



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΑΡΙΑ ΝΙΚΟΠΟΥΛΟΥ

**«Βασικά στοιχεία γεωλογίας και ανάλυση δειγμάτων αχάτη και
μυροχαντίτη από την περιοχή Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019



ΜΑΡΙΑ ΝΙΚΟΠΟΥΛΟΥ

**«Βασικά στοιχεία γεωλογίας και ανάλυση δειγμάτων αχάτη
και μπροχαντίτη από την περιοχή Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης»**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια



© ΜΑΡΙΑ ΝΙΚΟΠΟΥΛΟΥ ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ, ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, 2019 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights reserved.

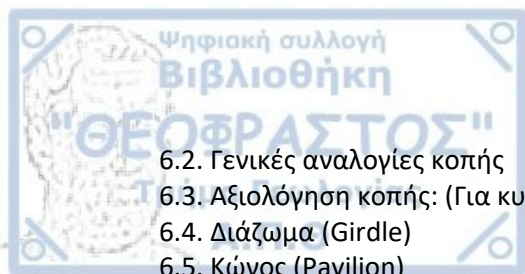
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



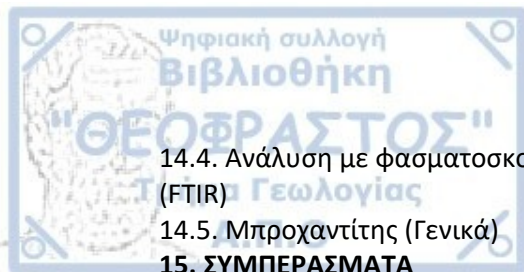
**Στην Έλενα
και στο Θωμά
που με έμαθαν
να αγαπάω
την επιστήμη.**



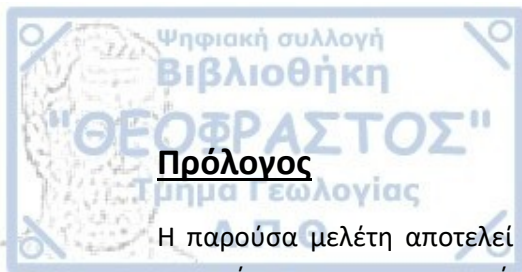
Πρόλογος	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1. Γεωλογία (Ορισμός)	2
1.2. Ορισμός ορυκτού	2
1.3. Βασικά Ιστορικά στοιχεία γεωλογίας και πολύτιμων λίθων.	6
1.4. Εμφάνιση πολύτιμων λίθων	6
1.4.1. Πυριγενή	6
1.4.2. Ιζηματογενή	7
1.4.3. Μεταμορφωμένα	7
2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ	8
2.1. Νόμος σταθερότητας των γωνιών	8
2.2. Στοιχεία Συμμετρίας	9
2.2.1. Άξονας συμμετρίας	9
2.2.2. Επίπεδο συμμετρίας	9
2.2.3. Κέντρο συμμετρίας	10
2.2.4. Στροφοκατοπτρισμός	10
2.2.5. Στροφοαναστροφή	10
2.3. Νόμος Συμμετρίας/ 32 κρυσταλλικές τάξεις	11
2.4. Παραγωγή 32 κρυσταλλικών τάξεων	11
2.5. Κρυσταλλογραφικοί άξονες	12
2.6. Τα 7 κρυσταλλικά συστήματα	12
3. ΟΡΥΚΤΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ	16
3.1. Σκληρότητα	16
3.2. Θραυσμός-Αντοχή (Fracture-Toughness)	17
3.3. Σχισμός	18
3.4. Αποχωρισμός (Parting)	19
3.5. Ασυνέχειες (Fractures)	19
3.6. Σταθερότητα (Stability)	19
<u>3.7. Οπτικά φαινόμενα σε πολύτιμους λίθους</u>	20
3.7.1. Οπαλισμός (Play-of-color)	20
3.7.2. Αδουλαρισμός (Adularescence)	20
3.7.3. Αλλαγή χρώματος (Color change)	21
3.7.4. Μάτι γάτας-τίγρη φαινόμενο	21
3.7.5. Φαινόμενο αστερισμού (ρουμπίνια- ζαφείρια)	22
3.7.6. Λαβραδορισμός (Labradorescence)	22
3.7.7. Ιριδισμός (Orient/Iridescence)	22
3.7.8. Αβεντουρισμός (Aventurescence)	23
3.8. Λάμψη- Γραμμή σκόνης	23
3.9. Ειδικό βάρος	24
3.10. Μέγεθος/Βάρος καρατίων	24
4. ΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ	26
5. ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΥΤΙΜΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ	27
5.1. Στερεά εγκλείσματα	28
5.2. Υγρά και αέρια εγκλείσματα	29
5.3. Αξιολόγηση διαύγειας κρυστάλλων και εγκλεισμάτων	30
5.4. Βοηθητικά εγκλείσματα	31
5.5. Επιφανειακές ανωμαλίες- Εγκλείσματα	31
6. ΚΟΠΗ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ	34
6.1. Κυκλική κοπή (Round cut)	34



6.2. Γενικές αναλογίες κοπής	35
6.3. Αξιολόγηση κοπής: (Για κυκλικής κοπής (round cut) κρυστάλλους)	36
6.4. Διάζωμα (Girdle)	36
6.5. Κώνος (Pavilion)	37
6.6. Fancy σχήματα κοπής	38
6.7. Παραδοσιακοί τρόποι κοπής	40
6.8. Αξιολόγηση κοπής- Cut grade (κυρίως για διαμάντια)	42
6.9. Αξιολόγηση χρώματος (για άχρωμα διαμάντια)	42
6.10. Αξιολόγηση συμμετρίας κρυστάλλων	43
6.11 Αξιολόγηση στίλβωσης κρυστάλλων	45
6.12. Συσχετισμός μεγέθους καρατίων και ποιότητας κοπής	47
7. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΠΟΛΥΤΙΜΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ	48
7.1. Αποχρωματισμός με χημική κατεργασία/Bleaching	48
7.2. Κατεργασία με λέιζερ/ Laser-drilled channel	49
7.3. Πλήρωση κοιλοτήτων /Cavity filling	50
7.4. Πλήρωση μικρορωγμών /Fracture filling	50
7.5. Θερμική Κατεργασία /Heat Treatment	51
7.6. Κατεργασία μέσω διάχυσης ιόντων-στοιχείων μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού/ Diffusion Treatment	54
7.7. Πλήρωση πόρων /Colorless or Colored impregnations	55
7.8. Ακτινοβολία/Irradiation	55
7.9. Κατεργασία βαφής /Dyeing	57
8. ΧΡΩΜΟΦΟΡΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΥΤΙΜΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ	61
9. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ.	67
9.1. Κρυστάλλωση μέσω τηγμάτων/Melt growth	67
9.2. Κρυστάλλωση μέσω διαλυμάτων/ Solution growth	68
10. ΑΠΟΜΙΜΗΣΕΙΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ	71
10.1. Γυαλί/Glass	71
10.2. Πλαστικό/Plastic	73
10.3. Συναρμολογημένοι λίθοι (Assembled stones)	73
10.4. Misnomers	74
B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	75
11. ΑΧΑΤΗΣ-ΧΑΛΚΗΔΟΝΙΟΣ	75
11.1. Χαλκηδόνιος	75
11.2. Αχάτης	75
11.3. Τεχνητό χρώμα σε αχάτες	76
11.4. Αίτια χρωματισμού σε φυσικούς αχάτες	77
11.5. Ζώνωση στους αχάτες	78
11.6. Εγκλείσματα στους αχάτες	79
11.7. Ανοιχτό κυανό-ιώδες χρώμα στους αχάτες/ Levander color	80
12. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	82
12.1. Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM)	82
12.2. Φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR)	84
13. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΥΑΝΟΥ-ΙΩΔΟΥΣ ΑΧΑΤΗ	85
13.1. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις	85
13.2. Παρατηρήσεις σε πολωτικό μικροσκόπιο	87
13.3. Χημική ανάλυση	90
14. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ	92
14.1. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις	92
14.2. Παρατηρήσεις σε πολωτικό μικροσκόπιο	93
14.3. Χημική Ανάλυση	94



14.4. Ανάλυση με φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR)	99
14.5. Μπροχαντίτης (Γενικά)	101
15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	103
ABSTRACT	104
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	107
ΙΣΤΟΛΟΓΙΟ	107



Πρόλογος

Η παρούσα μελέτη αποτελεί πτυχιακή εργασία που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος προπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η εργασία χωρίζεται σε 2 μέρη: Το πρώτο μέρος είναι το θεωρητικό κομμάτι που περιγράφει βασικές γεωλογικές έννοιες και διεργασίες. Το δεύτερο μέρος είναι το πειραματικό κομμάτι το οποίο περιλαμβάνει την ανάλυση δύο δειγμάτων ορυκτών από την περιοχή της Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης. Για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το δεύτερο μέρος της εργασίας κατασκευάστηκαν λεπτές στιλπνές τομές οι οποίες παρατηρήθηκαν σε πολωτικό και ηλεκτρονικό σαρωτικό μικροσκόπιο και έγιναν αναλύσεις σε φασματοσκόπιο υπερύθρου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την αναπληρώτρια καθηγήτρια του τμήματος Γεωλογίας, του τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, κα. Λαμπρινή Παπαδοπούλου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της, σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεση του θέματος της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα. Τσουκαλά Ευαγγελία του τμήματος Γεωλογίας και τον ιδιώτη συλλέκτη κ. Ι. Μπαχαρίτη για τις προτάσεις τους έτσι ώστε να βρω τα κατάλληλα δείγματα για την πτυχιακή μου εργασία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Κηπουρό για την πολύτιμη βοήθεια του έτσι ώστε να γίνει σωστά η κατασκευή των λεπτών στιλπνών τομών καθώς και την κα Τριανταφυλλιά Ζορμπά για τη βοήθεια της στη μέθοδο φασματοσκοπίας υπερύθρου καθώς και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτής της μεθόδου.

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γεωλογία (Ορισμός)

Η Γεωλογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη, αναγνώριση, επεξεργασία και κοστολόγηση των πολύτιμων φυσικών και τεχνητών λίθων. Η λέξη 'Γεωλογία' προέρχεται από τον αντίστοιχο όρο 'Gemology', παράγωγο της λέξης 'gem' (gema), που αναφέρεται σε κάθε υλικό (λίθο, ξύλο, όστρακο, απολίθωμα, οργανική ουσία κλπ.), το οποίο είναι πολύτιμο λόγω της σπανιότητας, της μοναδικότητας, της ομορφιάς, της επεξεργασίας και ενίοτε της παλαιότητάς του. Ως επιστήμη ανήκει σε μια πιο ευρύτερη επιστήμη, τη Γεωλογία και πιο συγκεκριμένα αποτελεί τμήμα της Ορυκτολογίας-Πετρολογίας. Επομένως, για τη σωστή μελέτη αναγνώριση, κατηγοριοποίηση και ταυτοποίηση των πολύτιμων λίθων η Γεωλογία δανείζεται όρους, έννοιες και μεθόδους από άλλες θετικές επιστήμες όπως είναι: η Γεωλογία, η Ορυκτολογία, η Φυσική, η Χημεία, τα Μαθηματικά και η Γεωμετρία.

1.2. Ορισμός ορυκτού

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η Γεωλογία ως επιστήμη είναι στενά συνδεδεμένη με την Ορυκτολογία. Με άλλα λόγια η έννοια του ορυκτού αποτελεί κομμάτι της έννοιας του πολύτιμου λίθου. Επομένως, στην ορυκτολογία **ονομάζουμε ορυκτό ένα φυσικώς εμφανιζόμενο ομογενές στερεό, το οποίο συνήθως σχηματίζεται με ανόργανες διαδικασίες, χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ταξινομημένης ατομικής διατάξεως και έχει χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες, οι οποίες είτε είναι σταθερές είτε κυμαίνονται εντός ορισμένων ορίων** (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>).

Η ανάλυση των επί μέρους τμημάτων του ορισμού αυτού θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόησή του:

Φυσικώς εμφανιζόμενο...

Η φράση αυτή περιορίζει την έννοια του ορυκτού μόνο σε εκείνες τις ουσίες που μπορούν να απαντηθούν στη φύση. Παρόλα αυτά στη σημερινή εποχή υπάρχουν ορυκτά και κρύσταλλοι που σχηματίζονται σε συνθήκες εργαστηρίου όπως είναι τα συνθετικά διαμάντια, τα κυβικά ζirkόνια και άλλοι. πολύτιμοι λίθοι. Επομένως, για αυτά τα είδη κρυστάλλων αποφεύγεται να χρησιμοποιείται αυστηρά ο όρος του ορυκτού και έτσι έχει επικρατήσει ο όρος: συνθετικοί κρύσταλλοι/πολύτιμοι λίθοι. (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>).

Ομογενές...

Αποτελείται από μία και μοναδική στερεά ουσία, η οποία δε μπορεί να διασπαστεί με φυσικές διεργασίες σε απλούστερες χημικές ενώσεις. Η ομογένεια αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε διάφορες κλίμακες παρατήρησης: είτε με γυμνό μάτι είτε με μικροσκόπιο (οπτικό ή ηλεκτρικό) (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>).

