε στη θέση των 45° μετακινείται σε χρώμα ανώτερης τάξης (γιατί είναι προϊόν πρόσθεσης) ή χρώμα χαμηλότερης τάξης (γιατί είναι προϊόν αφαίρεσης) στη κλίμακα Michel-Levy. Το ίδιο συμβαίνει και με το χρώμα που παρατηρούμε στη νέα θέση των 90°



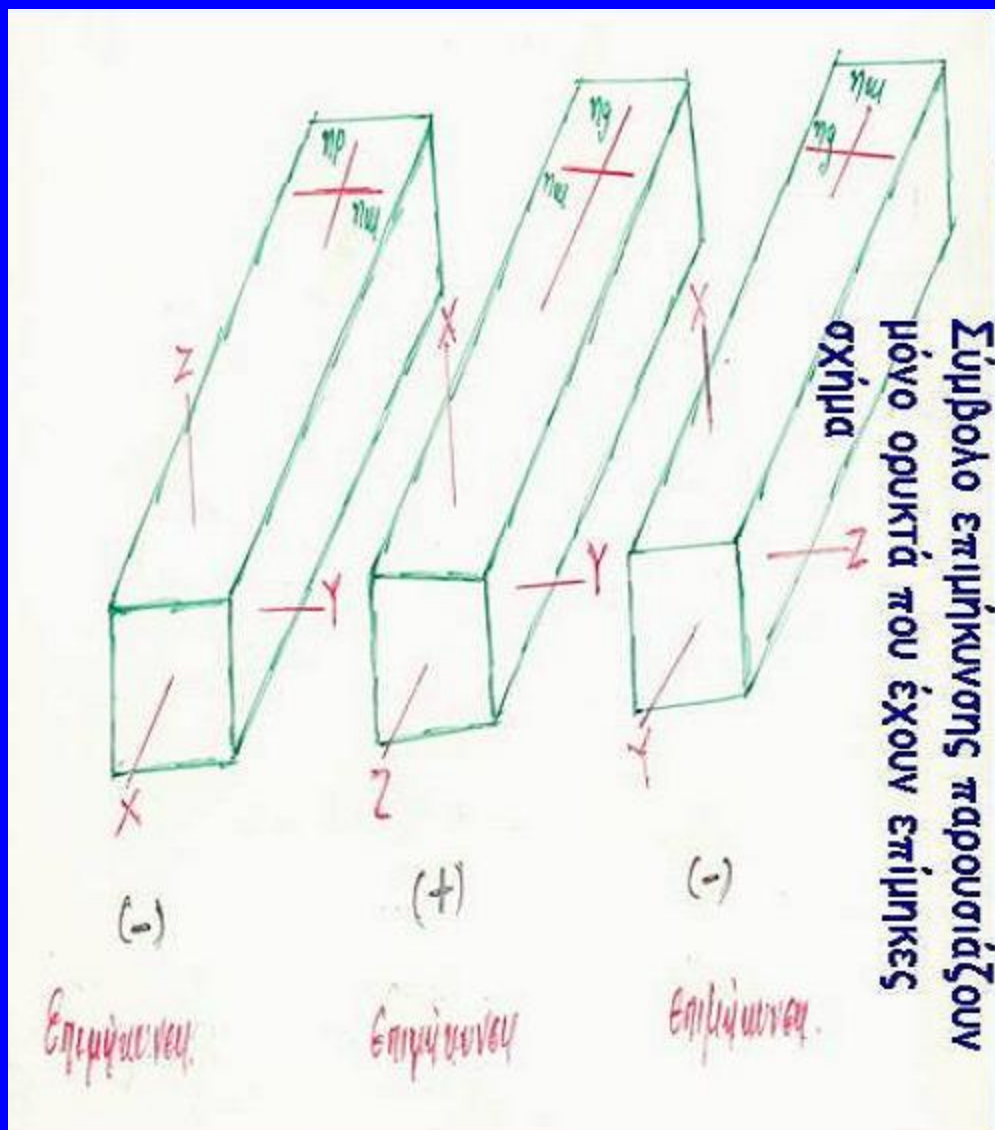
Προσδιορισμός του χρώματος πόλωσης με τη βοήθεια του αντισταθμιστή

Ο κρύσταλλος της κερροσίλβης εμφανίζει ένα έντονο κυανοπράσινο χρώμα πόλωσης (φωτ. κάτω αριστερά). Αυτό μπορεί να είναι ΙΙης τάξης και να αντιστοιχεί σε $\Delta \sim 700$ nm ή ΙΙΙης τάξης και να αντιστοιχεί σε $\Delta \sim 1150$ nm (βλέπε δίπλα κλίμακα Michel-Levy)



Στρέφουμε τον κρύσταλλο σε θέση κατάσβεσης. Σε αυτή τη θέση οι άξονες ελαστικότητας συμπίπτουν με το σταυρόνημα. Στρέφουμε τον κρύσταλλο κατά 45°. Σε αυτή τη θέση οι άξονες ελαστικότητας σχηματίζουν γωνία 45° ως προς το σταυρόνημα. Παρεμβάλλουμε τον αντισταθμιστή γύψου ($\Delta=550$ nm). Αν στη θέση των 45° έχουμε αφαίρεση, τότε στη θέση των 135° θα έχουμε πρόσθεση (ή αντίστροφα). Στο συγκεκριμένο κρύσταλλο στη θέση των 45° έχουμε ανοικτό γκριζο Ιης τάξης και στη θέση των 135° έχουμε πράσινο ΙΙΙης τάξης. Επομένως το κυανοπράσινο χρώμα πόλωσης του κρυστάλλου είναι ΙΙης τάξης.

3. Επιμήκυνση



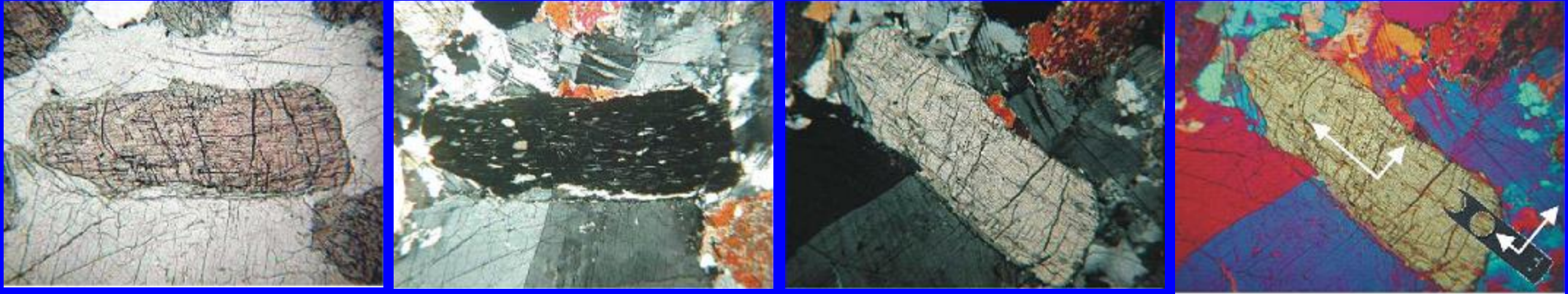
Επιμήκυνση σε διάξονα κρύσταλλο
π.χ. Ρομβικό σύστημα

Όταν ένα ορυκτό έχει επιμηκυσμένη μορφή και παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα με την επιμήκυνσή του βρίσκεται (π.χ για διάξονες): Ο μεγάλος δείκτης διάθλασης $n_g (= n_y)$, τότε το ορυκτό έχει θετική επιμήκυνση. Το σημείο επιμήκυνσης είναι (+). Όταν // με την επιμήκυνση βρίσκεται ο μικρός ή ενδιάμεσος δείκτης διάθλασης n_r ή $n_m (= n_x$ ή $n_b)$, τότε το ορυκτό έχει αρνητική επιμήκυνση. Το σημείο επιμήκυνσης είναι (-).

Κατάλληλα ορυκτά για τον προσδιορισμό του σημείου επιμήκυνσης είναι: Τα επιμηκυσμένα ορυκτά του τριγωνικού, τετραγωνικού, εξαγωνικού και ρομβικού συστήματος, τα οποία έχουν ορθή κατάσβεση ως προς την επιμήκυνση. Τα επιμηκυσμένα ορυκτά του μονοκλινούς και τρικλινούς συστήματος, τα οποία έχουν πλάγια κατάσβεση με μικρή κατασβεστική γωνία ($< 20^\circ$) ως προς την επιμήκυνση (πχ. αμφίβολοι, αλλά όχι κλινοπυρόξενοι).

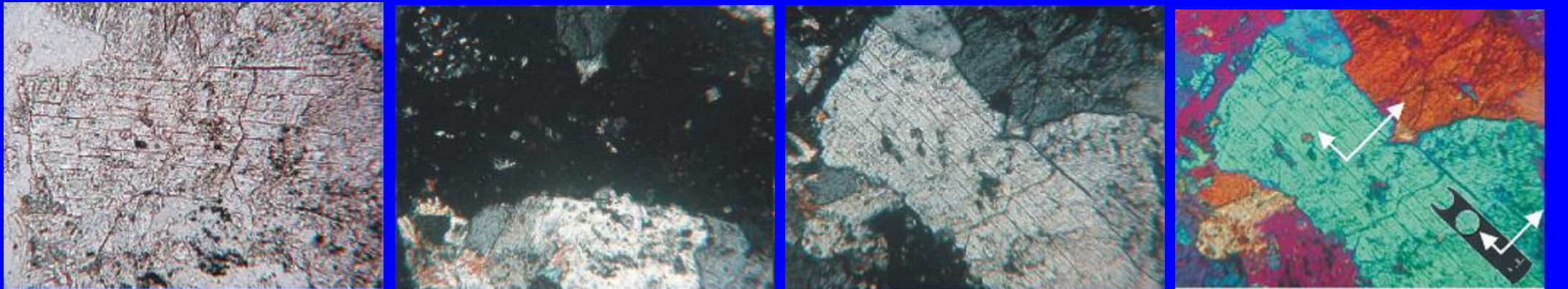
Στους μονάξονες κρυστάλλους, το "σημείο επιμήκυνσης" συμπίπτει με το "οπτικό σημείο". Στους μονάξονες κρυστάλλους με τον κύριο άξονα συμπίπτει ο n_e , ενώ κάθετα είναι ο n_o . Δηλαδή: Σε οπτικώς θετικό κρύσταλλο ($n_e > n_o$) με τον κύριο άξονα συμπίπτει ο μεγάλος δ.δ. άρα έχει θετική επιμήκυνση. Σε οπτικώς αρνητικό κρύσταλλο ($n_e < n_o$) με τον κύριο άξονα συμπίπτει ο μικρός δ.δ. άρα έχει αρνητική επιμήκυνση.

Θετική επιμήκυνση



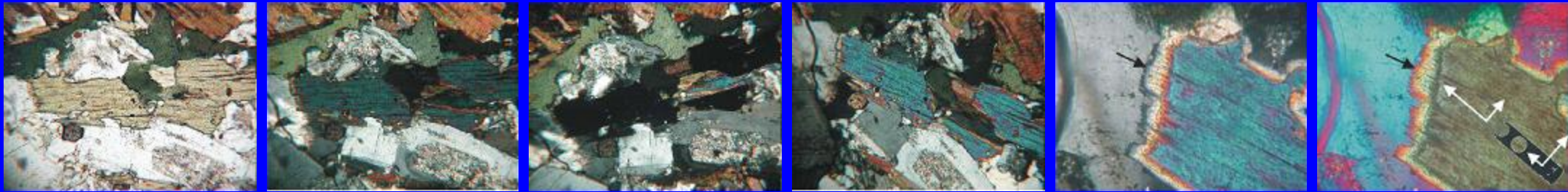
Πρισματικός κρύσταλλος ορθοπυρόξενου (ρομβικό σύστημα) με ορθή κατάσβεση. Στρέφουμε τον κρύσταλλο κατά 45° ώστε να έχει προσανατολισμό // με εκείνον του αντισταθμιστή. Ο κρύσταλλος εμφανίζει γκρίζο χρώμα πόλωσης I τάξης. Μετά από παρεμβολή του αντισταθμιστή το χρώμα πόλωσης γίνεται κίτρινο λόγω αφαίρεσης: Ο μικρός δ.δ. του αντισταθμιστή είναι // με τον μεγάλο δ.δ. κρυστάλλου. Ο κρύσταλλος έχει θετική επιμήκυνση.

Αρνητική επιμήκυνση



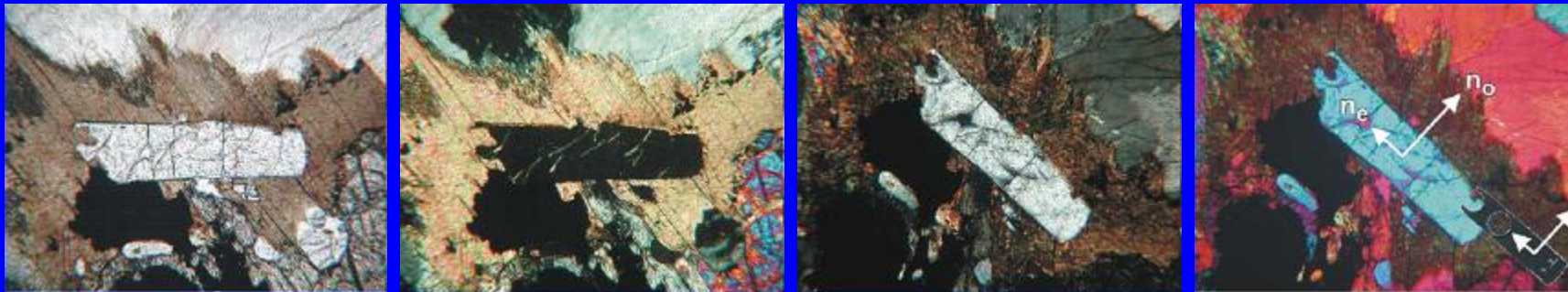
Πρισματικός κρύσταλλος ανδαλουσίτη (ρομβικό σύστημα) εμφανίζει ορθή κατάσβεση. Στρέφουμε τον κρύσταλλο κατά 45° ώστε να έχει προσανατολισμό // με εκείνον του αντισταθμιστή. Ο κρύσταλλος εμφανίζει γκρίζο χρώμα πόλωσης I τάξης. Μετά από παρεμβολή του αντισταθμιστή το χρώμα πόλωσης γίνεται μπλε λόγω πρόσθεσης: Ο μικρός δ.δ. του αντισταθμιστή είναι // με το μικρό δ.δ. του κρυστάλλου. Ο κρύσταλλος έχει αρνητική επιμήκυνση.

Επιμήκυνση σε κρύσταλλο με πλάγια κατάσβεση και έντονα χρώματα πόλωσης



Πρισματικός κρύσταλλος κεροσίλβης (μονοκλινές σύστημα) εμφανίζει πλάγια κατάσβεση με μικρή κατασβεστική γωνία (τρίτη εικόνα). Στρέφουμε τον κρύσταλλο ώστε να έρθει σε διαγώνια θέση, με προσανατολισμό // με εκείνον του αντισταθμιστή. Ο κρύσταλλος εμφανίζει κυανό I τάξης χρώμα πόλωσης. Ε. Για ευκολία, παρατηρούμε στην άκρη όπου ο κρύσταλλος είναι λεπτότερος και το χρώμα πόλωσης είναι γκρίζο I τάξης (βέλος). Παρεμβάλλουμε τον αντισταθμιστή και το χρώμα πόλωσης από γκρίζο γίνεται κίτρινο (βέλος) λόγω αφαίρεσης: Ο μικρός δ.δ. Του αντισταθμιστή είναι // με το μεγάλο δ.δ. του κρυστάλλου. Ο κρύσταλλος έχει θετική επιμήκυνση.

Προσδιορισμός οπτικού σημείου σε μονάξονα κρύσταλλο (ορθοσκοπική εξέταση)



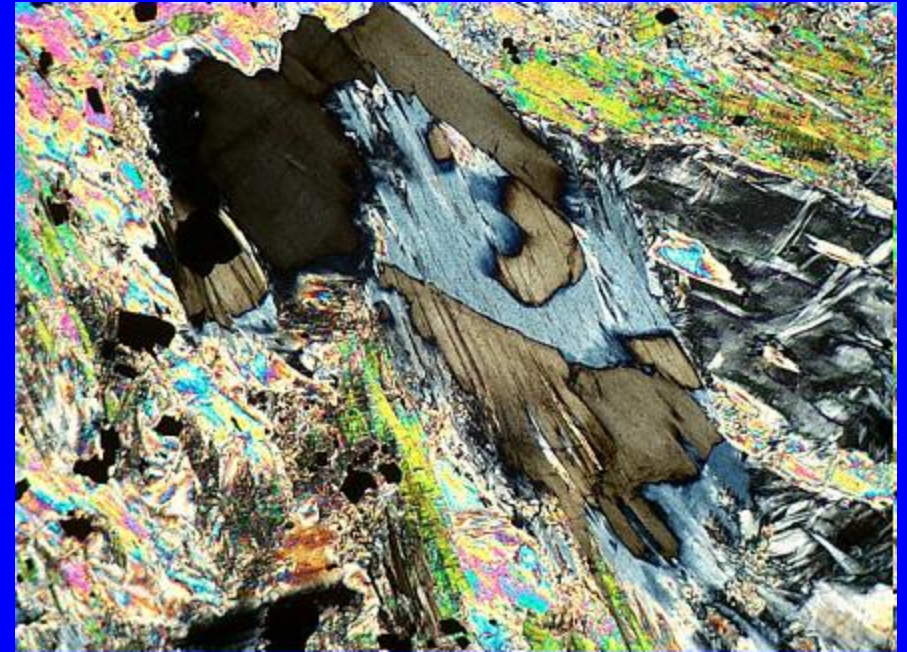
Πρισματικός κρύσταλλος απατίτη (εξαγωνικό σύστημα) εμφανίζει ορθή κατάσβεση. Στρέφουμε τον κρύσταλλο κατά 45° ώστε να έρθει σε διαγώνια θέση, με προσανατολισμό // με εκείνον του αντισταθμιστή. Ο κρύσταλλος εμφανίζει γκρίζο χρώμα πόλωσης I τάξης. Μετά από παρεμβολή του αντισταθμιστή το χρώμα πόλωσης γίνεται μπλε λόγω πρόσθεσης. Ο μικρός δ.δ. του αντισταθμιστή είναι // με το μικρός δ.δ. του κρυστάλλου. Ο κρύσταλλος έχει αρνητική επιμήκυνση. Ως γνωστό, στους μονάξονες κρυστάλλους παράλληλα προς τον κύριο άξονα βρίσκεται ο n_e και κάθετα ο n_o . Άρα έχουμε $n_e < n_o$. Δηλαδή ο απατίτης είναι οπτικώς αρνητικός ή έχει αρνητικό οπτικό σημείο

Μερικά ορυκτά εμφανίζουν χρώματα πολώσεως που δεν παρουσιάζονται στη κλίμακα Michel-Levy. Αυτά τα χρώματα είναι αποχρώσεις του μπλε, κίτρινου ή καστανού, και είναι γνωστά σαν μη ομαλά χρώματα πολώσεως.

Ο σχηματισμός τους οφείλεται στο διασκεδασμό των δ.δ. που εμφανίζουν ορισμένα ορυκτά. Ο διασκεδασμός των στοιχείων του ελλειψοειδούς παρατηρείται επειδή οι διαστάσεις του τριαξονικού ελλειψοειδούς και ο προσανατολισμός αυτού ως προς τους κρυσταλλογραφικούς άξονες δεν είναι ο ίδιος για όλα τα χρώματα στα διάφορα συστήματα. Στα ανώμαλα χρώματα πόλωσης η διπλοθλαστικότητα και η διαφορά πορείας εξαρτώνται από το μήκος κύματος του φωτός με αποτέλεσμα όταν συμβάλλουν στον αναλυτή να παράγουν ανώμαλα χρώματα πόλωσης διαφορετικά από αυτά της κλίμακας Michel-Levy. Λόγω της διαφορετικής τιμής της διπλοθλαστικότητας $n_2 - n_1$ για τα διάφορα χρώματα είναι δυνατόν ακόμη ένα ορυκτό για κάποια χρώματα να είναι ισότροπο, για άλλα οπτικά θετικό και για άλλα αρνητικό.

Στα κανονικά χρώματα πόλωσης η διπλοθλαστικότητα δ , και η διαφορά πορείας Δ , είναι ίδιες για όλες τις ακτινοβολίες του λευκού φωτός, δηλαδή δεν εξαρτώνται από το μήκος κύματος του φωτός.

Μη ομαλά χρώματα πόλωσης

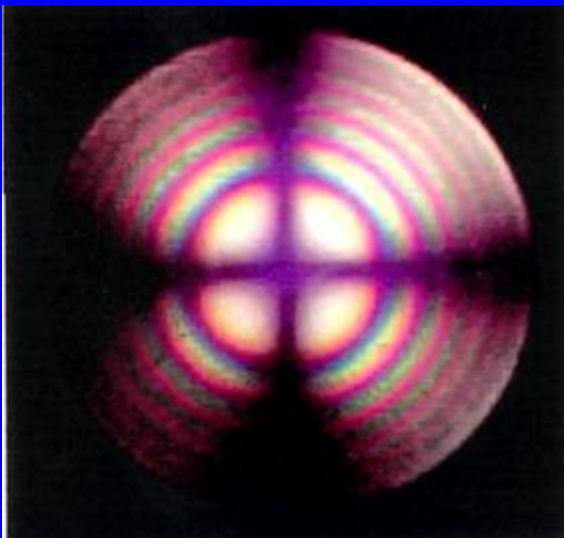


Μοσχοβίτης με χρώματα πόλωσης III τάξης και χλωρίτης με ανώμαλα χρώματα πόλωσης (καστανό-κυανό). Διασταυρωμένα Nicols

Κωνοσκοπικές εικόνες

Οι κωνοσκοπικές εικόνες συνίστανται από ένα σύνολο έγχρωμων καμπυλών και από μαύρες ράβδους (ή καμπύλες) οι οποίες δυνατόν να σχηματίζουν σταυρό ή μέρος αυτού. Η φύση και η μορφή αυτής της εικόνας εξαρτάται από το σύστημα κρυστάλλωσης του ορυκτού (Μονάξων ή Διάξων) αλλά και τον προσανατολισμό της τομής. Η κωνοσκοπική εξέταση μας βοηθάει να προσδιορίσουμε τον οπτικό χαρακτήρα και το οπτικό σημείο ενός ορυκτού.

Λαμβάνουμε και Παρατηρούμε την
Κωνοσκοπική Εικόνα



1. Με υψηλή μεγένθυση εστιάζουμε σε ένα κόκκο ορυκτού ο οποίος να είναι απαλλαγμένος από σπασίματα και εγκλείσματα.
2. Διασταυρώνουμε τα πρίσματα Nicols (Πολωτή + Αναλύτη)
3. Εισάγουμε το φακό Bertrand
4. Εισάγουμε το συγκλίνοντα φακό

Κωνοσκοπικές εικόνες – Μοναξονικά ορυκτά

τρεις τύποι κωνοσκοπικών εικόνων θα εξεταστούν.