Με τον όρο αυτό αποκλείονται από τα ορυκτά τα υγρά και τα αέρια. Το H_2O ως πάγος (π.χ. παγάκια, παγετώνες) θεωρείται ορυκτό όχι όμως και το νερό. Ομοίως ο υγρός υδράργυρος (Hg) (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>).

Συνήθως ανόργανες διαδικασίες...

Κανονικά οι ουσίες που παράγονται από οργανικές διεργασίες θα έπρεπε να αποκλείονται. Παρόλα αυτά υπάρχουν οργανικές ενώσεις που χαρακτηρίζονται ως ορυκτά ή πολύτιμοι λίθοι (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>). Μερικοί από αυτούς είναι:

❖ Ιβουάρ (Ivory)

Αυτός ο οργανικός πολύτιμος λίθος αποτελεί κυρίως οργανική ένωση φωσφόρου και ασβεστίου. Το ιβουάρ (Εικ.1.1) περιλαμβάνει διάφορες ποικιλίες ορυκτών. Οι κυριότερες από αυτές είναι: το ελεφαντόδοντο, τα δόντια υποπόταμου, δόντια καρχαρία και απολιθωμένα δόντια μαμούθ. Οι κύριες περιοχές προέλευσης του ιβουάρ είναι η Αφρική και η Ινδία (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα 1.1. Ιβουάρ από τη συλλογή του γεωλογικού ινστιτούτου της Αμερικής (GIA).

❖ Οδοντολίτης

Ο οδοντολίτης είναι μια κυανή σε χρώμα ποικιλία απολιθωμένων δοντιών μαμούθ και αποτελεί κυρίως οργανική ένωση φωσφόρου, σιδήρου και ασβεστίου. Η κύρια χώρα προέλευσής του είναι η Γαλλία και χρησιμοποιείται κυρίως ως απομίμηση της πολύτιμης πέτρας τερκούαζ (Χρυσανθάκη 2005).

❖ Κεχριμπάρι

Το κεχριμπάρι (Εικ.1.2) είναι απολιθωμένη ρητίνη με κύρια συστατικά ηλεκτρικό οξύ (succinic acid), ρητίνη δέντρων και λάδι. Το κεχριμπάρι χαρακτηρίζεται ως οργανικός πολύτιμος λίθος παρόλο την πολύ μικρή σκληρότητά του (2,5) και διακρίνεται εύκολα από τις απομιμήσεις του που είναι κυρίως γυαλί λόγω της μεγαλύτερης σκληρότητας (6,0) του τελευταίου (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα 1.2. Κεχριμπάρι από τη συλλογή του γεωλογικού ινστιτούτου της Αμερικής (GIA).

❖ Κέλυφος χελώνας (Ταρταρούγα)

Τα κελύφη χελώνας (Εικ.1.3) μπορούν πολύ συχνά να χαρακτηριστούν ως οργανικοί πολύτιμοι λίθοι και αποτελούνται κυρίως από κερατίνη ενώ μπορούν πολύ εύκολα να διακριθούν από τις απομιμήσεις τους λόγω της ανομοιογένειας στο χρώμα και της παρουσίας γρανοβλαστικού ιστού. Προέρχεται κατά βάση από θαλάσσιες χελώνες (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα 1.3. Σκουλαρίκια από ταρταρούγα. Πάνω στην ταρταρούγα, έχουν τοποθετηθεί με την τεχνική *riche*, λεπτά ασημένια ελάσματα. Έχουν κατασκευαστεί το 1870 στην Αγγλία κατά την Βικτωριανή περίοδο, όπου η ταρταρούγα ήταν πολύ στη μόδα. Βρίσκονται σε ιδιωτική συλλογή (<http://www.jewelpedia.com/lex202-tartarouga-tortoise-shell.html>).

❖ Όστρακα- Μαργαριτάρια

Τα όστρακα και τα μαργαριτάρια (Εικ.1.4) αποτελούν το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα οργανικών πολύτιμων λίθων. Αποτελούνται από οργανική ένωση του ανθρακικού ασβεστίου και προέρχονται κυρίως από δίθυρα μαλάκια γνωστά ως Pinctada των οποίων τα όστρακα και μαργαριτάρια έχουν ιδιαίτερη οικονομική αξία (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα 1.4. Διάφορα είδη μαργαριταριών-οστράκων
(<https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2018-cultured-pearls-from-lake-kasumigaura-production-and-gemological-characteristics>).

❖ Κοράλλι

Τα κοράλλι (Εικ.1.5) αποτελείται επίσης από οργανική ένωση ανθρακικού ασβεστίου με κογχουλίνη και έχει κυρίως ινώδη μορφή. Χωρίζεται σε διάφορες ποικιλίες ανάλογα με το χρώμα του. Οι μεσογειακές χώρες αποτελούν τις κύριες πηγές προέλευσης του (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα 1.5. Ακατέργαστο κοράλλι (GIA)

Υψηλός βαθμός ατομικής διατάξεως...

Ο περιορισμός αυτός χαρακτηρίζεται από την εσωτερική κανονική διάταξη ατόμων ή ιόντων. Αυτό είναι το κριτήριο για να χαρακτηριστεί ένα σώμα ως κρυσταλλικό στερεό. Τα μη κρυσταλλικά στερεά είναι άμορφα (π.χ. γυαλί). Τα άμορφα στερεά όπως ο Hg και το

υγρό νερό αποτελούν τα μεταλλοειδή. Όμως όλα τα ορυκτά είναι κρυσταλλικά και η ιδιότητα τους αυτή εκφράζεται με καθορισμένο εξωτερικό γεωμετρικό σχήμα (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>).

Έχει χημική σύσταση εντός ορισμένων ορίων...

Ο τελευταίος περιορισμός του ορισμού του ορυκτού εκφράζει ότι κάθε ορυκτό μπορεί να αποδοθεί με έναν ιδιαίτερο χημικό τύπο. Έτσι για παράδειγμα ο χημικός τύπος του κορουνδίου εκφράζεται ως Al_2O_3 δηλαδή περιέχει στη σύσταση του μόνο οξυγόνο και αργίλιο. Σε αντίθεση, ο γρανάτης δεν έχει ποτέ σταθερή χημική σύσταση αλλά κυμαίνεται η σύσταση του εντός κάποιων χημικών ορίων. Έτσι ο γενικός τύπος του γρανάτη δίνεται ως $M_3^{+2}M_2^{+3}(SiO_4)_3$ όπου M μπορεί να είναι: Ca, Al, Fe (<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>).

1.3. Βασικά Ιστορικά στοιχεία γεωλογίας και πολύτιμων λίθων.

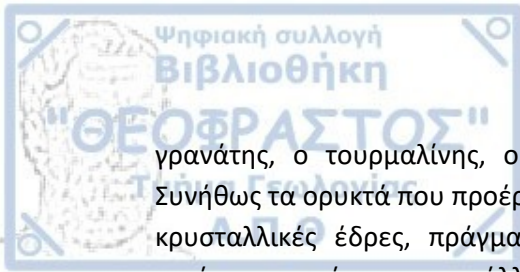
Όπως αναφέρθηκε, οι πολύτιμοι λίθοι ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των ορυκτών και πετρωμάτων. Επομένως, η Ιστορία των πολύτιμων λίθων είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ιστορία των ορυκτών. Είναι γνωστό σήμερα ότι από την εποχή των σπηλαίων ο πρωτόγονος άνθρωπος τυχαία ανακάλυψε ότι ο χαλαζίας και ο πυριτόλιθος όταν σπάσουν δημιουργούν κοφτερές γωνίες οι οποίες μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία και όπλα. Έτσι, με το πέρασμα των χρόνων, η εκμετάλλευση ορυκτών και πολύτιμων λίθων αποτέλεσε μια σημαντική ένδειξη υψηλού επιπέδου πολιτισμού (Hurlbut and Kammerling 1991). Επομένως, με την ταυτόχρονη αναζήτηση κατάλληλων υλικών για τη δημιουργία εργαλείων και όπλων, ο άνθρωπος αξιοποίησε την ύπαρξη πολύτιμων λίθων από τους αρχαίους ακόμα πολιτισμούς (πχ. Ελληνικός, Αιγυπτιακός, Ρωμαϊκός). Σε πολλές αρχαίες αιγυπτιακές τοιχογραφίες απεικονίζονται εξορύξεις ορυκτών δηλώνοντας το υψηλό επίπεδο τεχνογνωσίας και εκμετάλλευσης αυτού του πολιτισμού για εκείνη την εποχή. Η χρήση και η αξία των πολύτιμων λίθων στην αρχαία εποχή δεν διαφέρει ιδιαίτερα από τη σημερινή εποχή. Οι κύριες χρήσεις των πολύτιμων λίθων είναι ως κοσμήματα, διακοσμητικά και στολίδια (Hurlbut and Kammerling 1991).

1.4. Εμφάνιση πολύτιμων λίθων.

Οι πολύτιμοι λίθοι μπορούν να υπάρχουν σε όλες τις κατηγορίες πετρωμάτων: Πυριγενή, Ιζηματογενή, Μεταμορφωμένα (Hurlbut and Kammerling 1991).

1.4.1. Πυριγενή

Τα περισσότερα πυριγενή πετρώματα περιέχουν ως κύρια ορυκτά τον χαλαζία, τον ολιβίνη, τους αστρίους, τα αστριοειδή, τους μαρμαρυγίες, τις αμφιβόλους και τους πυροξένους. Ανάλογα με τη σύσταση και τις συνθήκες κρυστάλλωσης του μάγματος μεταβάλλονται και οι δυνατοί συνδυασμοί των παραπάνω ορυκτών που υπάρχουν στο πέτρωμα. Παρόλο που τα κύρια πυριγενή πετρώματα είναι ο γρανίτης και ο βασάλτης οι πολύτιμοι λίθοι μπορεί να εντοπιστούν σε διάφορα είδη πυριγενών πετρωμάτων και κυρίως στους πηγματίτες όπου επικρατούν διάφορα σπάνια ορυκτά όπως η βήρυλλος, ο



γρανάτης, ο τουρμαλίνης, ο μοργκανίτης, το τοπάζιο και διάφορες μορφές χαλαζία. Συνήθως τα ορυκτά που προέρχονται από πυριγενή πετρώματα φέρουν καλά αναπτυγμένες κρυσταλλικές έδρες, πράγμα το οποίο εξυπηρετεί ιδιαίτερα στη σωστή επιλογή της μετέπειτα κοπής του κρυστάλλου (Hurlbut and Kammerling 1991).

1.4.2. Ιζηματογενή

Κάθε πέτρωμα, ανεξάρτητα από την κατηγορία στην οποία ανήκει, (πυριγενές, ιζηματογενές, μεταμορφωμένο) όταν βρίσκεται στην επιφάνεια της γης εκτίθεται σε συνθήκες αποσάθρωσης και διάβρωσης. Τα περισσότερα ιζηματογενή πετρώματα προέρχονται από τη συγκόλληση κόκκων από προϋπάρχοντα πετρώματα. Η συγκόλληση των κόκκων και οι διαδικασίες διαγένεσης μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία νέων ορυκτών ή πολύτιμων λίθων ή και ακόμα και στη διατήρηση αυτών από τα προϋπάρχοντα πετρώματα.

Σημαντικό ρόλο έχουν τα χημικά και βιογενή ιζήματα τα οποία μπορούν να σχηματίσουν διάφορες μικροκρυσταλλικές μορφές SiO_2 και CaCO_3 . Χαρακτηριστικοί πολύτιμοι λίθοι που συναντάμε σε ιζηματογενή πετρώματα είναι: τουρμαλίνης, ζirkόνιο, ανδαλουσίτης, χρυσοβήρυλλος, σπινέλλιος τοπάζιο κ.α. (Hurlbut and Kammerling 1991).

1.4.3. Μεταμορφωμένα

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα προέρχονται από την ανακρυστάλλωση και μετασώματωση προϋπαρχόντων ιζηματογενών και πυριγενών πετρωμάτων. Οι παράγοντες που οδηγούν στις παραπάνω μεταμορφικές διεργασίες είναι κυρίως η μεταβολή της πίεσης, της θερμοκρασίας και η προσθήκη-αποβολή ρευστών. Η μεταμόρφωση μπορεί να είναι περιοχική (μεγάλης κλίμακας) ή μικρής κλίμακας όπως είναι η μεταμόρφωση επαφής. Σε πολλές περιπτώσεις μεταμόρφωσης επαφής έχουμε συχνά την εμφάνιση διάφορων πολύτιμων ορυκτών όπως είναι: οι γρανάτες, το επίδοτο, τα κορούνδια (ρουμπίνια, ζαφείρια), ο τουρμαλίνης και ο λάπις λαζούλι (Hurlbut and Kammerling 1991).

2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ

Από διάφορα δείγματα ορυκτών και πετρωμάτων που βρέθηκαν και αναλύθηκαν, παρατηρήθηκε ότι τα ορυκτά τείνουν να εμφανίζονται με διάφορες μορφές πολυέδρων. Το γεγονός αυτό κίνησε το ενδιαφέρον για τη μελέτη της κρυσταλλικής ύλης και δομής. Επομένως, γεωμετρική κρυσταλλογραφία ονομάζουμε την επιστήμη που μελετά την γεωμετρία και τις ιδιότητες των κρυσταλλικών πολυέδρων καθώς και τους νόμους στους οποίους υπακούουν για την τρισδιάστατη ανάπτυξη τους. Παρόλα αυτά το κρυσταλλικό σχήμα δεν αποτελεί και χαρακτηριστική ιδιότητα των κρυστάλλων διότι η πολυεδρική ανάπτυξη μπορεί να εμποδίζεται από εξωτερικούς παράγοντες (Θεοδωρίκας 2013).