1. η εικόνα του Οπτικού Άξονα: δηλ τομής καθέτης στον Ο.Α.
2. η εικόνα εκτός κέντρου του Οπτικού Άξονα: δηλ τομής πλάγιας στον Ο.Α.
3. Στιγμαία Εικόνα (flash figure): δηλ τομής παραλλήλου στον Ο.Α.

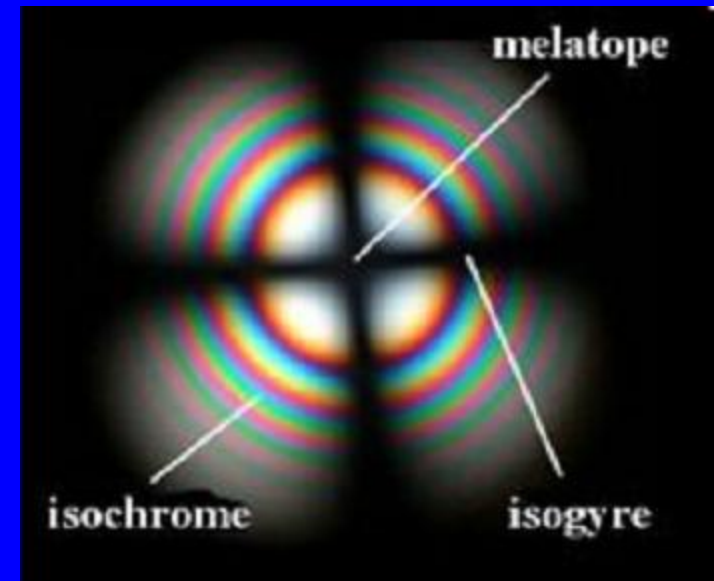
Κάθε τύπος εικόνας είναι μία άμεση αντανάκλαση των διαφορετικών τομών στον κρύσταλλο και του ελλειψοειδούς.

Κωνοσκοπικές εικόνες – Μοναξονικά ορυκτά

Τομή κάθετη στον Οπτικό άξονα

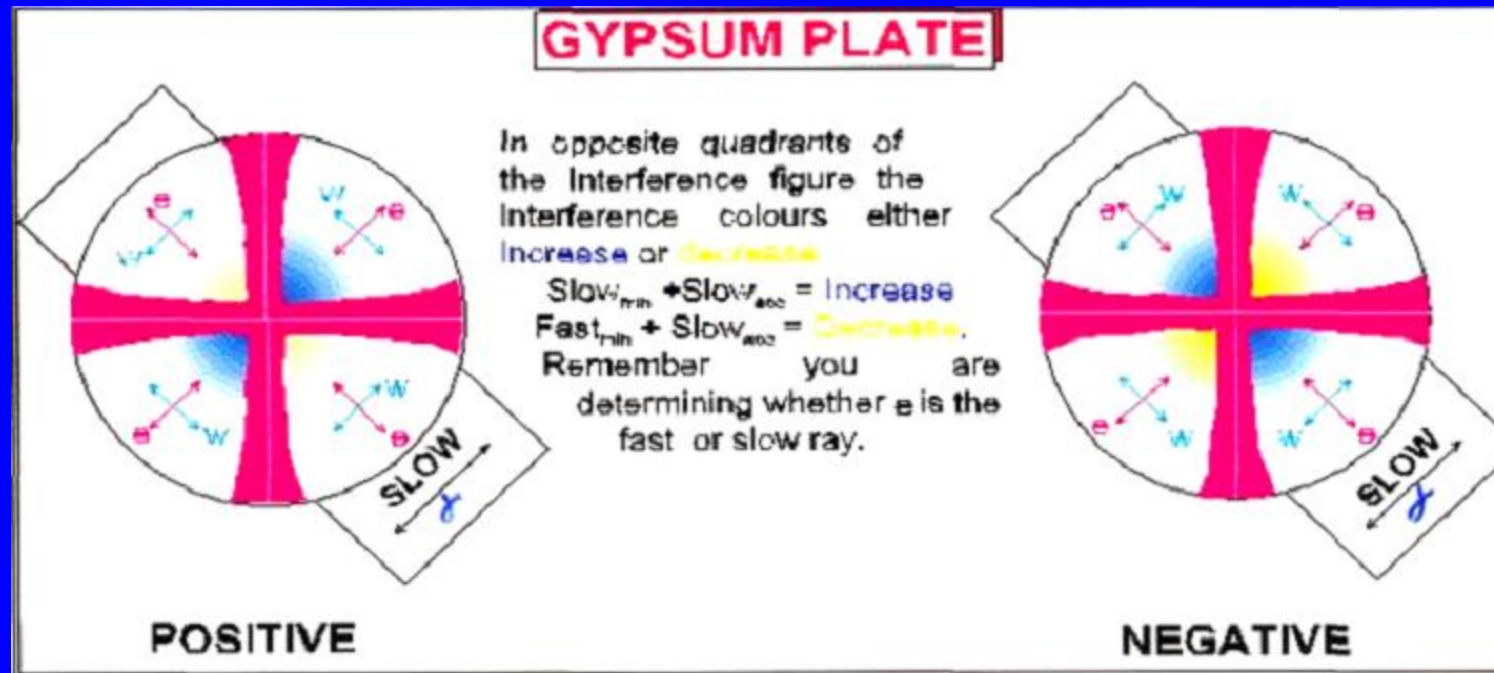
Επιλέγουμε έναν κόκκο ορυκτού στο μικροσκόπιο ο οποίος παρουσιάζει μηδέν (0) διπλοθλαστικότητα (επειδή η τομή είναι κάθετη στον Ο.Α) και θα παραμένει μαύρος ή σχεδόν μαύρος κατά την περιστροφή της τράπεζας (συνεχής κατάσβεση). Η κωνοσκοπική εικόνα που παρήχθη από έναν τέτοιο κόκκο είναι μία εικόνα η οποία συνίσταται από κεντρικό μαύρο σταυρό ο οποίος τοποθετείται επάνω σε ομόκεντρους δακτύλιους από χρώματα συμβολής (ισόχρωες καμπύλες).

Ο σταυρός σχηματίστηκε από μαύρες ράβδους που λέγονται ισόγυροι. Το σημείο που οι δύο ισόγυροι τέμνονται είναι η μελατόπη δηλ. το σημείο όπου περνά ο οπτικός άξονας. Τα χρώματα συμβολής αυξάνουν ως προς τη τάξη όσο απομακρυνόμαστε από τη μελατόπη. Τα χρώματα κοντά στη μελατόπη είναι χαμηλά πρώτης τάξεως. Κάθε έγχρωμος ομόκεντρος δακτύλιος ονομάζεται και ισόχρωμος ή ισόχρωος καμπύλη (σε ορυκτά με χαμηλή διπλοθλαστικότητα δεν διακρίνονται ισόχρωες καμπύλες, βλέπε παρακάτω). Εάν ο οπτικός άξονας είναι απόλυτα κάθετος η κωνοσκοπική εικόνα για το ορυκτό δεν μετακινείται με την περιστροφή της τράπεζας του μικροσκοπίου.



Οπτικός χαρακτήρας μοναξόνων κρυστάλλων

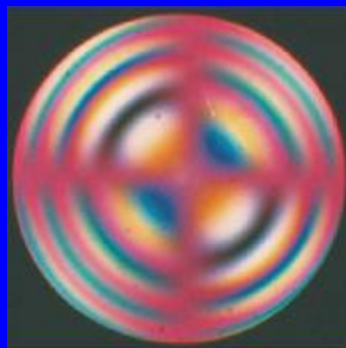
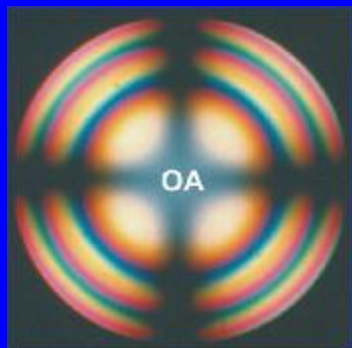
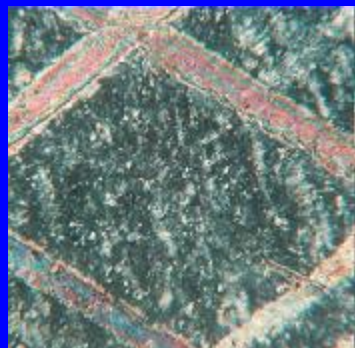
Τομή κάθετη στον Οπτικό άξονα



Αφού προκύψει η κωνοσκοπική εικόνα μονάξονα κρυστάλλου σε τομή κάθετη στον Ο.Α. (δηλαδή μαύρος σταυρός), παρεμβάλλουμε τον αντισταθμιστή γύψου εισάγοντας διαφορά πορείας $\lambda=550$ nm και παράγοντας έτσι το ερυθρό χρώμα πρώτης τάξης. Οι μαύροι ισόγυροι θα γίνουν κόκκινοι ενώ στις ισόχρωμες καμπύλες (στα χρώματα συμβολής) θα υπάρξει πρόσθεση ή αφαίρεση. Εάν εξετάσουμε το ΒΑ τεταρτημόριο της κωνοσκοπικής εικόνας: τα χρώματα πόλωσης είτε θα αυξηθούν από λευκό (I τάξης) σε μπλε μετακινούμενα δεξιά του έγχρωμου πίνακα Michel-Levy (πρόσθεση = Μονάξων Θετικός) ή θα μειωθούν από λευκό σε κίτρινο μετακινούμενα αριστερά του έγχρωμου πίνακα Michel-Levy (αφαίρεση = Μονάξων Αρνητικός).

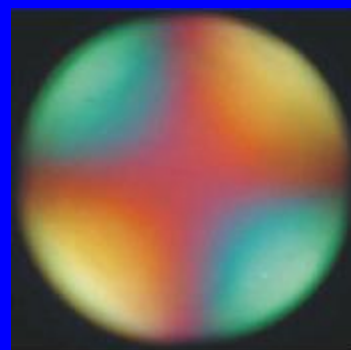
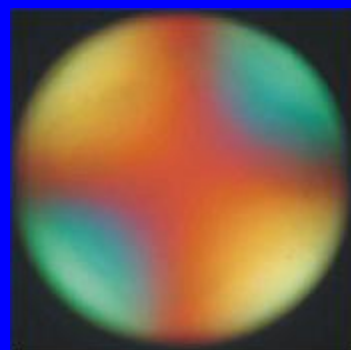
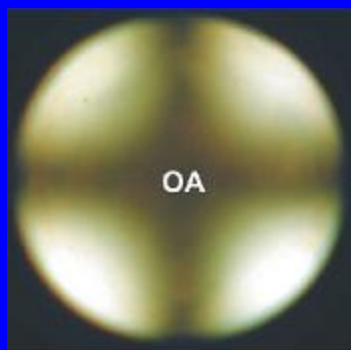
Κωνοσκοπικές εικόνες - Μοναξονικά ορυκτά

Τομή κάθετη στον οπτικό άξονα



(+)

(-)



(+)

(-)

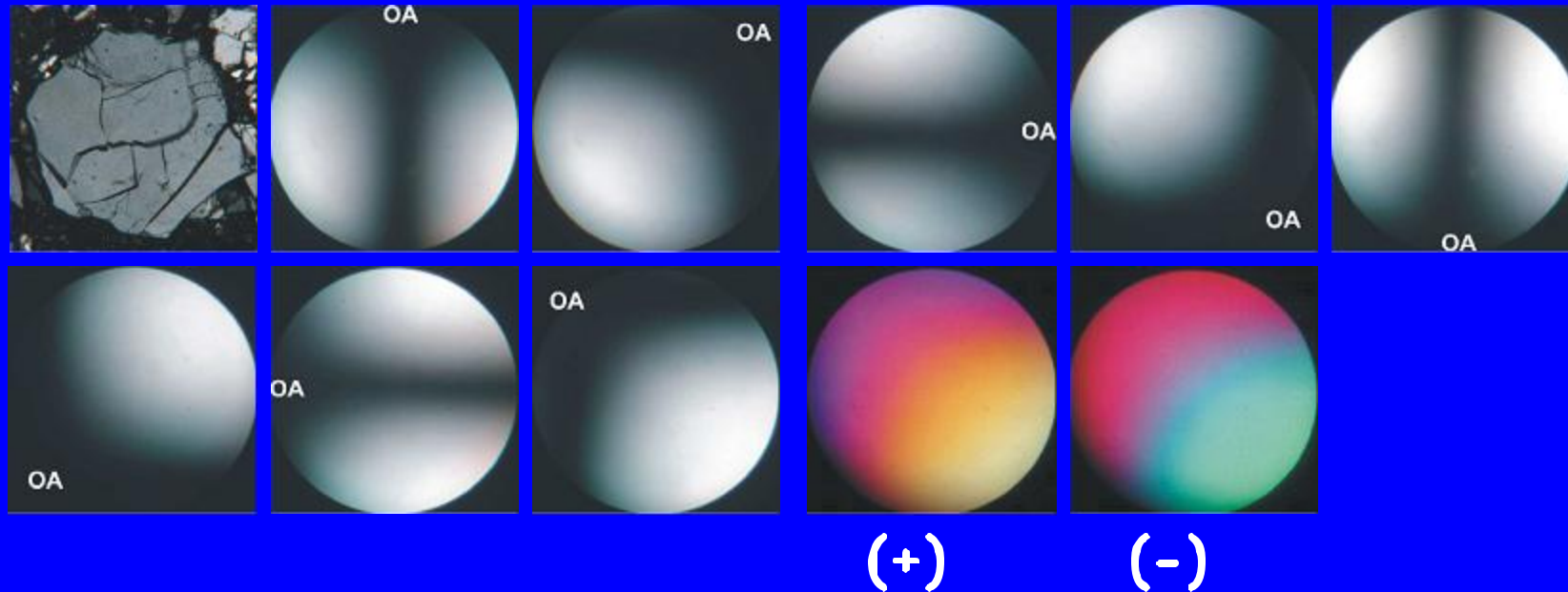
Ορυκτό με υψηλή διπλοθλαστικότητα (πχ. ασβεστίτης). Η τομή κάθετη στον Ο.Α. εμφανίζεται ελαφρά φωτισμένη. Λόγω της υψηλής διπλοθλαστικότητας εμφανίζονται χρωματισμένοι δακτύλιοι (ισόχρωμες). Εισάγοντας αντισταθμιστή γύψου στο κάτω δεξιό και πάνω αριστερό τεταρτημόριο του σταυρού και δίπλα στον μελατόπο, το χρώμα γίνεται κίτρινο, ενώ στο κάτω αριστερό και πάνω δεξιό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται μπλε (Μονάξων θετικός). Αντίθετα όταν δίπλα στο μελάτοπο, στο κάτω δεξιό και πάνω αριστερό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται μπλε, ενώ στο κάτω αριστερό και πάνω δεξιό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται κίτρινο ο κρύσταλλος είναι μονάξων αρνητικός

Ορυκτό με χαμηλή διπλοθλαστικότητα (πχ. χαλαζίας). Η τομή κάθετη στον Ο.Α. εμφανίζει διαρκή κατάσβεση και η κωνοσκοπική εικόνα είναι σταυρός, ενώ δεν εμφανίζονται οι ισόχρωμες. Όταν στο κάτω δεξιό και πάνω αριστερό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται κίτρινο, ενώ στο κάτω αριστερό και πάνω δεξιό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται μπλε, ο κρύσταλλος θεωρείται μονάξων θετικός. Αντίθετα όταν στο κάτω δεξιό και πάνω αριστερό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται μπλε, ενώ στο κάτω αριστερό και πάνω δεξιό τεταρτημόριο του σταυρού το χρώμα γίνεται κίτρινο, ο κρύσταλλος είναι μονάξων αρνητικός

<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212y/>

Κωνοσκοπικές εικόνες - Μοναξονικά ορυκτά

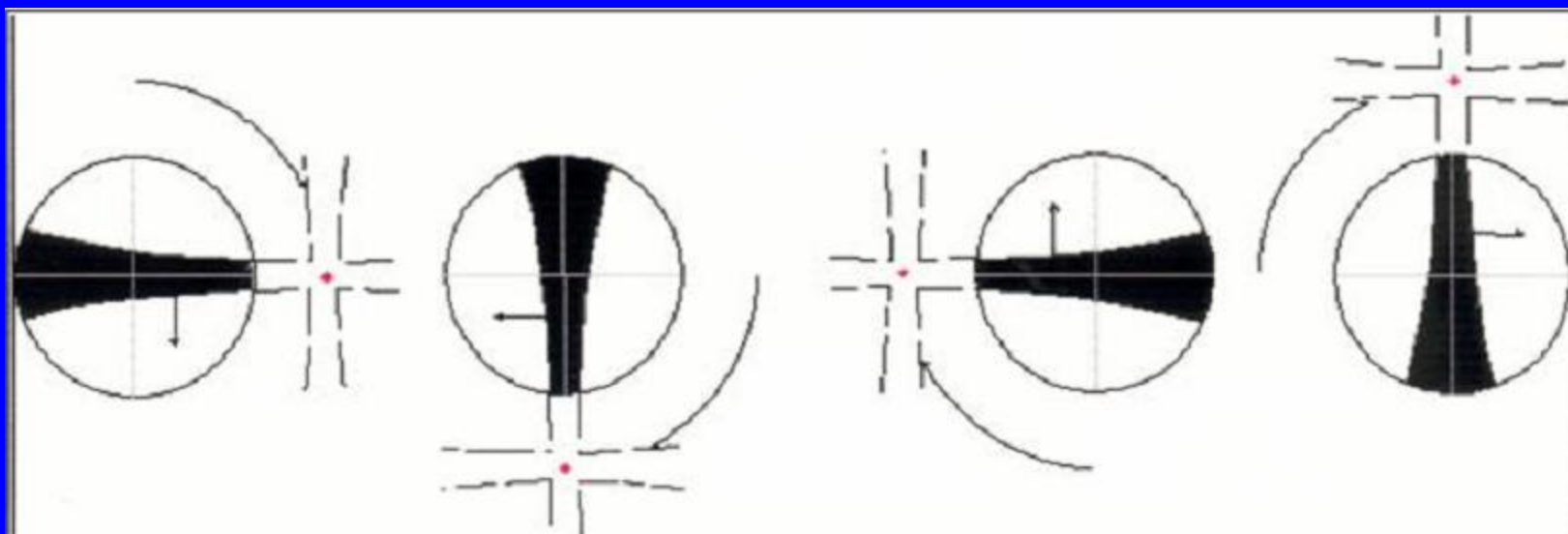
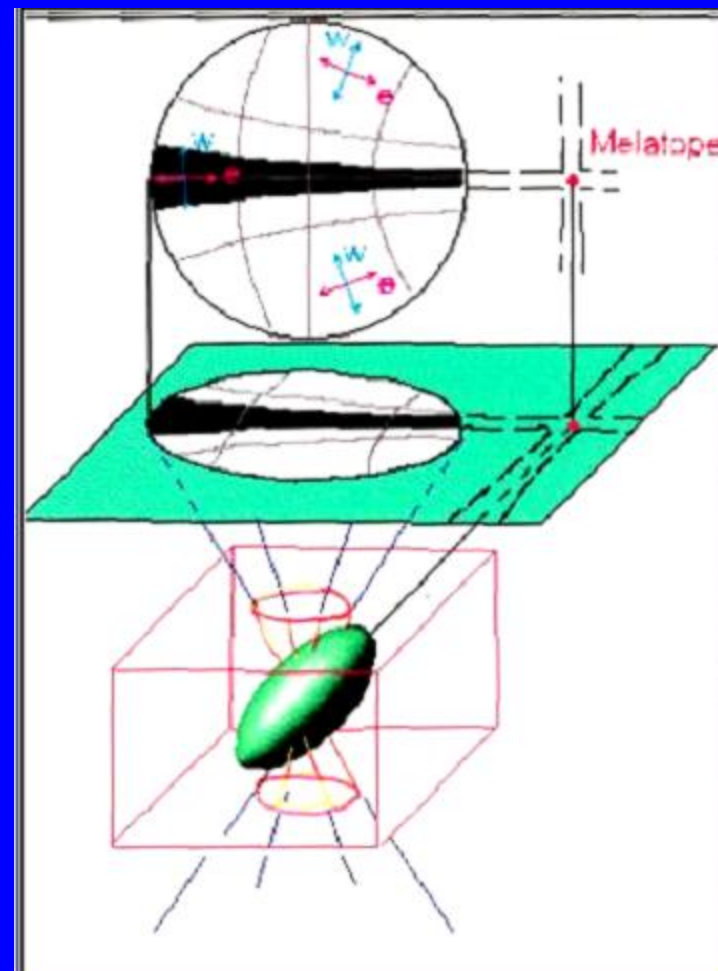
Τομή περίπου κάθετη στον οπτικό άξονα



Τομή περίπου κάθετη στον οπτικό άξονα $O.A.$, εμφανίζει σκούρα γκριζα χρώματα πόλωσης (αριστερή φωτ.). Ο σταυρός που προκύπτει από την κωνοσκοπική είναι έκκεντρος. Με δεξιόστροφη περιστροφή της τράπεζας του μικροσκοπίου ο μελάτοπος (δηλαδή το σημείο όπου διέρχεται ο $O.A.$) μετατοπίζεται δεξιόστροφα με αποτέλεσμα να εμφανίζονται εναλλάξ τα υπόλοιπα σκέλη του σταυρού. Επιλέγουμε τη θέση όπου είναι ορατό το κάτω δεξιά τεταρτημόριο του σταυρού. Σε αυτή τη θέση παρεμβάλλουμε τον αντισταθμιστή. Όταν το χρώμα συμβολής γίνεται κίτρινο, το ορυκτό είναι μονάξων θετικός. Αντίθετα όταν το χρώμα στο κάτω δεξιά τεταρτημόριο γίνεται μπλέ, τότε το ορυκτό είναι μονάξων αρνητικός.