Γενικότερα, οι κρύσταλλοι (ορυκτά) χαρακτηρίζονται ως ομογενή και ανισότροπα μέσα με διανυσματικές ιδιότητες που μεταβάλλονται ασυνεχώς. Ομογενή, διότι σε παράλληλες διευθύνσεις οι διανυσματικές ιδιότητες έχουν την ίδια τιμή και ανισότροπα, διότι η εξεταζόμενη ιδιότητα έχει διαφορετική τιμή προς τις διάφορες κατευθύνσεις (Θεοδωρίκας 2013).

Γεωμετρικά περατωτικά στοιχεία κρυσταλλικών πολυέδρων.

Οι κρύσταλλοι είναι στερεά και κυρτά γεωμετρικά πολύεδρα. Αυτό σημαίνει ότι ένας κρύσταλλος δεν μπορεί να εμφανίζει μη κυρτές γωνίες εκτός από την περίπτωση σύμφυσης κρυστάλλων. Επομένως, οποιαδήποτε προεκτεινόμενη έδρα του ορυκτού αφήνει ολόκληρο τον κρύσταλλο στο ίδιο επίπεδο.

Τα περατωτικά στοιχεία ενός κρυστάλλου είναι

- ❖ Έδρες
- ❖ Ακμές
- ❖ Κορυφές

Αυτά τα γεωμετρικά στοιχεία συνδέονται με την εξής μαθηματική εξίσωση (Θεοδωρίκας 2013).

$$\text{Έδρες} + \text{κορυφές} = \text{ακμές} + 2$$

Ζώνη κρυστάλλου: Ονομάζεται εκείνο το σύνολο εδρών που τέμνονται σε μια διάταξη παράλληλων ακμών. Άξονας της ζώνης ορίζεται εκείνη η κατεύθυνση προς την οποία είναι παράλληλες οι έδρες της ζώνης (Θεοδωρίκας 2013).

Η έννοια της ζώνης είναι πολύ σημαντική για την περιγραφή των περατωτικών στοιχείων των κρυστάλλων. Ταυτοζωνικές ονομάζονται οι έδρες που ανήκουν στην ίδια ζώνη (Θεοδωρίκας 2013).

2.1. Νόμος σταθερότητας των γωνιών.

Οι διέδρες γωνίες των εδρών ενός κρυστάλλου που σχηματίζονται κάτω από ορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας είναι σταθερές. Όμως τις περισσότερες φορές στη φύση δεν παρατηρούμε πλήρη συμμετρική ανάπτυξη των κρυσταλλικών πολυέδρων λόγω

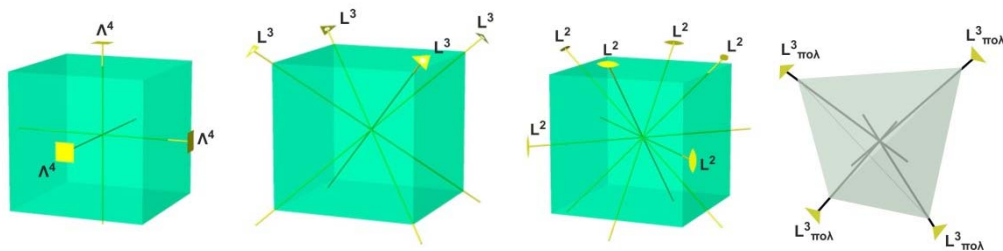
εξωτερικών παραγόντων. Όμως, οι διέδρες γωνίες του ορυκτού παραμένουν σταθερές ακόμα και αν ο κρύσταλλος έχει παραμορφωθεί, διότι στην παραμόρφωση οι έδρες του κρυστάλλου απλώς μετατοπίζονται παράλληλα προς τον εαυτό τους, χωρίς να μεταβάλλονται οι γωνίες που σχηματίζουν μεταξύ τους. Επομένως η τιμή της διέδρης γωνίας μπορεί να αποτελέσει διαγνωστικό χαρακτηριστικό των ορυκτών αφού διατηρεί σταθερή την τιμή της στους διάφορους κρυστάλλους του ορυκτού (Θεοδωρίκας 2013).

Στους κρυστάλλους η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ δύο εδρών ορίζεται με την τιμή της παραπληρωματικής της γωνίας και όχι με την πραγματική της (Θεοδωρίκας 2013).

2.2. Στοιχεία Συμμετρίας

2.2.1. Άξονας συμμετρίας

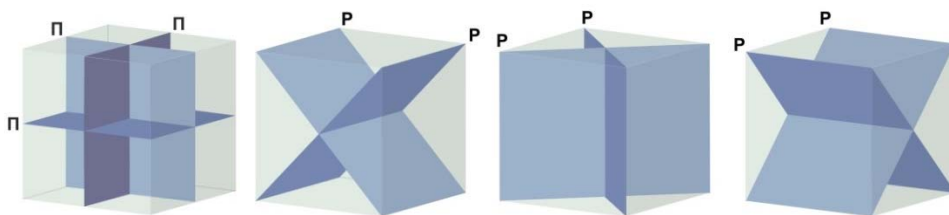
Είναι η ευθεία γύρω από την οποία αν περιστραφεί το γεωμετρικό πολυέδρο του κρυστάλλου κατά $2\pi/n$ θα ταυτιστεί με τον εαυτό του. Ο δείκτης n δηλώνει την τάξη του άξονα συμμετρίας. Οι άξονες συμμετρίας (Σχ2.1) των γεωμετρικών πολυέδρων διακρίνονται σε κύριους, δευτερεύοντες και πολικούς. Οι κύριοι συμβολίζονται με (Λ) οι δευτερεύοντες με (L) και οι πολικοί με (Λ^p) (Θεοδωρίκας 2013). Τονίζεται ότι στους κρυστάλλους δεν μπορούν να υπάρχουν άξονες συμμετρίας 5^{ης} τάξης ή μεγαλύτερης από 6^{ης} τάξης (Νόμος Haüy) (Θεοδωρίκας 2013).



Σχήμα 2.1 Από αριστερά προς τα δεξιά: Κύριοι άξονες τέταρτης τάξης Λ^4 , δευτερεύοντες άξονες τρίτης τάξης L^3 , δευτερεύοντες άξονες δεύτερης τάξης L^2 , πολικοί άξονες τρίτης τάξης $L^3_{\text{πολ}}$ (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_A/symmetry_L.htm)

2.2.2. Επίπεδο συμμετρίας

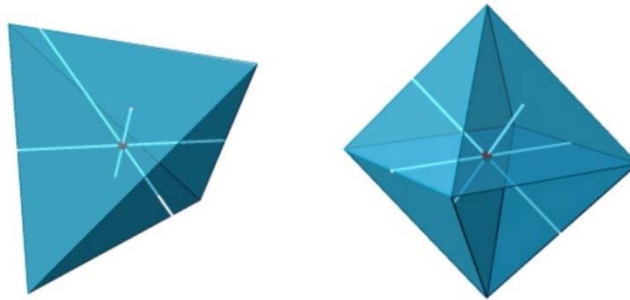
Είναι η νοητή επιφάνεια που τέμνει τον κρύσταλλο σε δύο κομμάτια τα οποία σχετίζονται μεταξύ τους ως αντικείμενο προς κατοπτρικό είδωλο (Θεοδωρίκας 2013). Τα επίπεδα συμμετρίας όπως και οι άξονες συμμετρίας διακρίνονται σε κύρια και δευτερεύοντα. Τα κύρια επίπεδα συμβολίζονται με (Π) και τα δευτερεύοντα συμβολίζονται με (P) και είναι κάθετα σε δευτερεύοντες άξονες. (Σχ. 2.2) (Θεοδωρίκας 2013).



Σχήμα 2.2. Κύρια επίπεδα συμμετρίας Π και δευτερεύοντα επίπεδα συμμετρίας P (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_A/symmetry_P.htm).

2.2.3. Κέντρο συμμετρίας

Ονομάζεται εκείνο το σημείο του κρυστάλλου απ' όπου μπορούμε να έχουμε συμμετρική ανάπτυξη των κρυσταλλικών πολυέδρων (Θεοδωρίκας 2013). Το κέντρο συμμετρίας (Σχ.2.3) μπορεί να απουσιάζει από το κρυσταλλικό πολύεδρο. Γενικώς, προκύπτει ότι αν ένας κρύσταλλος έχει ανά δύο όλες τις απέναντι έδρες του παράλληλες τότε έχει σίγουρα κέντρο συμμετρίας (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_A/symmetry_C.htm).



Σχήμα 2.3. Κέντρο συμμετρίας σε τετράεδρο και κέντρο συμμετρίας σε οκτάεδρο (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_A/symmetry_C.htm).

Η ύπαρξη πολικού άξονα συμμετρίας σε ένα κρυσταλλικό πολύεδρο αποκλείει την περίπτωση ύπαρξης κέντρου συμμετρίας στο συγκεκριμένο πολύεδρο.

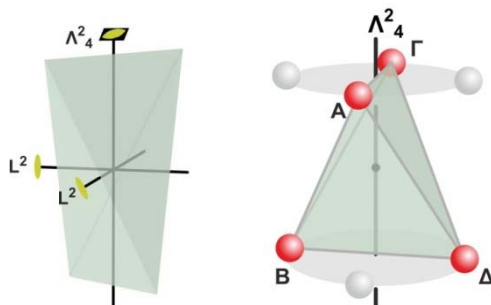
Σε κάποια γεωμετρικά πολύεδρα μπορεί να εμφανίζονται και δευτερεύοντα στοιχεία συμμετρίας (Θεοδωρίκας 2013).

2.2.4. Στροφοκατοπτρισμός

Ονομάζεται η στροφή του γεωμετρικού πολυέδρου γύρω από έναν άξονα συμμετρίας με ταυτόχρονο κατοπτρισμό ως προς ένα υποθετικό και κάθετο επίπεδο συμμετρίας προς τον αρχικό άξονα (Θεοδωρίκας 2013).

2.2.5. Στροφοαναστροφή

Ονομάζεται η στροφή του γεωμετρικού πολυέδρου γύρω από έναν άξονα συμμετρίας και την ταυτόχρονη αναστροφή του ως προς το κέντρο συμμετρίας.



Σχήμα 2.4. Άξονας στροφοαναστροφής σε σφηνόεδρο (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_A/symmetry_L24.htm).

Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν οι άξονες στροφοαναστροφής (Σχ. 2.4) που συμβολίζονται με μια παύλα πάνω από τον αριθμό που συμβολίζει την τάξη συμμετρίας τους (Θεοδωρίκας 2013).

2.3. Νόμος Συμμετρίας/ 32 κρυσταλλικές τάξεις.

Κάθε ορυκτό μπορεί να εμφανίζεται στη φύση με διάφορα κρυσταλλικά σχήματα που μπορεί να είναι είτε απλά είτε σύνθετα. Το σύνολο των απλών γεωμετρικών πολυέδρων που εμφανίζουν ίδια στοιχεία συμμετρίας συντελούν μία κρυσταλλική τάξη επειδή για κάθε γεωμετρικό πολυέδρο υπάρχουν συνολικά 32 επιτρεπτοί συνδυασμοί στοιχείων συμμετρίας (Θεοδωρίκας 2013). Άρα υπάρχουν μόνο 32 κρυσταλλικές τάξεις. Οι σύνθετοι κρύσταλλοι αποτελούν έναν είτε απλό είτε περίπλοκο συνδυασμό εδρών των απλών κρυστάλλων. Παραδείγματα σύνθετων κρυστάλλων είναι ο γρανάτης και ο χαλαζίας (Θεοδωρίκας 2013).

Η φαινομενική συμμετρία ενός κρυστάλλου δεν είναι απαραίτητο να συμπίπτει με την πραγματική του συμμετρία διότι υπάρχει δυνατότητα ανάπτυξης μιας σειράς εδρών πάνω στις κύριες έδρες του κρυστάλλου όπως συμβαίνει με τις ποικίλσεις του σιδηροπυρίτη (Θεοδωρίκας 2013). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι τα ορυκτά με ορισμένη χημική σύσταση και καθορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας έχουν κοινά και σταθερά στοιχεία συμμετρίας (Θεοδωρίκας 2013).

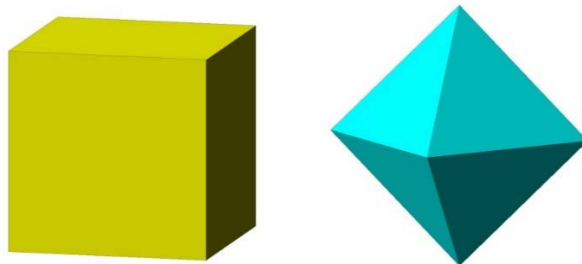
2.4. Παραγωγή 32 κρυσταλλικών τάξεων.

Η παραγωγή των 32 κρυσταλλικών τάξεων βασίζεται σε ορισμένους κανόνες όπως (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_C/lessons/Lesson_04.pdf):

- 1) Αν υπάρχει άξονας συμμετρίας τάξης n τότε τα επίπεδα συμμετρίας του πολυέδρου θα είναι κάθετα ή θα διέρχονται από αυτόν τον άξονα. Αν τα επίπεδα που διέρχονται από τον άξονα συμμετρίας έχουν πλήθος n τότε τέμνονται μεταξύ τους υπό γωνίες ίσες με $180^\circ / n$ μοίρες.
- 2) Αν υπάρχει μόνο ένας κύριος άξονας συμμετρίας και υπάρχει δευτερεύοντας άξονας 2^{ns} τάξης τότε θα υπάρχουν n δευτερεύοντες άξονες δεύτερης τάξης οι οποίοι θα βρίσκονται όλοι στο ίδιο επίπεδο και θα τέμνονται σε ίσες γωνίες $180^\circ / n$ μοίρες
- 3) Αν έχουμε n επίπεδα που τέμνονται σε n ίσες γωνίες και διέρχονται από την ίδια ευθεία τότε η ευθεία αυτή αντιπροσωπεύει έναν άξονα n τάξης (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_C/lessons/Lesson_04.pdf)
- 4) Αν υπάρχουν n άξονες που βρίσκονται σε ένα επίπεδο και τέμνονται σε ίσες γωνίες τότε υπάρχει κύριος άξονας τάξης n που είναι κάθετος στους προηγούμενους άξονες
- 5) Αν υπάρχει άξονας συμμετρίας άρτιας τάξης, επίπεδο κάθετο σε αυτόν και κέντρο συμμετρίας, συνδυαζόμενα ανά δύο συνεπάγονται το τρίτο
- 6) Αν υπάρχει άξονας συμμετρίας περιττής τάξης, επίπεδο κάθετο σε αυτόν και κέντρο συμμετρίας, συνδυαζόμενα ανά δύο αποκλείουν το τρίτο

2.5. Κρυσταλλογραφικοί άξονες

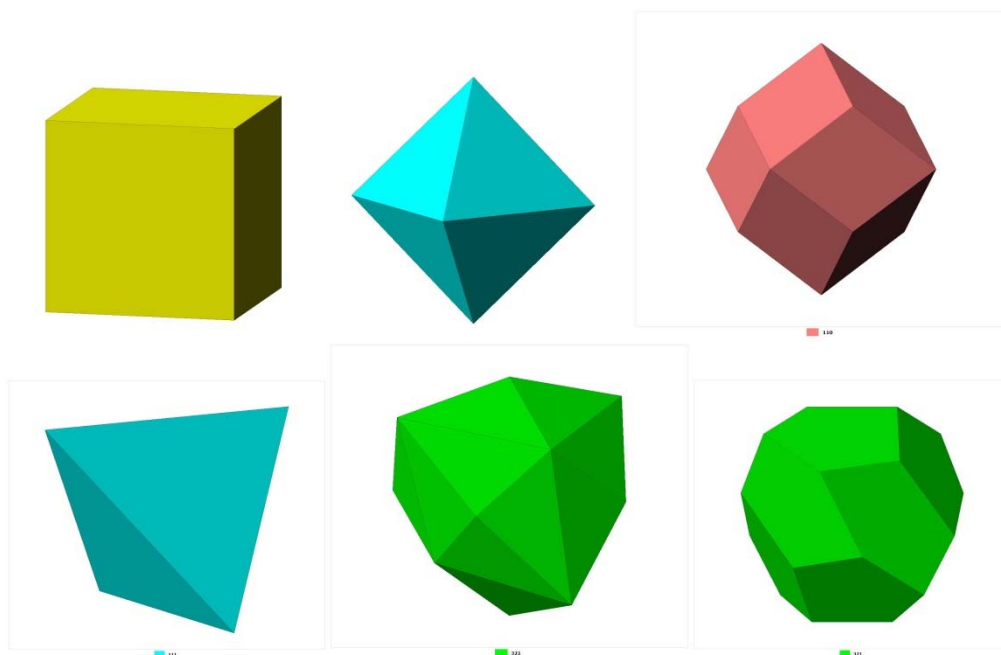
Κρυσταλλογραφικοί άξονες είναι οι άξονες ενός συστήματος συντεταγμένων που χρησιμεύουν για την περιγραφή ενός κρυσταλλικού πολυέδρου (Θεοδωρίκας 2013). Για την περιγραφή ενός κρυσταλλικού πολυέδρου δεν αρκούν μόνο τα στοιχεία συμμετρίας του. Για παράδειγμα, το εξάεδρο και το οκτάεδρο έχουν τα ίδια στοιχεία συμμετρίας ($3L^4 4L^3 6L^2 3Π 6P C$), όμως είναι διαφορετικά σχήματα (Σχ. 2.5) (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_C/lessons/Lesson_04.pdf).



Σχήμα 2.5. Το εξάεδρο (αριστερά) έχει τα ίδια κρυσταλλογραφικά στοιχεία ($3L^4 4L^3 6L^2 3Π 6P C$) με το οκτάεδρο (δεξιά) αλλά πρόκειται για δύο διαφορετικά σχήματα (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_K.htm).

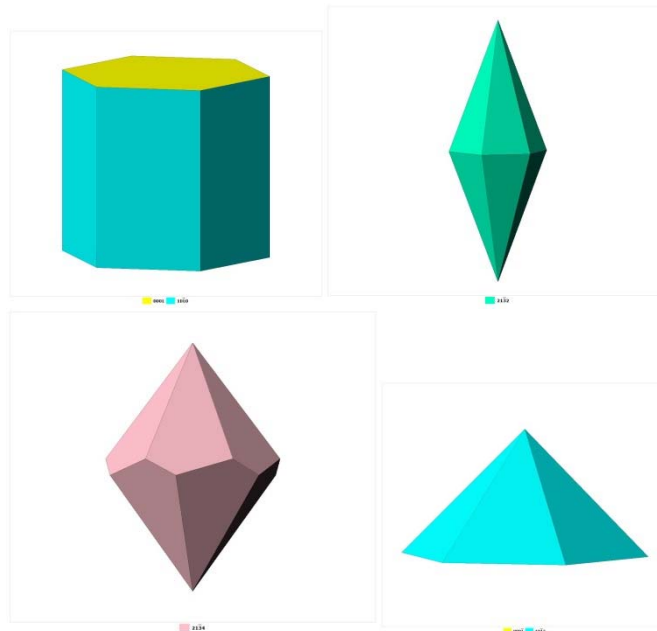
2.6. Τα 7 κρυσταλλικά συστήματα.

- 1) **Κυβικό:** Χαρακτηρίζεται από 3 κρυσταλλογραφικούς άξονες ίσους και κάθετους μεταξύ τους, δηλαδή ισχύει $a=b=c$ και $a=b=c=90^\circ$. Τυπικές κρυσταλλικές σχήματα: κύβος, ρομβικό δωδεκάεδρο, εικοσιτετράεδρο, πενταγωνικό δωδεκάεδρο κ.α. (Σχ. 2.6).



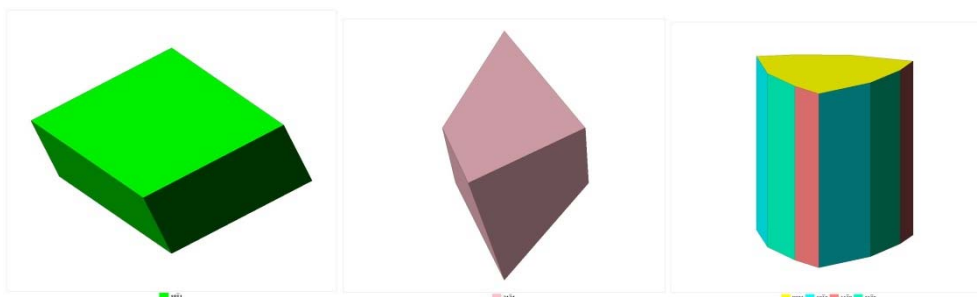
Σχήμα 2.6. Τυπικές κρυσταλλικές φόρμες κυβικού συστήματος: εξάεδρο, οκτάεδρο, ρομβικό δωδεκάεδρο, τετράεδρο, εξακίς τετράεδρο, τεταρτοεδρικό πενταγωνικό δωδεκάεδρο. (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_K.htm)

- 2) **Εξαγωνικό:** Χαρακτηρίζεται από 4 κρυσταλλογραφικούς άξονες. Από αυτούς οι 3 είναι οριζόντιοι και ίσοι μεταξύ τους δηλαδή $a_1 = a_2 = a_3$ και σχηματίζουν γωνία 120° ενώ ο τέταρτος άξονας είναι κάθετος στους άλλους 3 άξονες. Επομένως, $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$. Κρυσταλλικές φόρμες: εξαγωνικό πρίσμα, διεξαγωνικό πρίσμα, εξαγωνική αμφιπυραμίδα, διεξαγωνική αμφιπυραμίδα κ.α. (Σχ. 2.7).



Σχήμα 2.7. Κρυσταλλικές φόρμες: εξαγωνικό πρίσμα, εξαγωνική αμφιπυραμίδα, εξαγωνικό τραπεζόεδρο, εξαγωνική πυραμίδα (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_6.htm).

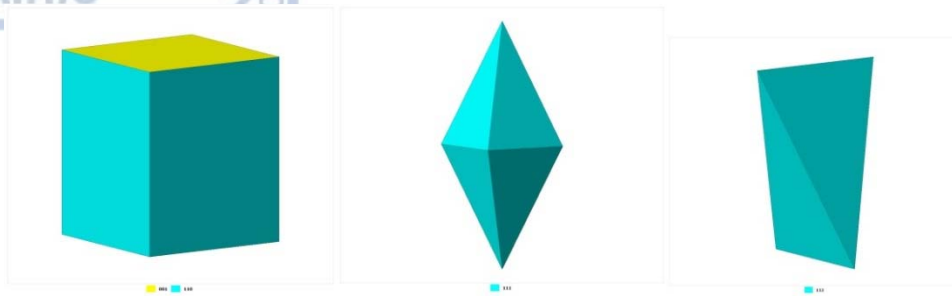
- 3) **Τριγωνικό:** Χαρακτηρίζεται από 4 κρυσταλλογραφικούς άξονες όπως ακριβώς και το εξαγωνικό σύστημα. Εδώ η μόνη διαφορά είναι ότι ο κρυσταλλογραφικός άξονας c ταυτίζεται με τον Λ^3 . Δεν υπάρχει ουσιώδης διαφορά μεταξύ τριγωνικού και εξαγωνικού συστήματος κρυστάλλωσης. Σε πολλές βιβλιογραφίες δεν γίνεται διάκριση των δύο παραπάνω συστημάτων κρυστάλλωσης. Κρυσταλλικές φόρμες: ρομβόεδρο, τριγωνικό τραπεζόεδρο, τριγωνικό πρίσμα κ.α. (Σχ. 2.8).



Σχήμα 2.8. Κρυσταλλικές φόρμες τριγωνικού συστήματος: ρομβόεδρο, τριγωνικό τραπεζόεδρο, τριγωνικό πρίσμα (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_3.htm).

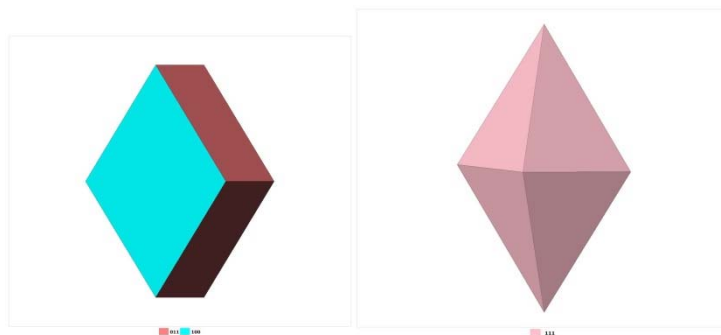
- 4) **Τετραγωνικό:** Αποτελείται από 3 κάθετους κρυσταλλογραφικούς άξονες ($a=b=c=90^\circ$) εκ των οποίων ο κάθετος c άξονας είναι μεγαλύτερος από τους άλλους

δύο δηλαδή ισχύει: $a=b \neq c$. Κρυσταλλικές φόρμες: τετραγωνικό πρίσμα, τετραγωνική αμφιπυραμίδα, σφηνόεδρο κ.α. (Σχ. 2.9).



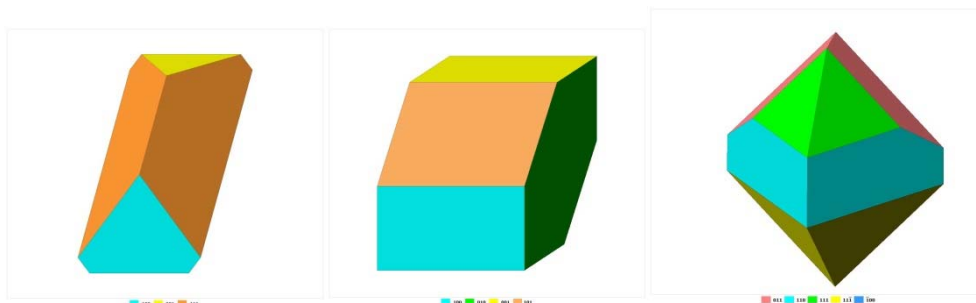
Σχήμα 2.9. Κρυσταλλικές φόρμες τετραγωνικού συστήματος: τετραγωνικό πρίσμα, τετραγωνική αμφιπυραμίδα, σφηνόεδρο (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_A/system_4.htm).