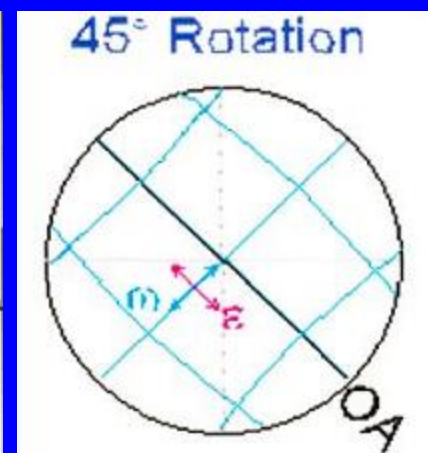
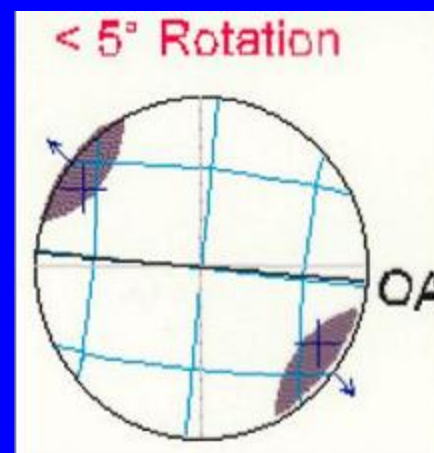
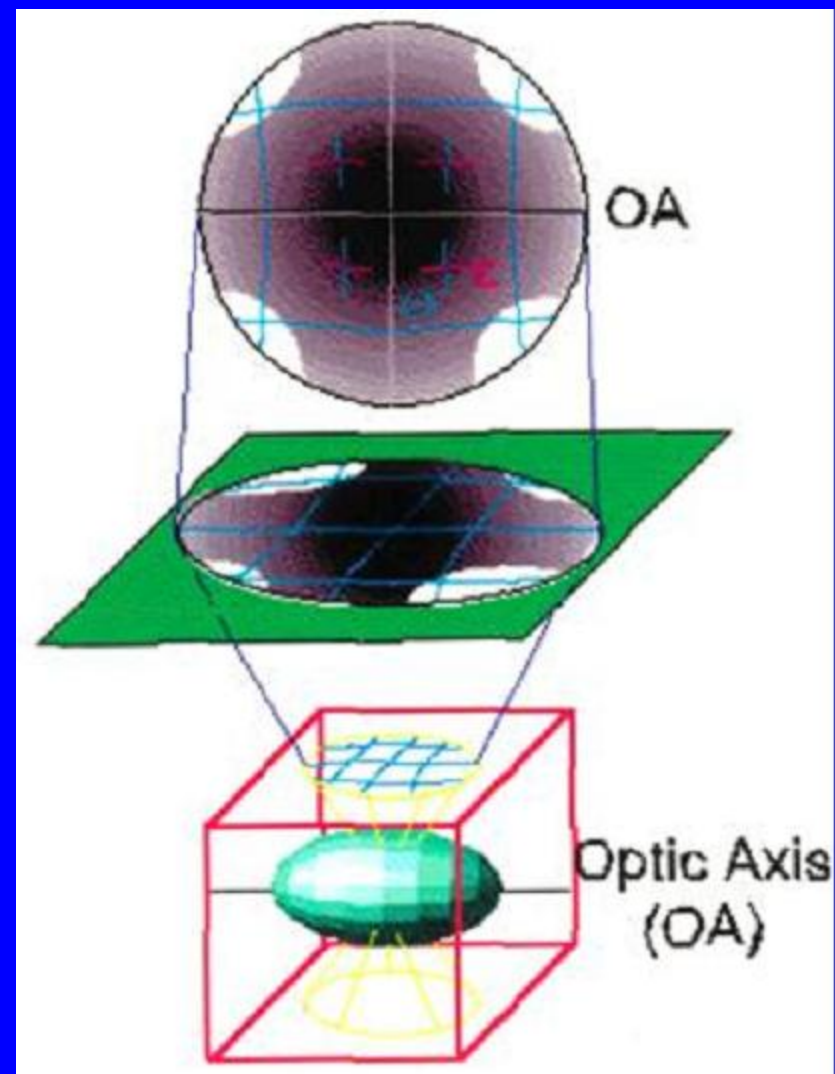
Κωνοσκοπικές εικόνες - Μοναξονικά ορυκτά Τομή πλάγια στον οπτικό άξονα

Στην κωνοσκοπική εικόνα η μελατόπη βρίσκεται εκτός του οπτικού πεδίου της εικόνας. Η ισόγυρος παχιάνει καθώς η απόσταση από τη μελατόπη αυξάνει. Με την περιστροφή της τράπεζας η ισόγυρος κινείται παράλληλα προς το σταυρόνημα. Ένας κρυσταλλικός κόκκος ο οποίος παράγει μια εικόνα με οπτικό άξονα εκτός οπτικού πεδίου θα εμφανίσει μία διπλοθλαστικότητα ενδιάμεση έως μέγιστη.

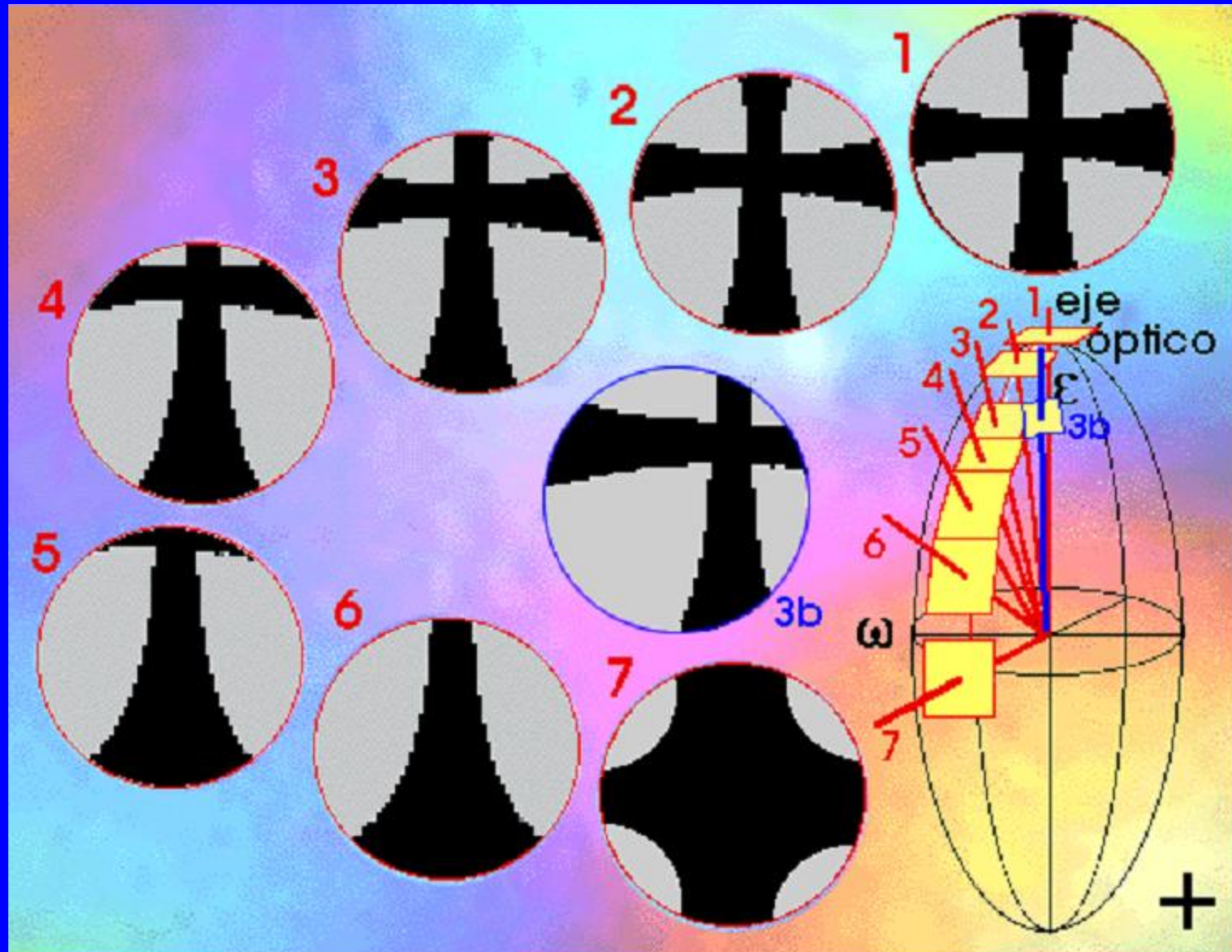


Κωνοσκοπικές εικόνες Μοναξονικά ορυκτά Τομές // στον Ο.Α (στιγμαιαία εικόνα).

Το ορυκτό είναι προσανατολισμένο με τον οπτικό άξονα οριζόντια. Σ' αυτόν τον προσανατολισμό το ορυκτό έχει τη μέγιστη του διπλοθλαστικότητα και τα υψηλότερα χρώματα συμβολής. Η προκύπτουσα ισόγυρος είναι ένας πλατύς θαμπός γκρι σταυρός ο οποίος σχεδόν γεμίζει το οπτικό πεδίο. Κατά την περιστροφή της τράπεζας, <math>< 5^\circ</math> περιστροφή, οι ισόγυροι θα διασπασθούν και θα μετακινηθούν εκτός οπτικού πεδίου στα αντίθετα τεταρτημόρια. Τα τεταρτημόρια εις τα οποία οι ισόγυροι κινούνται αντιστοιχούν σε τεταρτημόρια στα οποία ο οπτικός άξονας κινείται, καθώς η τράπεζα περιστρέφεται. Με μεγαλύτερη περιστροφή της τράπεζας δηλ. με τον οπτικό άξονα σε θέση 45°, καμία ισόγυρος δεν θα είναι παρούσα, και το οπτικό πεδίο δυνατόν να παρουσιάζει κάποια χρώματα συμβολής. Οι ισόχρωμες καμπύλες, εάν είναι παρούσες, θα είναι κοίλες προς τα έξω.



Κωνοσκοπικές εικόνες μοναξονικών ορυκτών Όλες οι πιθανές τομές σε σχέση με το ελλειψοειδές των δεικτών διάθλασης (σύνοψη)



Κωνοσκοπικές εικόνες – Διαξονικά ορυκτά

Οι παρακάτω τύποι κωνοσκοπικών εικόνων θα εξεταστούν.

1. Τομή κάθετη στον Ο.Α.
2. Τομή κάθετη προς την οξεία διχοτόμο
3. Τομή κάθετος προς την αμβλεία διχοτόμο
4. Στιγμιαία Εικόνα (flash figure): δηλ τομές παραλλήλου στον Ο.Α.

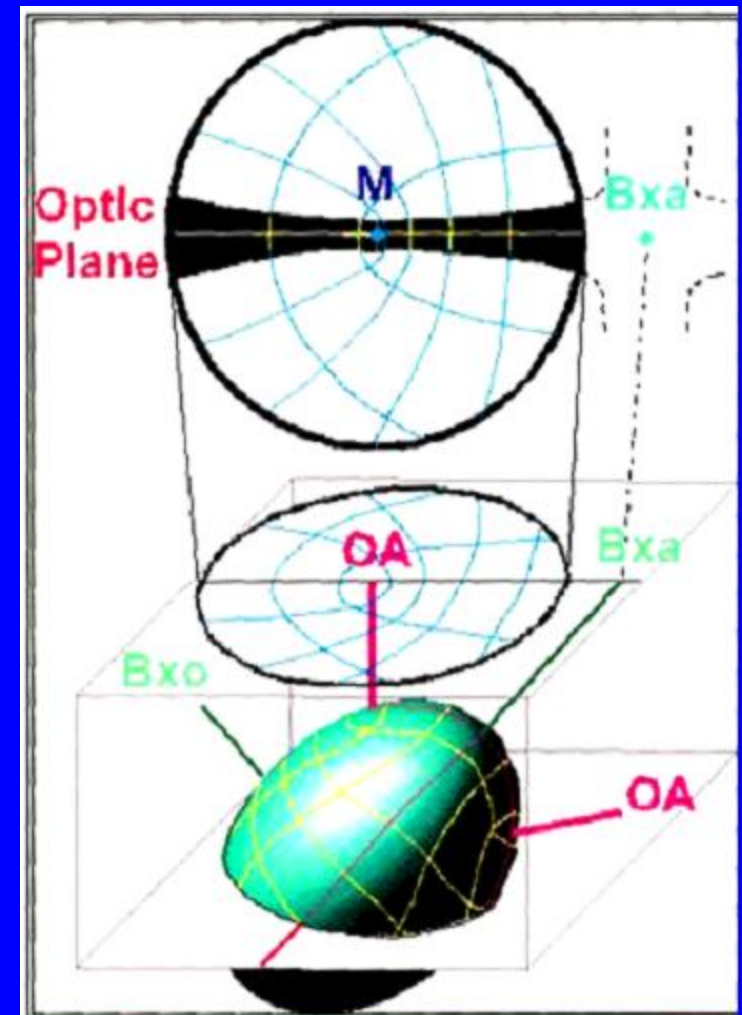
Κάθε τύπος εικόνας είναι μία άμεση αντανάκλαση των διαφορετικών τομών στον κρύσταλλο και του ελλειψοειδούς.

Τομή κάθετη στον οπτικό άξονα (ορυκτό σε κατάσβεση)

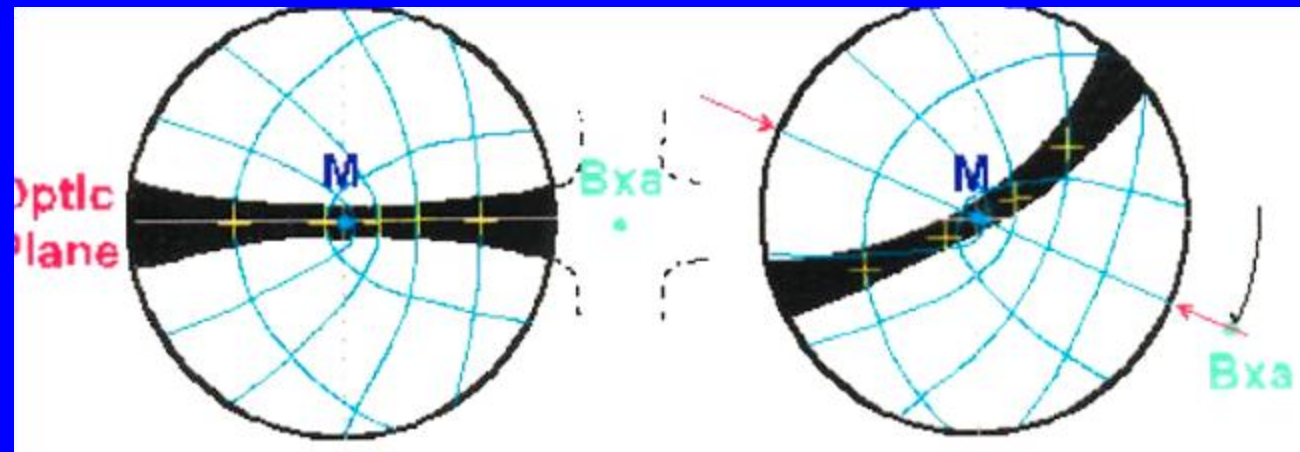
Με γωνία $2V > \sim 50^\circ$ μόνο μία μελατόπη με την ισογυρό της είναι ορατή εντός του οπτικού πεδίου.

Το κέντρο του σταυρού αντιπροσωπεύοντας τη θέση του $B\chi a$ (οξεία διχοτόμος) θα κείται εκτός του οπτικού πεδίου.

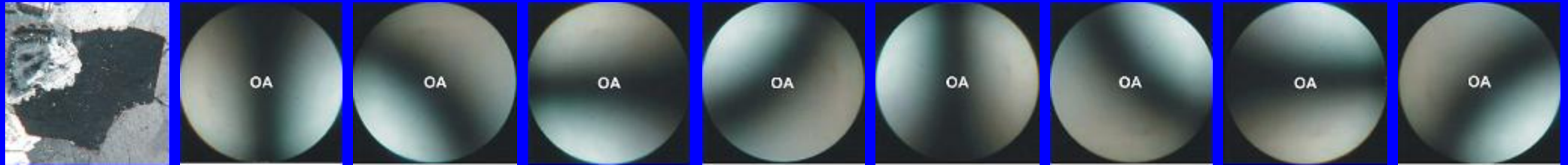
Όταν το οπτικό επίπεδο (optic plane) είναι $B-N$ ή $A-\Delta$ οι ισόγυροι είναι ευθείες, σχηματίζοντας μόνο τον ένα βραχίονα του σταυρού, και το ορυκτό είναι σε κατάσβεση. Δηλ. με το ορυκτό σε κατάσβεση ο ένας βραχίονας του σταυρού, είναι παράλληλος στο σταυρόνημα, και στενεύει στη μελατόπη.



Περιστρέφοντας την τράπεζα ο σταυρός διασπάται, εκτός του οπτικού πεδίου, και η ισόγυρος είναι καμπύλη και περιστρέφεται γύρω από τη μελατόπη.

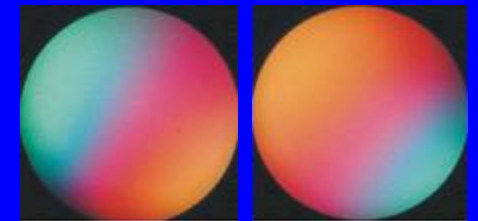


Τομή κάθετη στον ένα οπτικό άξονα διαξόνων ορυκτών (ορυκτό σε κατάσβεση)



Τομή κάθετη στον οπτικό άξονα (ΟΑ) εμφανίζει διαρκή κατάσβεση ή σκούρα γκρίζα χρώματα πόλωσης. Με κωνοσκοπική εξέταση εμφανίζεται η ισόγυρος (ευθεία και καμπύλη σε πλήρη περιστροφή της τράπεζας του μικροσκοπίου).

Όταν η καμπύλη έχει το κοίλο μέρος κάτω δεξιά παρεμβάλλουμε τον αντισταθμιστή. Όταν στο κοίλο μέρος της καμπύλης το χρώμα γίνεται κίτρινο, ενώ στο κυρτό μέρος της καμπύλης το χρώμα γίνεται μπλε ο κρύσταλλος θεωρείται διάξονας θετικός. Όταν στο κοίλο μέρος της καμπύλης το χρώμα γίνεται μπλε, ενώ στο κυρτό μέρος της καμπύλης το χρώμα γίνεται κίτρινο, ο κρύσταλλος είναι διάξονας αρνητικός.

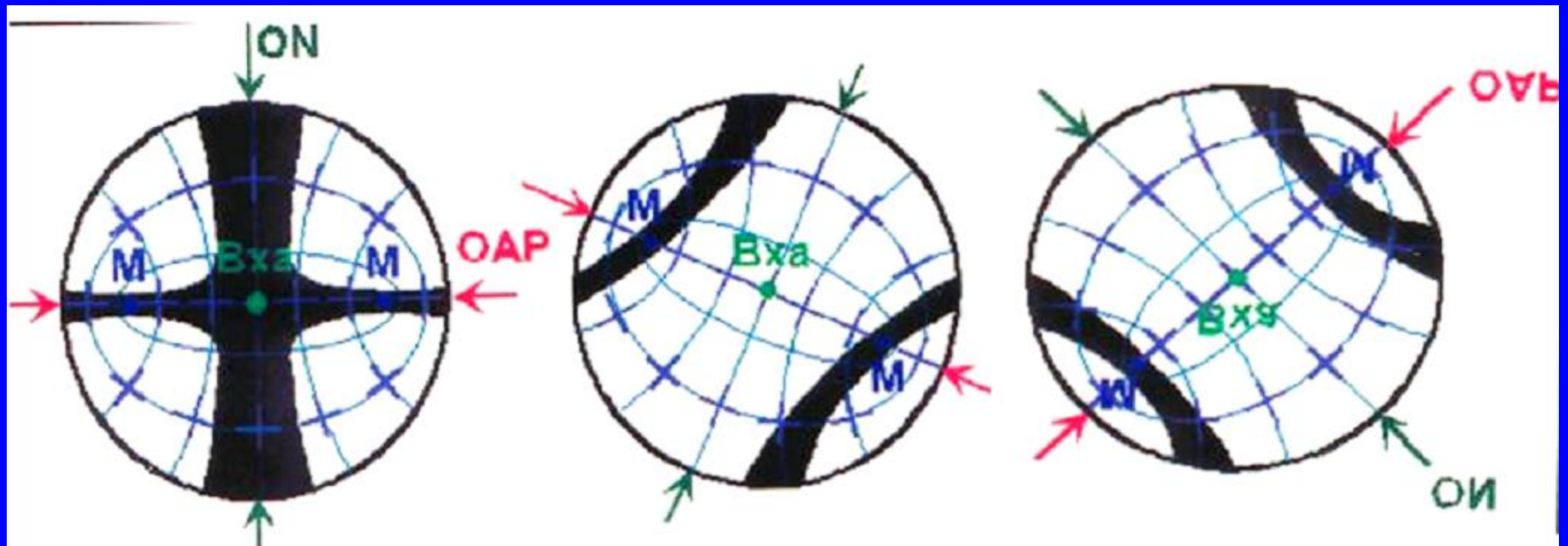


(+)

(-)

Τομή κάθετη προς την οξεία διχοτόμο της γωνίας $2V$ (Bχα)

Εμφανίζεται σταυρός (εικόνα παρόμοια με κωνοσκοπική μονάξονα κρυστάλλου σε τομή κάθετη στον οπτικό άξονα), με την διαφορά ότι εδώ κατά τη περιστροφή της τραπέζης ο σταυρός της ισογύρου διασπάται, συνήθως με μία περιστροφή από 5° έως 15° σε δύο ισόγυρες καμπύλες

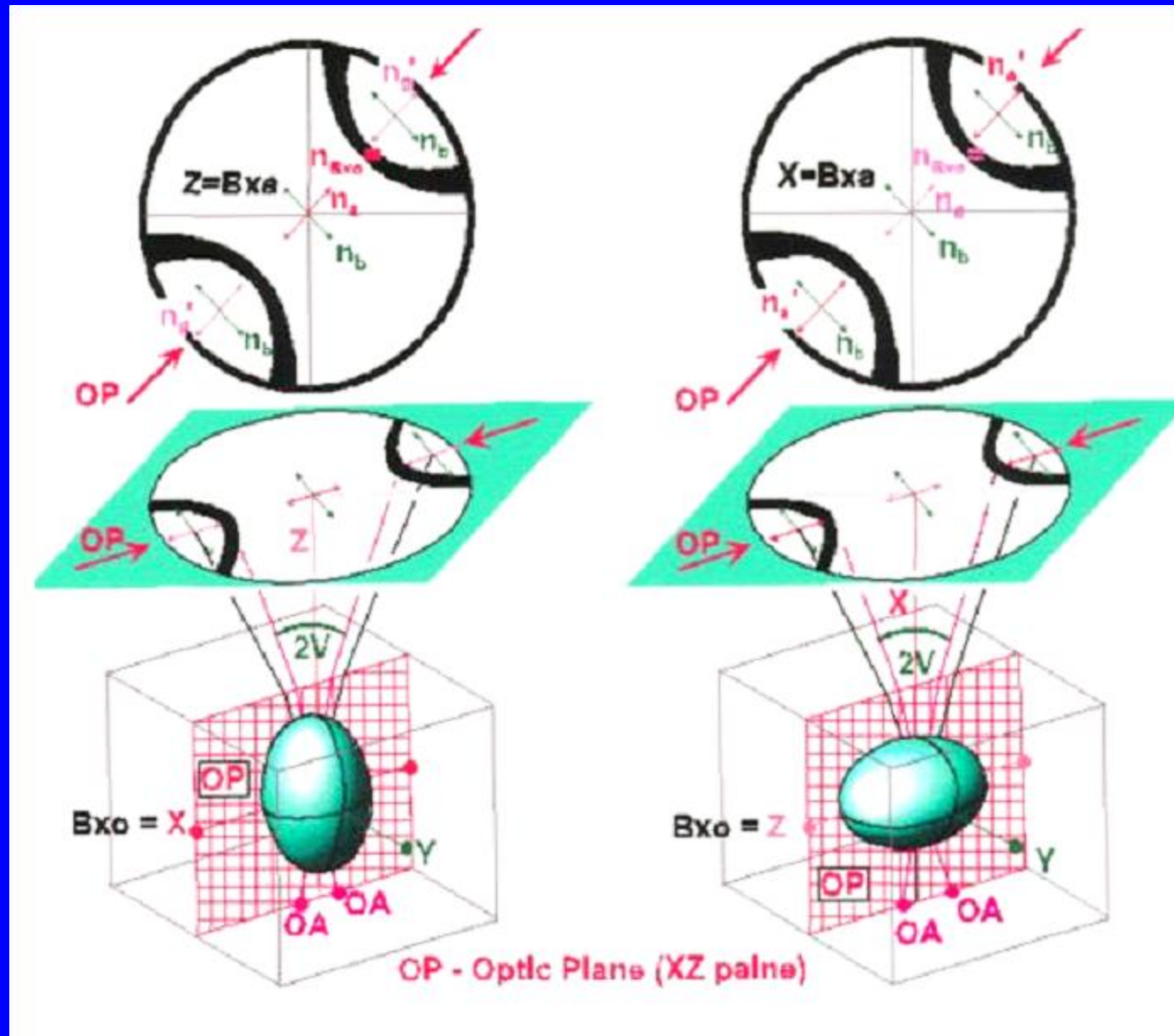


Τομή κάθετη προς την οξεία διχοτόμο (Bχα)

Ένας διάξονας κρύσταλλος ορίζεται ως θετικός (+), όταν οξεία διχοτόμος (Bχα) είναι ο $\eta\gamma=Z$. Στην περίπτωση αυτή η γωνία $2Vz$ είναι οξεία και η $2Vx$ αμβλεία.