- 5) **Ρομβικό:** Αποτελείται από 3 κρυσταλλογραφικούς άξονες άνισους ($a \neq b \neq c$) και κάθετους ($a=b=c=90^\circ$) μεταξύ τους. Κρυσταλλικές φόρμες: ρομβικό πρίσμα, ρομβική αμφιπυραμίδα. (Σχ. 2.10).



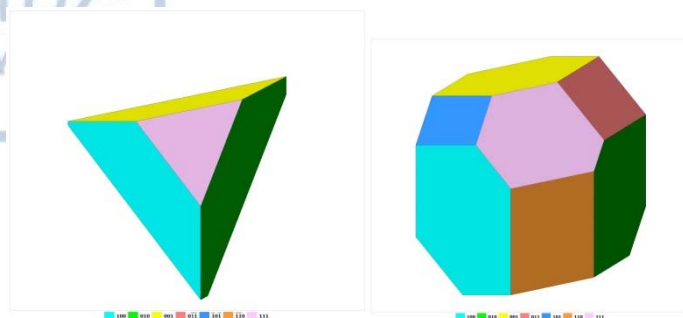
Σχήμα 2.10. Κρυσταλλικές φόρμες ρομβικού συστήματος: ρομβικό πρίσμα, ρομβική αμφιπυραμίδα (http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_R.htm).

- 6) **Μονοκλινές:** Αποτελείται από τρεις άξονες διαφορετικού μήκους όπου οι δύο είναι κάθετοι μεταξύ τους και ο τρίτος βρίσκεται υπό γωνία διαφορετική των 90° στο επίπεδο που ορίζουν οι δύο πρώτοι. Τυπικές κρυσταλλικές φόρμες: πινακοειδή και πρίσματα με τις ακραίες έδρες τους υπό γωνία. (Σχ. 2.11).



Σχήμα 2.11. Κρυσταλλικά πρίσματα μονοκλινούς συστήματος.
(http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_M.htm)

- 7) **Τρικλινές:** Αποτελείται από τρεις άνισους άξονες οι οποίοι τέμνονται μεταξύ τους υπό γωνία διαφορετική των 90° . (Σχ. 2.12).



Σχήμα 2.12. Κρυσταλλικά σχήματα τρικλινούς συστήματος.
(http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/system_T.htm)

3. ΟΡΥΚΤΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ

Η ορυκτοδιαγνωστική αποτελεί ένα κλάδο της ορυκτολογίας που ασχολείται με την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των διαφόρων ορυκτών με τη βοήθεια των φυσικών και των χημικών τους ιδιοτήτων (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Πολλές φορές παρίσταται η ανάγκη να προσδιορίσουμε ένα κρύσταλλο με απλές μακροσκοπικές μεθόδους. Οι περισσότεροι πολύτιμοι λίθοι μπορούν να προσδιορισθούν με τη διάγνωση των παρακάτω ιδιοτήτων που μπορεί να φέρουν.

3.1. Σκληρότητα

Η σκληρότητα αποτελεί ένα μέτρο αντοχής των πολύτιμων λίθων ως προς την χάραξη τους. Το διαμάντι είναι το πιο σκληρό φυσικό υλικό διότι μπορεί να χαράξει οποιοδήποτε άλλο φυσικό υλικό (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Ο γνωστός ορυκτολόγος Mohs διαμόρφωσε ένα σύστημα-κλίμακα σκληρότητας (Πιν. 3.1) για τα ορυκτά η οποία είναι βαθμολογημένη από το 1-10.

Πίνακας 3.1. Πίνακας με την κλίμακα σκληρότητας Mohs.

ΟΡΥΚΤΟ	ΒΑΘΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ
Τάλκης	1
Γύψος	2
Ασβεστίτης	3
Φθορίτης	4
Απατίτης	5
Ορθόκλαστο	6
Χαλαζίας	7
Τοπάζι	8
Κορούνδιο	9
Διαμάντι	10

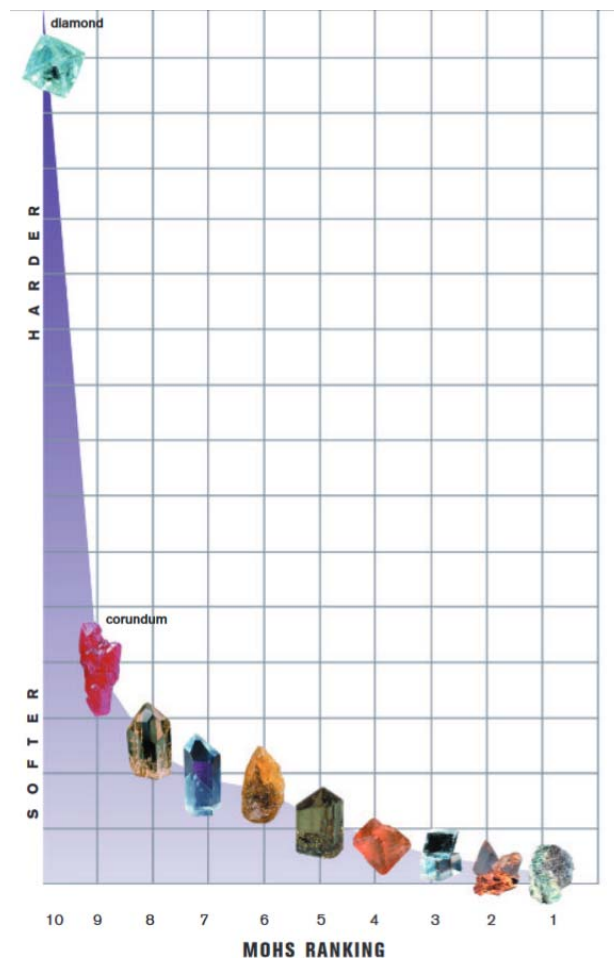
Έτσι το τοπάζιο για παράδειγμα με σκληρότητα 8 μπορεί να χαράξει όλα τα ορυκτά με σκληρότητα από 1-8 ενώ μπορεί να χαραχθεί από ορυκτά σκληρότητας από 8-10. Πολύτιμοι λίθοι με ίδιο βαθμό σκληρότητας μπορούν να χαράξουν ο ένας τον άλλο (π.χ. αμέθυστος με κιτρίνη). Συνήθως οι πολύτιμοι λίθοι με σκληρότητα μικρότερη του 8 χαράζονται αρκετά εύκολα και θέλουν ιδιαίτερη φροντίδα. Για παράδειγμα, ακόμα και κάποια υφάσματα μπορούν να χαράξουν τη γυαλιστερή επιφάνεια και να επηρεάσουν τη μαργαριταρώδη λάμψη στα μαργαριτάρια (Hurlbut and Kammerling 1991).

Πίνακας 3.2 Πίνακας σκληρότητας πρότυπων υλικών εργαστηρίου.

ΥΛΙΚΟ	ΒΑΘΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ
Νύχι	2,5
Χάλκινο νόμισμα	3
Σιδηρόκαρφο	4,5
Τζάμι	5,5
Ατσάλι	6,5-7

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι ο βαθμός σκληρότητας ενός υλικού μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας πρότυπα υλικά γνωστού βαθμού σκληρότητας. (Πιν. 3.2) (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985).

Επιπλέον, αξίζει να τονιστεί ότι η κλίμακα Mohs αποτελεί εμπειρική κλίμακα σκληρότητας. Πολλοί μπορεί να νομίζουν ότι το διαμάντι είναι λίγο πιο σκληρό από το κορούνδιο. Στην πραγματικότητα, το διαμάντι είναι 140 φορές σκληρότερο από το κορούνδιο, ενώ το κορούνδιο είναι 124.000 φορές σκληρότερο από τον τάλκη (Hurlbut and Kammerling 1991).



Σχήμα 3.1. Διάγραμμα της κλίμακας Mohs. (Peter Johnston/GIA)

3.2. Θραυσμός-Αντοχή (Fracture-Toughness)

Ο θραυσμός αποτελεί ένα ακόμα μέτρο της αντοχής των πολύτιμων λίθων. Οι κρύσταλλοι που έχουν υψηλή αντοχή σε σπασίματα και θραύσεις έχουν υψηλό βαθμό αντοχής. (Σαπουντζής και Χριστοφίδης). Εξαιρετική σκληρότητα δεν σημαίνει απαραίτητα υψηλό βαθμό αντοχής σε σπασίματα. Για παράδειγμα, το τοπάζιο που είναι ένας σχετικά υψηλής σκληρότητας πολύτιμος λίθος σπάει σχετικά εύκολα, σε αντίθεση με τον ιαδείτη ο οποίος έχει εξαιρετική αντοχή σε σπασίματα αλλά είναι μέτριας σκληρότητας (6,5-7). Ο

βαθμός αντοχής ενός κρυστάλλου εξαρτάται από την ατομική-κρυσταλλική του δομή (Πιν. 3.3) (Hurlbut and Kammerling 1991).

Πίνακας 3.3. Κατάταξη των ορυκτών με βάση την αντοχή τους στο θραυσμό (*colored stones essentials* GIA: cse06).

Toughness Groupings	
Exceptional	Jadeite, nephrite
Excellent	Alexandrite, cat's-eye chrysoberyl, ruby, sapphire
Good	Agate, almandite, amethyst, aquamarine, bloodstone, carnelian, chalcedony, chrysoberyl, citrine, coral, emerald, onyx, pearl, peridot, pyrope, rhodolite, rose quartz, smoky quartz, spessartite, spinel, tiger's-eye quartz, tsavorite, turquoise, zircon
Fair	Almandite, coral, emerald, hematite, lapis lazuli, opal, pearl, peridot, pyrope, rhodolite, shell, spessartite, tanzanite, tortoise shell, tourmaline, tsavorite, turquoise, zircon
Poor	Amber, emerald, malachite, moonstone, opal, pearl, tanzanite, topaz, turquoise, zircon

3.3. Σχισμός

Σχισμό ονομάζουμε την τάση που έχει ένα ορυκτό να σπάει σε ομαλές παράλληλες επιφάνειες. Αυτές οι επιφάνειες είναι παράλληλες στα ατομικά επίπεδα του κρυστάλλου (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Η ύπαρξη σχισμού σε έναν πολύτιμο λίθο μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα ως προς τον τρόπο κοπής του ορυκτού. Οι τεχνίτες κοπής πολύτιμων λίθων δε θα πρέπει να επιλέξουν να κόψουν τον λίθο παράλληλα στο σχισμό του διότι ο κρύσταλλος θα χρειαστεί ιδιαίτερη μεταχείριση και θα είναι ευαίσθητος ακόμα και σε ελαφρά χτυπήματα.

Όλα τα ορυκτά δεν έχουν την ίδια τάση να σπάνε σε παράλληλες επιφάνειες, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο σχισμό (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Κάποια ορυκτά έχουν πολύ τέλειο σχισμό και σπάνε σε μεγάλες λείες παράλληλες επιφάνειες (π.χ. φθορίτης, διαμάντι). Άλλα ορυκτά έχουν τέλειο σχισμό και σπάνε αρκετά καλά σε παράλληλα σχισμογενή επίπεδα (π.χ. φεγγαρόπετρα, πυρόξενοι) χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορούν να σπάσουν και προς άλλες κατευθύνσεις. Τέλος ασαφή σχισμό έχουμε όταν το ορυκτό μας σπάει ελάχιστα σε παράλληλες διευθύνσεις προς τα σχισμογενή επίπεδα. (π.χ. βήρυλλος). (Hurlbut and Kammerling 1991).

3.4. Αποχωρισμός (Parting)

Όπως ο σχισμός έτσι και ο αποχωρισμός περιγράφει την τάση που έχει ένας κρύσταλλος να σπάει σε παράλληλα- λεία επίπεδα (Σαπουντζής και Χριστοφίδης). Με τη μόνη διαφορά ότι το επίπεδο αποχωρισμού ταυτίζεται με το επίπεδο διδυμίας των κρυστάλλων. Το φαινόμενο αποχωρισμού είναι αρκετά συχνό στα κορούνδια και συγκεκριμένα στο black star ζαφείρι (Hurlbut and Kammerling 1991).

3.5. Ασυνέχειες (Fractures)

Θεωρητικά όλοι οι πολύτιμοι λίθοι μπορούν να φέρουν ασυνέχειες. Τα πιο συχνά είδη ρωγμών είναι αυτά που έχουν κογχώδη μορφή και τα συναντάμε σε πολύτιμες ποικιλίες χαλαζία και γρανάτη. Πολλές από αυτές τις ρωγμές μπορούν να πληρωθούν με γυαλί, πλαστικό, ρητίνη ή κάποια άλλη ουσία για να βελτιωθεί η εμφάνιση του πολύτιμου λίθου και να έχει ζήτηση στην αγορά. (Εικ. 3.1) (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 3.1. Ρωγμές σε σμαράγδι που πληρώθηκαν με ξένο υλικό. (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

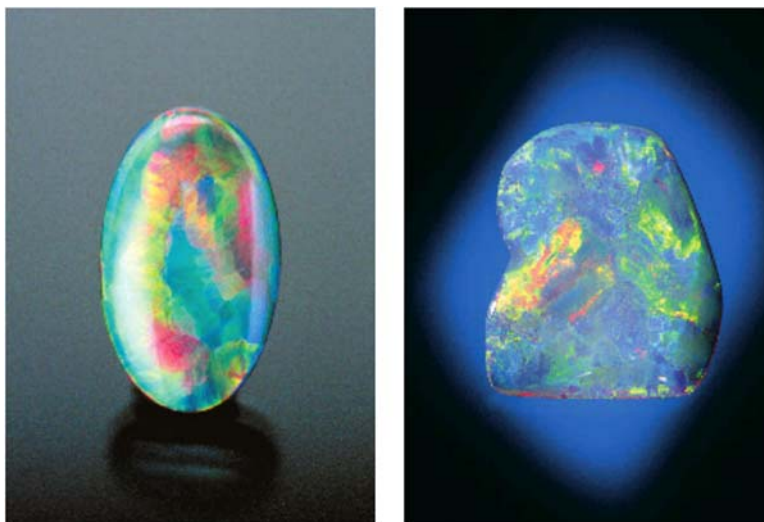
3.6. Σταθερότητα (Stability)

Σταθερότητα ονομάζουμε την ικανότητα που έχει ένας πολύτιμος λίθος να αντιστέκεται στις επιδράσεις του φωτός, της θερμοκρασίας και διαφόρων χημικών ουσιών (Hurlbut and Kammerling 1991). Σε πολλούς πολύτιμους λίθους (όπως ο μαλαχίτης, ασβεστίτης, αραγωνίτης, ροδοχρωσίτης, το μαργαριτάρι και το κοράλλι) ακόμα και τα αραιά διαλυμένα οξέα μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις. Για παράδειγμα αραιό διαλυμένο υδροχλώριο χρησιμοποιείται στην αναγνώριση του ορυκτού όνυχα αλλά είναι καταστροφικό για τα μαργαριτάρια. Επιπλέον, η ακετόνη αντιδρά πάνω στο κοπάλ (coral=είδος ρητίνης δέντρου που βρίσκεται μεταξύ του στάδιου πολυμερισμού και στερεοποίησης) αλλά όχι στο κεχριμπάρι. Πολλοί πολύτιμοι λίθοι όταν εκτίθενται στο ηλιακό φως ή σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να ξεθωριάσει το χρώμα τους. (Hurlbut and Kammerling 1991).

3.7. Οπτικά φαινόμενα σε πολύτιμους λίθους

3.7.1. Οπαλισμός (Play-of-color)

Ονομάζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο ένας κρύσταλλος εμφανίζει τα χρώματα του ουράνιου τόξου σε μορφή μωσαϊκού (λόγω μικρών κρυστάλλων σε μορφή σφαιριδίων που περιέχει) κατά την περιστροφή του στο φως (<https://www.gia.edu/opal-description>) (<https://www.gia.edu/opal>). Αυτό το φαινόμενο το εμφανίζει έντονα ο οπάλιος (Εικ. 3.2) ο οποίος στην μικροκρυσταλλική του μορφή συνήθως εμπεριέχει μικρούς κρυστάλλους σε μορφή σφαιριδίων.



Εικόνα 3.2. Φαινόμενο *play-of-color*/οπαλισμού σε οπάλιο (Shane McClure/GIA/ Tino Hammid).

3.7.2. Αδουλαρισμός (Adularescence)

Ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο μια φεγγαρόπετρα (άστριος) φέρει λευκά-γαλανά χρώματα όταν αντανακλάται πάνω της το φως λόγω ανωμαλιών στη δομή του κρυστάλλου (Εικ. 3.3). Το συγκεκριμένο φαινόμενο φαίνεται πιο έντονο σε καμποσόν κοπή (cabochon cut) (Bauer 1968).



Εικόνα 3.3. Ακατέργαστη και γυαλισμένη μορφή φεγγαρόπετρας (Καλιούχος άστριος). Στη γυαλισμένη της μορφή φαίνεται το φαινόμενο *adularescence* (Robert Weldon/GIA)

3.7.3. Αλλαγή χρώματος (Color change)

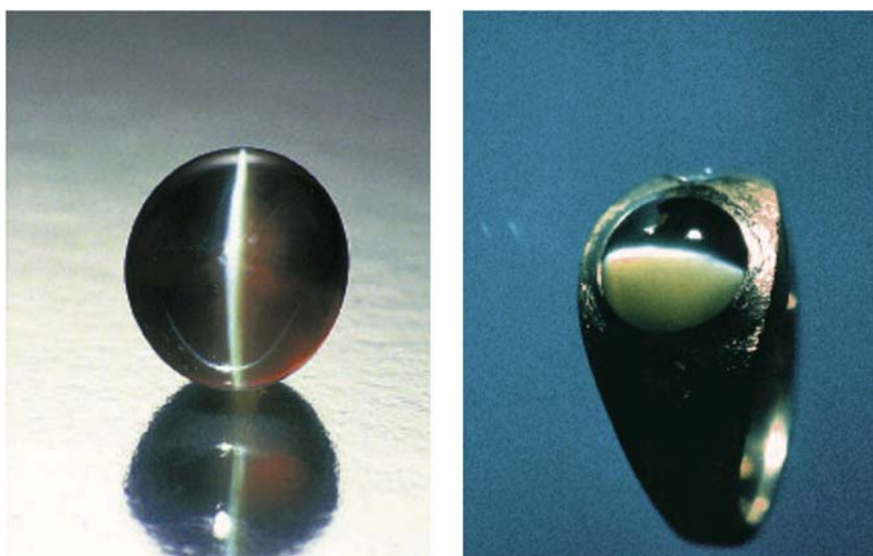
Ονομάζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο το χρώμα ενός πολύτιμου λίθου αλλάζει όταν ανακλάται πάνω του διαφορετικό είδος φωτεινής δέσμης (Max Bauer 1968). Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ συνηθισμένο στον αλεξανδρίτη (χρυσοβήρυλλος) (Εικ. 3.4) και κατά πολλούς αναφέρεται ως φαινόμενο αλεξανδρίτη. Ο αλεξανδρίτης σε κίτρινο φως εμφανίζει αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ σε λευκό φως εμφανίζει αποχρώσεις του πράσινου (Hurlbut and Kammerling 1991). Το φαινόμενο color change είναι αρκετά συνηθισμένο στα ρουμπίνια, στο σπινέλιο και στο γρανάτη (Colored stone essential: Reference Guide reprinted 2014 by GIA), (Bauer 1968).



Εικόνα 3.4. Color change σε κρυστάλλους αλεξανδρίτη. Στα αριστερά φαίνεται ο αλεξανδρίτης σε αποχρώσεις του πράσινου κάτω από λευκό φως και στα δεξιά φαίνεται σε αποχρώσεις του κόκκινου κάτω από κίτρινο φως (Tino Hammid/GIA).

3.7.4. Μάτι γάτας-τίγρη φαινόμενο

Σε πολλά ορυκτά όπως είναι ο χαλαζίας ή κάποιες πολύτιμες ποικιλίες της χρυσοβήρυλλου παρατηρείται το φαινόμενο μάτι της τίγρης ή μάτι της γάτας αντίστοιχα (Εικ.3.5). Τα ορυκτά που εμφανίζουν το παραπάνω φαινόμενο περιέχουν βελονοειδή εγκλείσματα που διατάσσονται παράλληλα μεταξύ τους. (Hurlbut and Kammerling 1991). Η δομή αυτών των εγκλεισμάτων φαίνεται καλύτερα όταν ο κρύσταλλος έχει τον παραδοσιακό τρόπο κοπής καμποσόν (domed cabochon).



Εικόνα 3.5. Φαινόμενο μάτι της γάτας. (Robert Weldon/GIA)

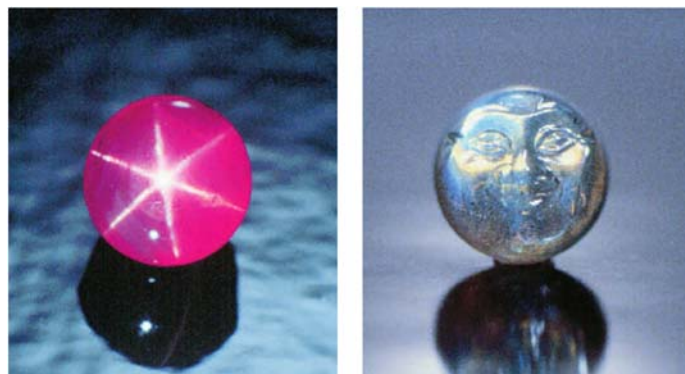
Όταν αυτά τα συνήθως 'λευκά' εγκλείσματα έχουν διαφορετική απόχρωση-τόνο μεταξύ τους κατά διαφορετικές οπτικές γωνίες στο φως τότε το φαινόμενο ονομάζεται 'milk and honey'. Επειδή το φαινόμενο 'μάτι της γάτας' είναι αρκετά σπάνιο στους πολύτιμους λίθους, είναι προτιμότερη η χρήση πολύτιμων λίθων με το φαινόμενο 'μάτι τίγρης' που περιέχει παρόμοιου είδους εγκλείσματα με χρυσές-καστανές ανακλάσεις (Bauer 1968).

3.7.5. Φαινόμενο αστερισμού (ρουμπίνια- ζαφείρια)

Όπως και στο φαινόμενο μάτι τίγρης- γάτας έτσι και εδώ το φαινόμενο του αστερισμού οφείλεται στην ύπαρξη εγκλεισμάτων με τη μόνη διαφορά ότι στον αστερισμό τα βελονοειδή εγκλείσματα (συνήθως σύστασης ρουτιλίου) δεν βρίσκονται σε παράλληλη διάταξη αλλά σε ακτινωτή διάταξη με κοινό κέντρο. (Hurlbut and Kammerling 1991). Το φαινόμενο του αστερισμού είναι πολύ συχνό στα ρουμπίνια, στα ζαφείρια και στο χαλαζία. Ο αριθμός των ακτινών που φέρει το κάθε αστέρι σχετίζεται με την κρυσταλλική δομή του κρυστάλλου που το φιλοξενεί. Συνήθως στα κορούνδια και στο χαλαζία τα αστέρια που σχηματίζονται έχουν έξι ακτίνες ενώ σε άλλα ορυκτά, όπως ο γρανάτης, τα αστέρια μπορεί να έχουν 4 ακτίνες (Carbidwerk et al. 2017). Όπως συμβαίνει σε διάφορα οπτικά φαινόμενα, έτσι και εδώ, το φαινόμενο του αστερισμού διακρίνεται πιο έντονα σε κρυστάλλους που έχουν τον παραδοσιακό καμποσόν (cabochon) τρόπο κοπής (Bauer 1968).

3.7.6. Λαβραδορισμός (Labradorescence)

Ονομάζεται η χαρακτηριστική επιφανειακή γυαλάδα που φέρει η πολύτιμη ποικιλία του αστρίου Λαβραδόριο (Εικ.3.6) κατά την περιστροφή του στο φως λόγω διαφόρων εγκλεισμάτων που βρίσκονται σε παράλληλη διάταξη μεταξύ τους (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 3.6. Στα αριστερά φαίνεται το φαινόμενο αστερισμού σε ρουμπίνι και στα δεξιά το φαινόμενο του λαβραδορισμού (Robert Weldon/GIA).

3.7.7. Ιριδισμός (Orient/Iridescence)

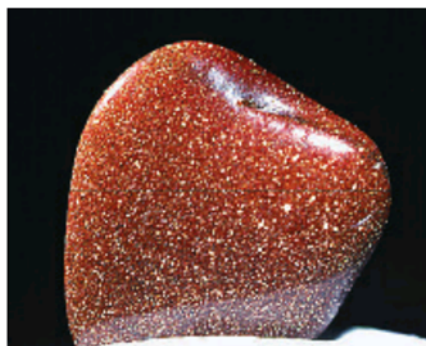
Ονομάζεται το οπτικό φαινόμενο διαφόρων χρωμάτων που προκύπτει από τη μαργαριταρώδη λάμψη φυσικών και καλλιεργημένων μαργαριταριών (Εικ.3.7) όταν ιριδίζουν στο φως.



Εικόνα 3.7. Φαινόμενο orient σε μαργαριτάρια.