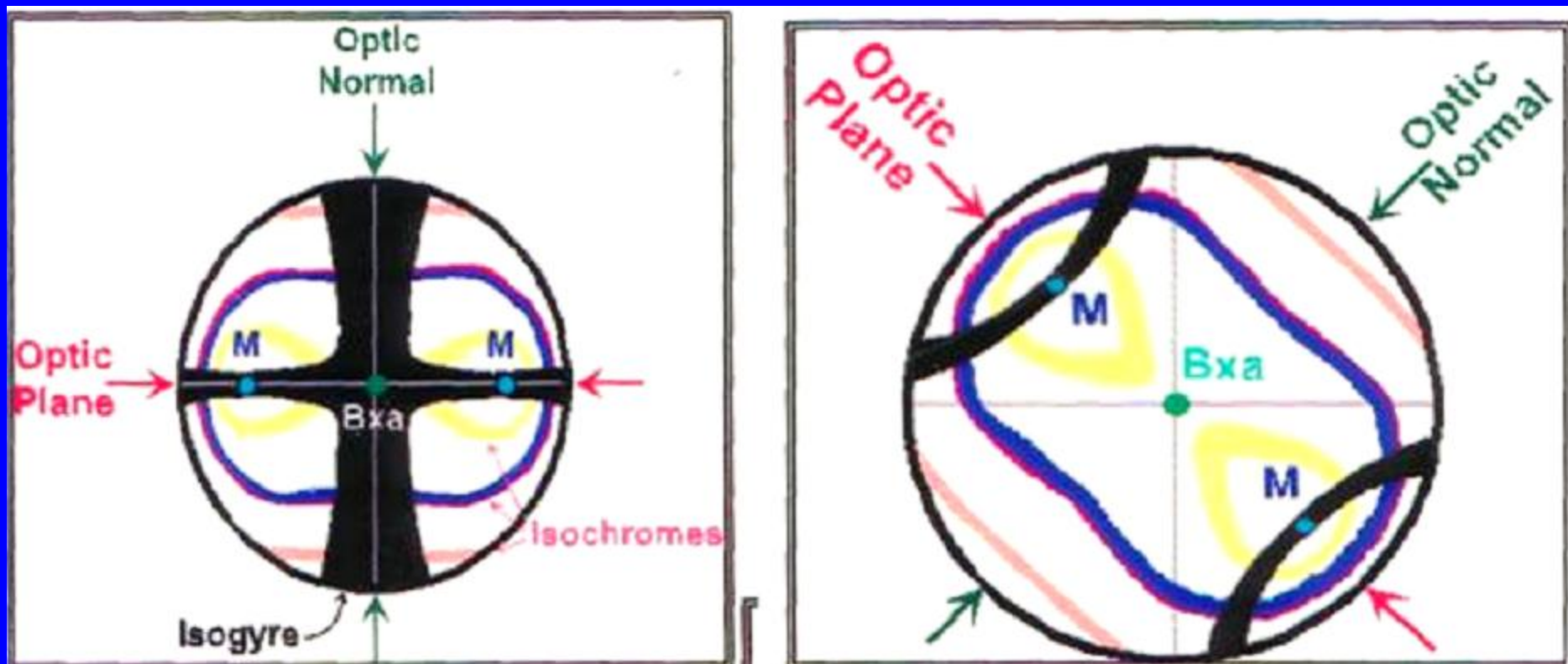
Ένας διάξονας κρύσταλλος ορίζεται ως αρνητικός (-), όταν οξεία διχοτόμος είναι ο $\eta\alpha=X$. Στην περίπτωση αυτή η γωνία $2Vx$ είναι οξεία και η $2Vz$ αμβλεία.

Στην περίπτωση που η γωνία $2V = 90^\circ$, τότε ο κρύσταλλος χαρακτηρίζεται ουδέτερος.

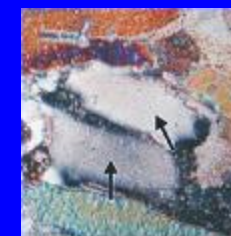


Τομή κάθετη προς την οξεία διχοτόμο (Bxa)

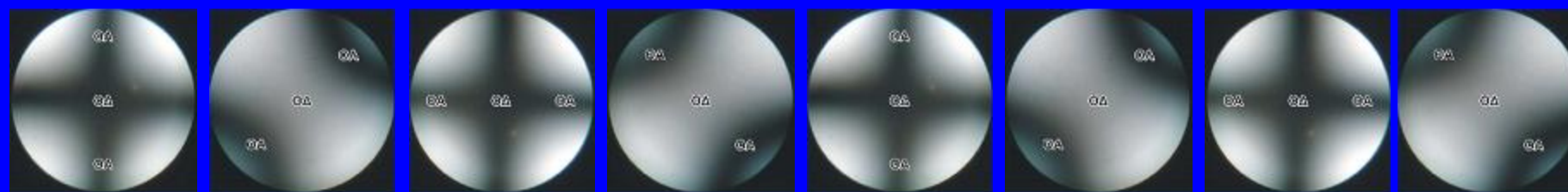
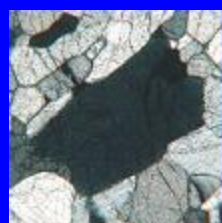
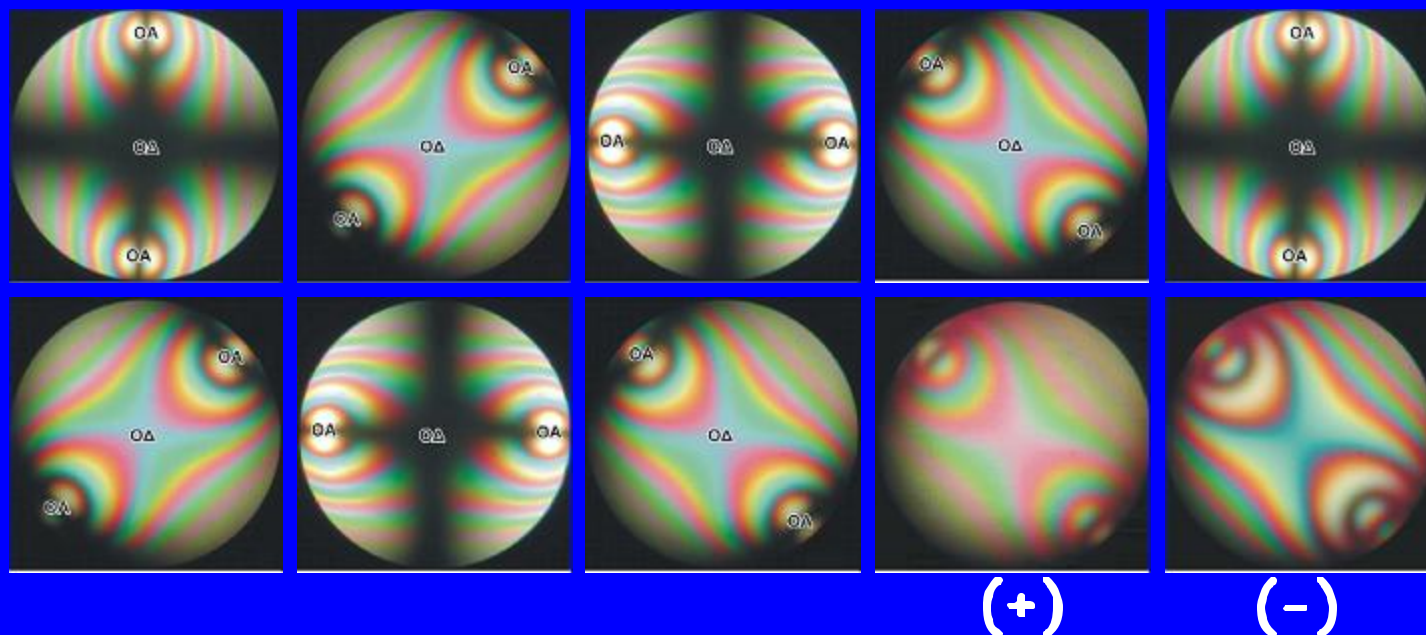
Σε κωνοσκοπική εξέταση τομής κάθετης προς την οξεία διχοτόμο, και έπειτα από παρεμβολή του αντισταθμιστή, ο κρύσταλλος θεωρείται διάξονας θετικός όταν δίπλα στους μελάτοπους, στο κοίλο μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται κίτρινο, ενώ στο κυρτό μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται μπλε. Όταν στο κοίλο μέρος των καμπυλών το χρώμα είναι μπλέ, τότε ο κρύσταλλος θεωρείται διάξονας αρνητικός.



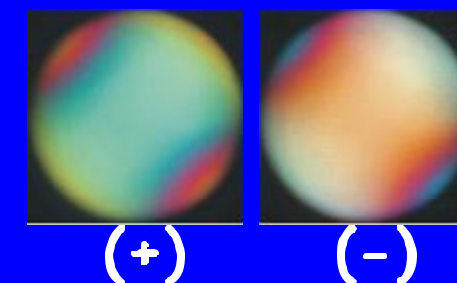
Διάξονες Τομή κάθετη στην οξεία διχοτόμο



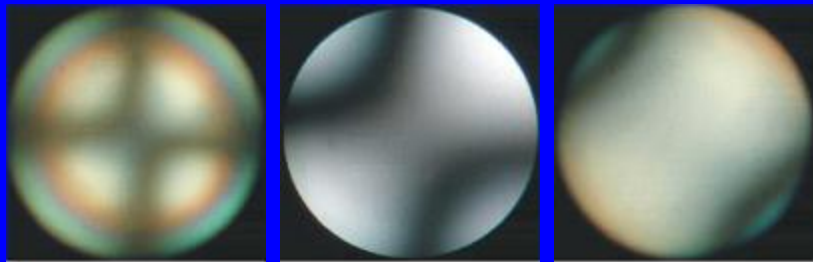
Ορυκτό με υψηλή διπλοθλαστικότητα (πχ. μοσχοβίτης). Τομή κάθετη στην οξεία διχοτόμο (ΟΔ) Εμφανίζει γκρίζα χρώματα πόλωσης. Η κωνοσκοπική εικόνα αποτελείται από δύο σκοτεινές καμπύλες (ισόγυρες), οι οποίες με την περιστροφή της τράπεζας ενώνονται εναλλάξ σε σχήμα σταυρού. Η γωνία $2V$ είναι σχετικά μικρή γι' αυτό η εικόνα περιλαμβάνει και τους δύο μελάτοπους (ΟΑ, οπτικούς άξονες). Λόγω της υψηλής διπλοθλαστικότητας εμφανίζονται ισόχρωμες. Ο κρύσταλλος είναι διάξων θετικός όταν δίπλα στους μελάτοπους, στο κοίλο μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται κίτρινο, ενώ στο κυρτό μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται μπλε. Αντίθετα είναι διάξων αρνητικός όταν δίπλα στους μελάτοπους, στο κοίλο μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται μπλε, ενώ στο κυρτό μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται κίτρινο.