3.7.8. Αβεντουρισμός (Aventurescence)

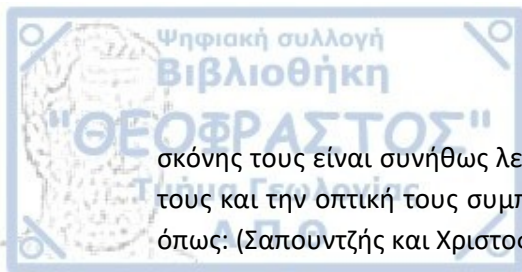
Αυτό το φαινόμενο οφείλεται σε μικρά, επίπεδα ή μικροσφαιρικά εγκλείσματα που παρατηρούνται σε κάποιες ποικιλίες του χαλαζία (aventurine quartz) και σε κάποια συνθετικά είδη γυαλιού όπως η χρυσόπετρα (goldstone glass) (Εικ.3.8) που φέρει μικρά εγκλείσματα χαλκού δίνοντας μια ξεχωριστή λάμψη στο υλικό (Hurlbut and Kammerling 1991). Ο ελληνικός εμπορικός όρος της χρυσόπετρας (goldstone) είναι χρυσόλιθος. Επιπλέον, στον αβεντουρίνη, η παρουσία εγκλεισμάτων φουξίτη (χρωμιούχος λευκός μαρμαρυγίας) δίνει στο ορυκτό πράσινο χρώμα ενώ εγκλείσματα οξειδίων του σιδήρου δίνουν στο ορυκτό κόκκινο χρώμα (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα 3.8. Φαινόμενο αβεντουρισμού σε χρυσόπετρα. Διακρίνονται τα μικροσκοπικά εγκλείσματα χαλκού. (Mike Havstad/GIA)

3.8. Λάμψη- Γραμμή σκόνης

Η λάμψη αποτελεί μια φυσική και μακροσκοπική ιδιότητα των ορυκτών που αποδίδεται κυρίως στο ποσό του φωτός που ανακλάται στην επιφάνεια του ορυκτού (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Η λάμψη ενός ορυκτού συνδέεται έμμεσα με το χρώμα της γραμμής σκόνης του ορυκτού. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες λάμψεως, 1) η μεταλλική λάμψη, και 2) η μη μεταλλική λάμψη. Τα ορυκτά που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία δίνουν την εντύπωση μετάλλου (π.χ. σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, αιματίτης, χρωμίτης κ.α.) και εμφανίζουν σκούρα χρώματα στη γραμμή σκόνης τους. Τα ορυκτά που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία είναι συνήθως ανοιχτόχρωμα ή διαφανή και η γραμμή



σκόνης τους είναι συνήθως λευκή ή άχρωμη. Τα μη μεταλλικά ορυκτά ανάλογα με την υφή τους και την οπτική τους συμπεριφορά στο φως εμφανίζουν διαφορετικές μορφές λάμψης όπως: (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985)

- ❖ Υαλώδης
- ❖ Αδαμαντώδης
- ❖ Ρητινώδης
- ❖ Στεατώδης
- ❖ Μαργαριταρώδης
- ❖ Μεταξώδης
- ❖ Ημιμεταλλική

3.9. Ειδικό βάρος

Με την έννοια ειδικό βάρος αναφερόμαστε στο σχετικό βάρος που ζυγίζει ένας συγκεκριμένος όγκος ορυκτού στο χέρι μας (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Το ειδικό βάρος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της αξίας ακατέργαστων πολύτιμων λίθων καθώς και για το φαινομενικό μέγεθος των κρυστάλλων μετά την κοπή τους. Έτσι, στην ορυκτολογία και κατ' επέκταση στη γεωλογία το ειδικό βάρος ενός ορυκτού ορίζεται ως ο λόγο τους βάρους αυτού προς το βάρος του νερού που έχει ισοδύναμο όγκο με το ορυκτό σε θερμοκρασία 4° C (Hurlbut and Kammerling 1991). Για παράδειγμα, το ρουμπίνι ως ορυκτό έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το διαμάντι επομένως ως ακατέργαστο ορυκτό το ρουμπίνι είναι πιο 'ακριβό' ανά καράτι από το διαμάντι και έχει μικρότερο φαινομενικό μέγεθος ανά καράτι σε σχέση με το διαμάντι (Hurlbut and Kammerling 1991).

3.10. Μέγεθος/Βάρος καρατίων

Στους περισσότερους πολύτιμους λίθους το μέγεθος τους, δηλαδή το βάρος τους, μετριέται σε μέγεθος καρατίων όπου 1 καράτι (ct) αντιστοιχεί σε 0,2 gram (<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-carat>). Η έννοια του μεγέθους καρατίων στους πολύτιμους λίθους διαφέρει από αυτήν που επικρατεί στα σπάνια μέταλλα όπου ουσιαστικά πρόκειται για την καθαρότητα τους από προσμείξεις. Όπως 1 ευρώ αντιστοιχεί σε 100 λεπτά του ευρώ έτσι και στους πολύτιμους λίθους το 1 καράτι διαιρείται σε 100 points of carat. Για παράδειγμα, ένα διαμάντι 50 points of carat αντιστοιχεί σε ένα διαμάντι μεγέθους 0,5 καράτια.

Το φαινομενικό μέγεθος των πολύτιμων λίθων διαφέρει από ορυκτό σε ορυκτό καθώς και από τον τρόπο κοπής. Για παράδειγμα, ένας κρύσταλλος ρουμπινιού μεγέθους 1 ct έχει μικρότερο όγκο/φαινομενικό μέγεθος από ένα κρύσταλλο διαμαντιού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ρουμπίνι έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το διαμάντι. Συνήθως όσο αυξάνονται τα καράτια σε ένα κρύσταλλο τόσο αυξάνεται και η τιμή του στην αγορά (Εικ. 3.9 & 3.10). Βέβαια η τιμή ενός πολύτιμου λίθου δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος του σε καράτια, αλλά και από πολλούς άλλους παράγοντες που καθορίζουν την διαύγεια και τη σπανιότητα του κρυστάλλου ως προς το χρώμα του, τα εγκλείσματα και τα σπάνια οπτικά φαινόμενα που φέρει (<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-carat>).



Εικόνα 3.9. Κρύσταλλοι διαμαντιού σε διάφορα μεγέθη καρατίων. (<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-carat>).

Carat Weight:	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	5
Round	 4.1 mm	 5.1 mm	 5.8 mm	 6.4 mm	 7.4 mm	 8.1 mm	 9.3 mm	 10.2 mm	 11 mm
Princess	 3.5 mm	 4.4 mm	 5 mm	 5.5 mm	 6.4 mm	 7 mm	 8 mm	 9 mm	 9.5 mm
Emerald	 4.5x3 mm	 5.5x4 mm	 6x4.5 mm	 6.5x5 mm	 7.5x5.5 mm	 8.5x6 mm	 9.5x7 mm	 10.5x7.5 mm	 11.5x8.5 mm
Asscher	 3.7 mm	 4.4 mm	 5 mm	 5.5 mm	 6.4 mm	 7 mm	 8.1 mm	 9 mm	 9.6 mm
Marquise	 6.5x3 mm	 8.5x4 mm	 9.5x4.5 mm	 10.5x5 mm	 12x6 mm	 13x6.5 mm	 14x7 mm	 16x8 mm	 17x8.5 mm
Oval	 5x3 mm	 6x4 mm	 7.5x5 mm	 8x5.5 mm	 9x6 mm	 10.5x7 mm	 11.5x7.5 mm	 13x8.5 mm	 14x9.5 mm
Radiant	 3.5x3 mm	 5x4.5 mm	 5.5x5 mm	 6x5.5 mm	 7x6 mm	 7.5x7 mm	 8.5x7.5 mm	 9.5x8.5 mm	 10x9 mm
Pear	 5.5x3.5 mm	 7x4.5 mm	 8x5 mm	 8.5x5.5 mm	 10x6.5 mm	 10.5x7 mm	 12.5x8 mm	 13.5x9 mm	 15x10 mm
Heart	 4.2 mm	 5.4 mm	 6.0 mm	 6.7 mm	 7.6 mm	 8.3 mm	 9.5 mm	 10.3 mm	 11 mm

Εικόνα 3.10. Διαστάσεις κρυστάλλων διαμαντιού σε διάφορους τρόπους κοπής ανάλογα με το μέγεθος τους σε καράτια (by Blue Nile).

4. ΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ

Αρχικά, η χημική ταξινόμηση των ορυκτών βασίζονταν στην παρουσία ενός κοινού μετάλλου. Επομένως οι κατηγορίες αυτές περιορίζονταν σε ορυκτά που περιέχουν μονάχα μέταλλα όπως σίδηρο, χαλκό και ψευδάργυρο. Στη συνέχεια όμως παρατηρήθηκε ότι τα ορυκτά της κάθε κατηγορίας είχαν πολύ λίγες κοινές ιδιότητες μεταξύ τους. Έτσι, στα μέσα του 19^{ου} αιώνα έγινε μια νέα κατάταξη των ορυκτών με βάση τη χημική τους σύσταση. (Πίν. 4.1) Σύμφωνα με αυτή τη νέα μέθοδο η κατάταξη των ορυκτών γίνεται με βάση το κυρίαρχο ανιόν του χημικού τους τύπου ή την κυρίαρχη ομάδα ανιόντος τους. Αυτή η δεύτερη μέθοδος είναι αποδεκτή μέχρι σήμερα διότι τα ορυκτά κάθε ομάδας δεν έχουν μόνο κοινές χημικές και φυσικές ιδιότητες, αλλά και κοινή προέλευση (Θεοδωρίκας 2013).

Πίνακας 4.1 Αντιπροσωπευτικοί πολύτιμοι λίθοι για κάθε χημική τάξη ορυκτών. (Hurlbut and Kammerling 1991).

Χημική τάξη	Αντιπροσωπευτικός πολύτιμος λίθος
Αυτοφυή	Διαμάντι
Σουλφίδια	Σφαλερίτης
Οξειδία	Κορούνδιο
Ανθρακικά	Ασβεσίτης
Φοσφωρικά	Απατίτης
Θειικά	Γύψος
Βοριούχα	Ροδιζίτης
Πυριτικά	Ζιρκόνιο, Τουρμαλίνη

Τα πυριτικά ορυκτά αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία πολύτιμων λίθων (περίπου 60%) και στη συνέχεια ακολουθούν τα οξειδία. Παρ' όλο που η παραπάνω ταξινόμηση ορυκτών θεωρείται αξιόπιστη μέχρι σήμερα, υπάρχουν ερωτήματα που δεν έχουν απαντηθεί ακόμα. Για παράδειγμα, το διαμάντι και ο γραφίτης έχουν την ίδια χημική σύσταση (C) αλλά φέρουν πολλές διαφορές στις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Βέβαια, σήμερα γνωρίζουμε ότι οι διαφορές αυτές οφείλονται στην ατομική διάταξη των ατόμων του άνθρακα. Γενικώς με τη μελέτη της ατομικής δομής των κρυστάλλων (κρυσταλλοδομή) έχουν λυθεί πολλές τέτοιες απορίες (Hurlbut and Kammerling 1991).

5. ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΥΤΙΜΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ

Για πολλούς τα εγκλείσματα στους πολύτιμους λίθους χαρακτηρίζονται ως ατέλειες που μειώνουν τη διαύγεια και την ανακλαστικότητα του κρυστάλλου. Όμως, αυτό δεν ισχύει πάντα. Τα εγκλείσματα μπορεί να δημιουργήσουν οπτικά φαινόμενα που κάνουν τον κρύσταλλο πιο ελκυστικό στους αγοραστές. Τέτοια φαινόμενα είναι ο αστερισμός στα ρουμπίνια ή το μάτι της γάτας (cat's eye) (Hurlbut and Kammerling 1991).

Η μελέτη των εγκλεισμάτων σε μια γεωλογική έρευνα είναι πολύ σημαντική για την άντληση ορισμένων πληροφοριών που θα ήταν αδύνατο να παρέχουμε βασιζόμενοι σε άλλες ιδιότητες των πολύτιμων λίθων. Τα είδη των εγκλεισμάτων που βρίσκονται μέσα σε ένα κρύσταλλο μπορούν να αποκαλύψουν τη γεωγραφική προέλευση του λίθου. Ακόμα, μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τον τρόπο δημιουργίας των κρυστάλλων (π.χ. φυσικός ή τεχνητός) ή για τις κατεργασίες τις οποίες μπορεί να έχουν υποστεί. Με λίγα λόγια με τη μελέτη των εγκλεισμάτων μπορούμε να προσδιορίσουμε τον τόπο και τρόπο προέλευσης των πολύτιμων λίθων. Επίσης, πολύ συχνά κατασκευάζονται ειδικά σκαριφήματα που ονομάζονται «maps» (χάρτες) που απεικονίζουν τον πληθυσμό, το σχήμα και τη θέση των εγκλεισμάτων μέσα σε έναν κρύσταλλο έτσι ώστε σε περίπτωση κλοπής ή απομίμησης να μπορέσει να εντοπισθεί ο αυθεντικός πολύτιμος λίθος. Με λίγα λόγια αυτοί οι χάρτες αποτελούν κατά κάποιον τρόπο την ταυτότητα του πολύτιμου λίθου (Hurlbut and Kammerling 1991).

Με βάση τον τρόπο γένεσης τους, τα εγκλείσματα χωρίζονται σε: Πρωτογενή, Συγγενετικά, Επιγενετικά (Hurlbut and Kammerling 1991).

- ❖ **Πρωτογενή:** Ονομάζονται τα εγκλείσματα που δημιουργούνται ή κρυσταλλώνονται πριν από τη δημιουργία ή κρυστάλλωση του ορυκτού που τα φιλοξενεί. Τέτοια εγκλείσματα μπορεί να είναι για παράδειγμα τμήματα αμεταμόρφωτου πετρώματος μέσα σε μεταμορφικούς γρανάτες. Τα πρωτογενή εγκλείσματα δεν αναγνωρίζονται εύκολα. Πολλές φορές τα ορυκτά εμφανίζουν φαινόμενα ζώνωσης και δυσκολεύουν την παρατήρηση και τον εντοπισμό εγκλεισμάτων (π.χ. διαμάντι μέσα σε διαμάντι).
- ❖ **Συγγενετικά:** Ονομάζονται τα εγκλείσματα που δημιουργούνται την ίδια χρονική στιγμή με τα ορυκτά που τα φιλοξενούν. Τέτοια παραδείγματα είναι τα εγκλείσματα ρουτιλίου στο χαλαζία, εγκλείσματα χρωμίτη και ολιβίνη μέσα σε διαμάντια και ίνες μπισσόλιθου (byssolite = είδος αμφιβόλου της σειράς τρεμολίτη-ακτινόλιθου) σε αδαμαντοειδή (πράσινη πολύτιμη ποικιλία ανδραδίτη).