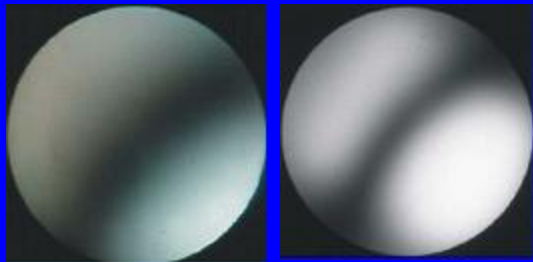
Ορυκτό με χαμηλή διπλοθλαστικότητα (πχ. ζοϊσίτης). Σε τομή κάθετη στην οξεία διχοτόμο (ΟΔ) εμφανίζονται σκούρα γκρίζα χρώματα πόλωσης. Οι κωνοσκοπικές εικόνες είναι παρόμοιες με τις παραπάνω, αλλά λόγω της χαμηλής διπλοθλαστικότητας δεν εμφανίζονται ισόχρωμες. Όταν δίπλα στους μελάτοπους, στο κοίλο μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται κίτρινο, ενώ στο κυρτό μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται μπλε, ο κρύσταλλος είναι διάξων θετικός. Όταν δίπλα στους μελάτοπους, στο κοίλο μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται μπλε, ενώ στο κυρτό μέρος των καμπυλών το χρώμα γίνεται κίτρινο ο κρύσταλλος είναι διάξων αρνητικός.



Σχέση της γωνίας $2V$ και καμπυλότητας της ισόγυρης σε διάξονες κρυστάλλους

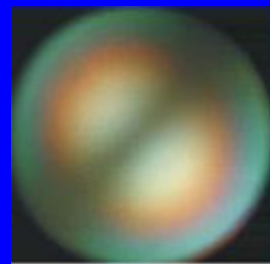


Η καμπυλότητα της ισόγυρης εξαρτάται από τη γωνία $2V$. Εάν $2V$ είναι πολύ μικρή ($<5^\circ$), η εικόνα ομοιάζει με μία εικόνα τομής καθέτου στον οπτικό άξονα μονάξονα κρυστάλλου. Όσο μεγαλώνει η γωνία $2V$ τόσο μειώνεται η καμπυλότητα της ισόγυρης. Όταν η γωνία $2V$ είναι σχετικά μικρή είναι ορατές και οι δύο ισόγυρες.

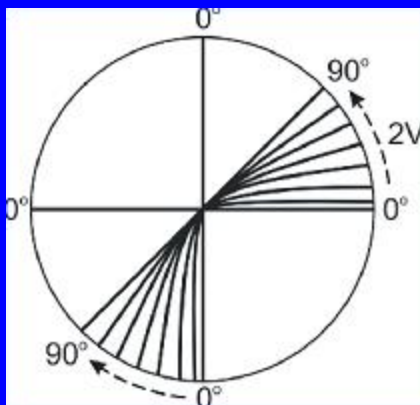


Όταν η γωνία $2V$ είναι σχετικά μεγάλη είναι ορατή μόνο η μία ισόγυρη.

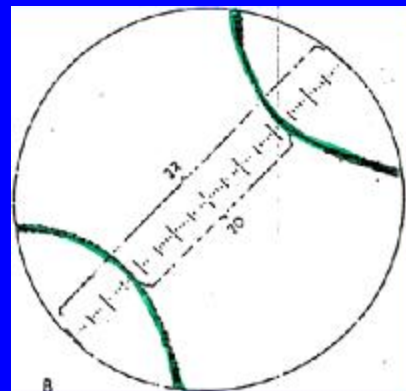
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo212γ/>



$2V=90^\circ$. Η ισόγυρη είναι ευθεία. Ο προσδιορισμός του οπτικού σημείου δεν είναι δυνατός. Ο κρύσταλλος ονομάζεται ουδέτερος.



Γραφική απεικόνιση της καμπυλότητας της ισόγυρης σε σχέση με τη γωνία $2V$ σε τομή κάθετη στον ένα οπτικό άξονα.

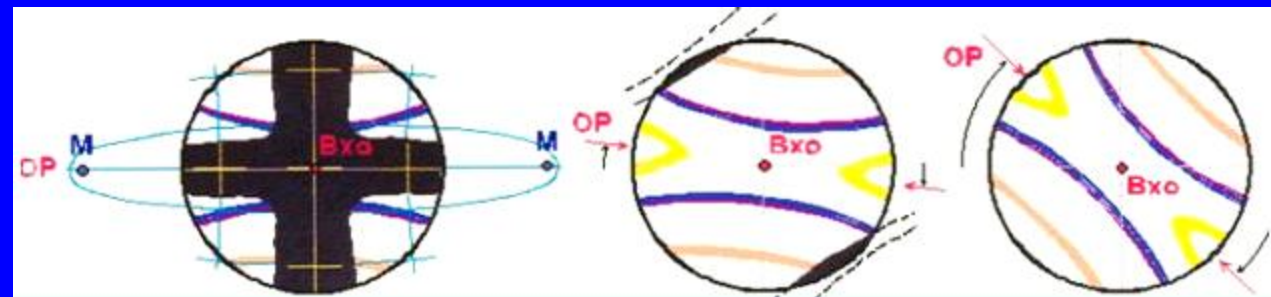
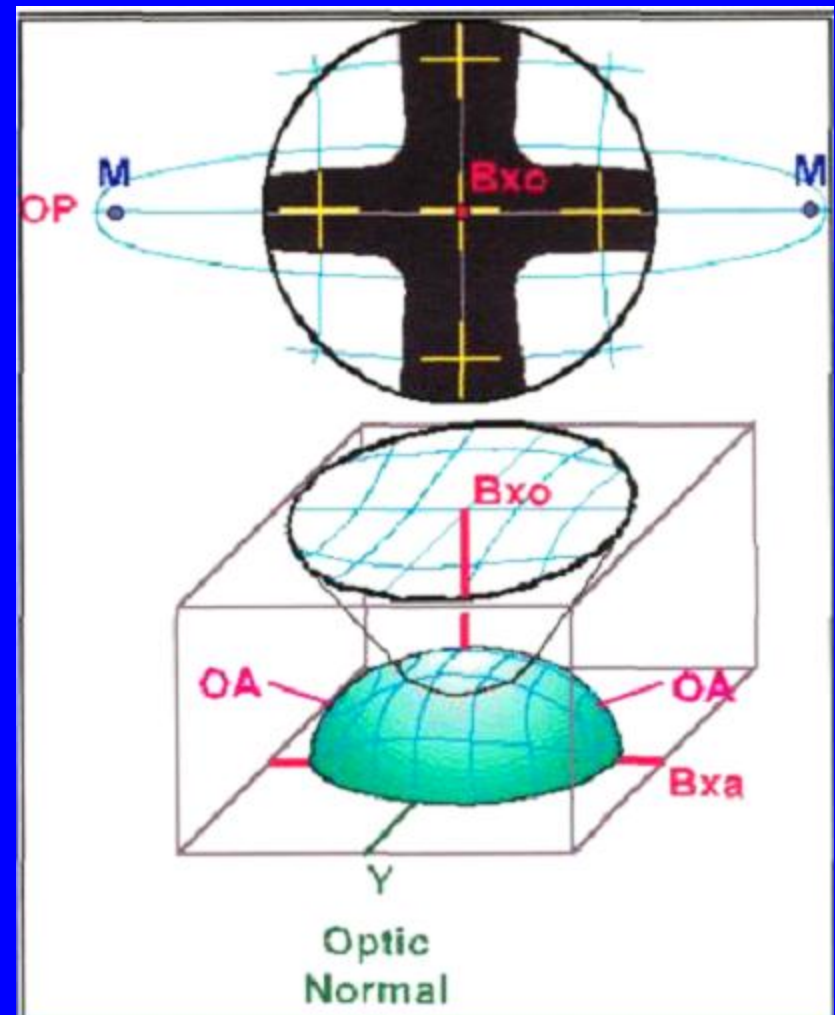


Μέτρηση της γωνίας $2V$ σε τομή Κάθετο προς Οξεία Διχοτόμο. Προς τούτο χρησιμοποιείται μικρομετρική κλίμακα ή οποία τοποθετείται στον προσοφθάλμιο φακό

Τομή κάθετη προς την αμβλεία διχοτόμο (Bxo)

Η γωνία μεταξύ της Bxo και των οπτικών αξόνων είναι $> 45^\circ$. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι μελατόπες θα κείνται εκτός του οπτικού πεδίου.

Κατά τη περιστροφή της τραπέζης ο σταυρός της ισογύρου διασπάται, συνήθως με μία περιστροφή από 5° έως 15° όπως με την εικόνα Bxa. Αλλά με μεγαλύτερη περιστροφή δεν θα παραμείνει στο οπτικό πεδίο.



Οπτικός χαρακτήρας μοναξόνων και διαξόνων κρυστάλλων

Απαιτείται να καταναλώσουμε χρόνο για να ερευνήσουμε για τον καλύτερο κόκκο ο οποίος θα παράγει την καλύτερη κωνοσκοπική εικόνα. Οι εικόνες οι κάθετες στον Οπτικό Άξονα (Μονάξονα ή Διάξονα) χρησιμοποιούνται για τα περισσότερα από τα συνήθη ορυκτά επειδή αυτοί οι προσανατολισμοί των ορυκτών παράγουν κωνοσκοπικές εικόνες όπου και τα δύο οπτικά σημεία αλλά και η γωνία $2V$ μπορούν να προσδιοριστούν (ισότροπες τομές με συνεχή κατάσβεση). Στις εικόνες τις παράλληλες στον Οπτικό Άξονα (στιγμιαίες εικόνες) (flash figure), η διπλοθλαστικότητα είναι στο μέγιστο, και αυτός ο προσανατολισμός θα εκδηλώνει το υψηλότερο χρώμα συμβολής (πόλωσης). Αυτή η κωνοσκοπική εικόνα δεν είναι χρήσιμη για το προσδιορισμό της γωνίας $2V$ ή του οπτικού σημείου του ορυκτού. Οι τομές αυτές χρησιμοποιούνται μόνο για τη μέτρηση της μέγιστης τιμής της διπλοθλαστικότητας αλλά και της μέγιστης γωνίας κατασβέσεως οι οποίες και αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε θερμά τους,

Τριαντάφυλλο Σολδάτο, Επικ. Καθηγητή ΑΠΘ
Μαγδαληνή Λάσκου, Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ
Παναγιώτη Πομώνη, Λέκτορα ΕΚΠΑ

για την πολύτιμη βοήθεια τους συνεισφέροντας πολύτιμο υλικό
που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα παρουσίαση

Βιβλιογραφία

- Σολδάτος Τριαντάφυλλος (2009) Παραδόσεις Ορυκτολογίας-Κρυσταλλογραφίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
<http://www.geo.auth.gr/212/> (κωδικός gmo212γ)
- Wenk Hans-Rudolf, Bulack Andrei (2004) Minerals: Their Constitution and Origin. Cambridge University Press. 646 pp.
- Nesse William D. (2000) Introduction to Mineralogy. Oxford University Press. 442 pp.
- Klein Cornelius, Hurlburt Cornelius S. Jr. (1999) Manual of Mineralogy (after James D. Dana), 21st Edition. John Wiley & Sons, Inc. 681 pp.
- Οικονόμου Κ.Ε. (1993) Ορυκτολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών, 197σσ.