Αυτού του είδους τα εγκλείσματα έχουν συνήθως γωνιώδη σχήματα και αποτελούν την πιο συχνή μορφή εγκλεισμάτων. Μπορεί να έχουν στερεή, υγρή ή αέρια μορφή. Οι δύο τελευταίες μορφές έχουν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον διότι η σύσταση τους αντιπροσωπεύει τη σύσταση της ρευστής φάσης κατά την περίοδο σχηματισμού των ορυκτών. Επομένως, η μελέτη αυτών των εγκλεισμάτων μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την πίεση, τη θερμοκρασία, και το χημισμό κατά την περίοδο του σχηματισμού των ορυκτών.

Άλλες συγγεντικές δομές που παρατηρούνται στους πολύτιμους λίθους είναι οι χρωματικές ζώνες και οι διδυμίες.

- ❖ **Επιγενετικά:** Ονομάζονται τα εγκλείσματα που σχηματίζονται μετά τη δημιουργία ή κρυστάλλωση του ορυκτού που τα φιλοξενεί. Τα επιγενετικά εγκλείσματα μπορεί να προέλθουν από χημική διαφοροποίηση, διείσδυση υλικών στα σπασίματα ή στο σχισμό των ορυκτών, κρυστάλλωση υγρών εγκλεισμάτων μέσα στο ορυκτό και μερική καταστροφή της κρυσταλλικής δομής του ορυκτού μέσω ραδιενεργής ακτινοβολίας.

Τις περισσότερες φορές δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί και να χαρακτηριστεί το εγκλείσμα που μελετάμε ως πρωτογενές, συγγεντικό ή επιγενετικό. Επομένως, η παραπάνω κατηγοριοποίηση είναι μεν επιστημονική αλλά όχι πρακτική. Έτσι έχουμε καταφύγει σε άλλους τρόπους κατηγοριοποίησης (Hurlbut and Kammerling 1991):

- ❖ Στερεά εγκλείσματα.
- ❖ Υγρά και αέρια εγκλείσματα που γεμίζουν κοιλότητες των ορυκτών
- ❖ Υγρά, αέρια ή στερεά εγκλείσματα μέσα σε σπασίματα των ορυκτών.
- ❖ Φαινόμενα ανάπτυξης όπως είναι οι χρωματικές ζώνες, οι διδυμίες και οι γραμμές στροβιλισμού (swirl marks). Αυτά δεν είναι εγκλείσματα με την αυστηρή έννοια του όρου αλλά προκύπτουν από αλλαγές στο χημισμό, στη θερμοκρασία και στην πίεση των ορυκτών.

5.1. Στερεά εγκλείσματα

Μπορεί να είναι ορυκτά της ίδιας σύστασης με τον πολύτιμο λίθο που τα φιλοξενούν ή και διαφορετικής σύστασης όπως είναι τα εγκλείσματα ρουτίλιου μέσα στα κορούνδια. Κάποια γνωστά στερεά εγκλείσματα μέσα σε ορυκτά ξενιστές δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1. Πίνακας χαρακτηριστικών εγκλεισμάτων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα ορυκτά ξενιστές. (Hurlbut and Kammerling 1991)

Έγκλεισμα	Ορυκτό ξενιστής
Απατίτης	Γρανάτης, κορούνδιο, σπινέλιος
Ασβεστίτης	Σπινέλιος, κορούνδιο, σμαράγδι
Χρωμιούχος διοψίδιος	Διαμάντι
Χρωμίτης	Σμαράγδι
Διαμάντι	Διαμάντι
Γρανάτης	Κορούνδιο, διαμάντι
Αιματίτης	Τοπάζι
Μοσχοβίτης	Χαλαζίας, κορούνδιο, σμαράγδι
Ολιβίνης	Διαμάντι
Σιδηροπυρίτης	Ζαφείρι, σμαράγδι
Χαλαζίας	Τοπάζι, σμαράγδι, άκουαμαρίνα
Ρουτίλιο	Κορούνδιο, χαλαζίας
Σπινέλιος	Ρουμπίνι
Ζirkόνιο	Γρανάτης, κορούνδιο

5.2. Υγρά και αέρια εγκλείσματα

Εσωτερικές κοιλότητες μέσα στους κρυστάλλους μπορούν να πληρωθούν με αέρια ή/και υγρά εγκλείσματα. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθούν και στερεοί κρύσταλλοι διαφορετικής σύστασης από τον κρύσταλλο ξενιστή. Όταν συνυπάρχει αέρια με υγρή φάση, το έγκλεισμα χαρακτηρίζεται ως 2-φασικό και όταν εμπλέκεται η στερεά φάση χαρακτηρίζεται ως 3-φασικό (Hurlbut and Kammerling 1991). Τα αέρια και τα υγρά εγκλείσματα που συμμετέχουν στην πλήρωση κενών ή κοιλοτήτων των κρυστάλλων που τους φιλοξενεί είναι γνωστά με το όνομα «feathers» (Hurlbut and Kammerling 1991). Επιπλέον, είναι σημαντική η μελέτη ρευστών εγκλεισμάτων διότι μπορούν να αποκαλύψουν την προέλευση του ορυκτού ξενιστή (π.χ. φυσική ή συνθετική) (Hurlbut and Kammerling 1991).

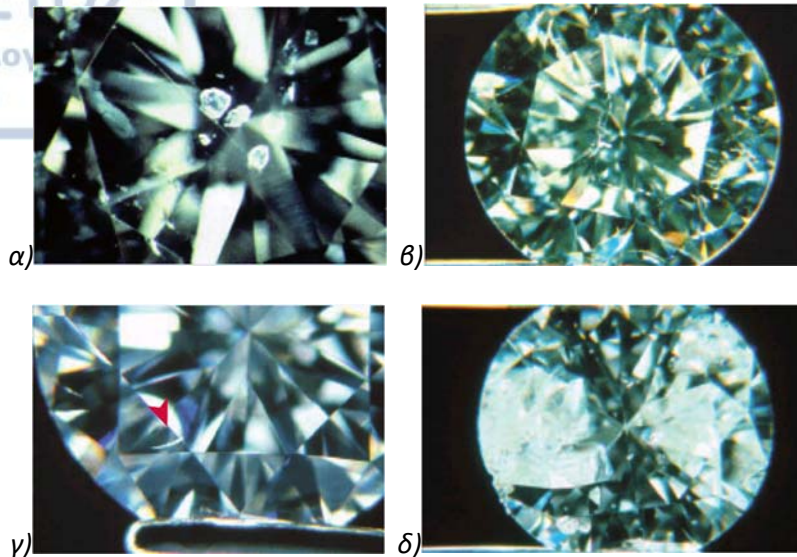
Είναι φανερό ότι τα εγκλείσματα και οι ανωμαλίες στις επιφάνειες των πολύτιμων λίθων επηρεάζουν την εμφάνιση και τη διαύγεια τους. Κάποιες φορές αυτή η επιρροή δεν είναι αισθητή και άλλες φορές μπορεί να είναι έντονη. Αυτό εξαρτάται από: το μέγεθος, το πλήθος, το χρώμα και τη θέση τους μέσα στο κρύσταλλο (Diamond essentials course de02 2002 GIA) (Colored Stones essential course cse03 1999).

Μέγεθος: Συνήθως μεγάλου μεγέθους εγκλείσματα επηρεάζουν περισσότερο την εμφάνιση και τη διαύγεια του κρυστάλλου σε σχέση με τα μικρού μεγέθους εγκλείσματα (Εικ. 5.1α).

Πλήθος: Σε γενικές γραμμές όσο πιο πολλά εγκλείσματα έχει ένας πολύτιμος λίθος τόσο πιο μικρή διαύγεια θα έχει. Αλλά υπάρχουν περιπτώσεις πολυάριθμων μικρών εγκλεισμάτων που δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την εμφάνιση και τις οπτικές ιδιότητες του ορυκτού (Εικ. 5.1β)

Θέση: Τα εγκλείσματα που βρίσκονται στο κέντρο ή κοντά στην τράπεζα (άνω έδρα) του κρυστάλλου είναι περισσότερο ορατά σε σχέση με αυτά που βρίσκονται στις bezel έδρες ή κοντά στο διάζωμα (Εικ. 5.1γ). Πολλές φορές τα εγκλείσματα επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των πολύτιμων λίθων ειδικά όταν βρίσκονται στην επιφάνεια του κρυστάλλου.

Χρώμα: Τα εγκλείσματα που έχουν παρόμοιο χρώμα με τον κρύσταλλο στον οποίο εγκλείονται δεν επηρεάζουν έντονα την εμφάνιση του πολύτιμου λίθου αλλά εάν έχουν διαφορά στο χρώμα τότε η παρουσία τους είναι έντονα αισθητή (Εικ. 5.1δ).

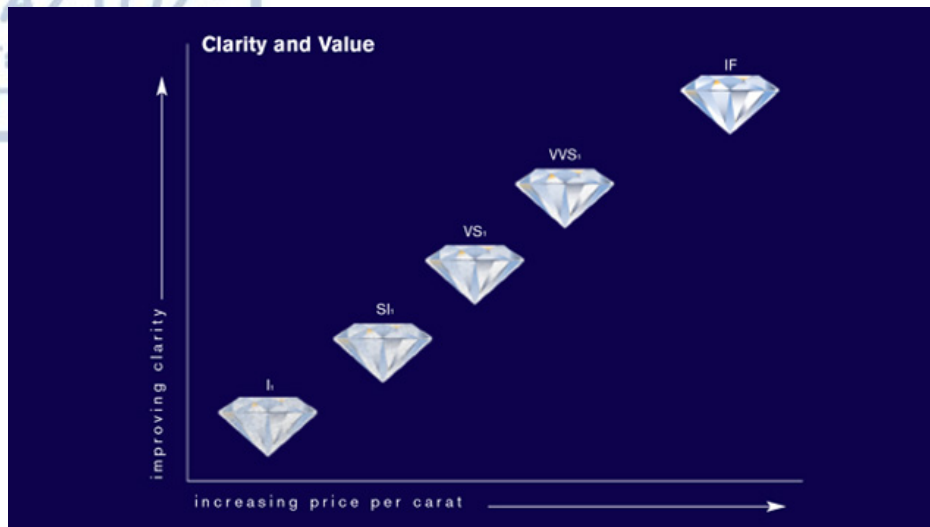


Εικόνα 5.1. Τα εγκλείσματα επηρεάζουν την εξωτερική εμφάνιση του κρυστάλλου ανάλογα με α) το μέγεθος, β) το πλήθος, γ) τη θέση και δ) τη μορφή τους (Diamond essentials course de02 2002 GIA).

5.3. Αξιολόγηση διαύγειας κρυστάλλων και εγκλεισμάτων

Η παρουσία εγκλεισμάτων σε ένα διαφανή πολύτιμο λίθο, π.χ. διαμάντι, μπορεί να επηρεάσει τη διαύγεια του κρυστάλλου καθώς και την αξία του (Εικ.5.2) ανάλογα με το μέγεθος και τη θέση τους μέσα στον κρύσταλλο. Οι βασικοί χαρακτηρισμοί για την αξιολόγηση της διαύγειας ενός πολύτιμου λίθου και κυρίως των διαμαντιών είναι οι εξής (<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-clarity>):

- ❖ **Flawless (F)**: Πρόκειται για πολύτιμους λίθους που δεν περιέχουν εγκλείσματα και πρακτικά η διαύγεια τους είναι στο μέγιστο βαθμό.
- ❖ **Internally flawless (FI)**: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν πρακτικά τα διαμάντια τα οποία μπορεί να φέρουν μονό κάποιες επιφανειακές ατέλειες χωρίς να περιέχουν εγκλείσματα τα οποία να μπορούν να διακριθούν κάτω από μεγεθυντικό φακό της τάξεως x10.
- ❖ **Very very slightly included (VVS1 & VVS2)**: Πρόκειται για μικροσκοπικά εγκλείσματα τα οποία εντοπίζονται με μεγάλη δυσκολία ακόμα και μέσω της χρήσης μεγεθυντικών φακών της τάξεως x10.
- ❖ **Very slightly included (VSI)**: Μικρά εγκλείσματα τα οποία φαίνονται με τη χρήση μεγεθυντικών φακών.
- ❖ **Slightly included (SI)**: Οι κρύσταλλοι αυτής της κατηγορίας εντοπίζονται με μεγάλη ευκολία μέσω μεγεθυντικού φακού της τάξεως x10.
- ❖ **Included (I)**: Τα εγκλείσματα που περιέχει ο κρύσταλλος επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την διαύγεια και την ανακλαστικότητα του κρυστάλλου.



Εικόνα 5.2. Διάγραμμα μεταβολής της αξίας των διαμαντιών με βάση την διαύγεια τους και την περιεκτικότητά τους σε εγκλείσματα
(https://www.gia.edu/sites/Satellite?c=GIA_Image&childpagename=GIA%2FGIA_Image%2FMediaDetail&cid=1495235842728&pagename=GIA%2FWrapper).

5.4. Βοηθητικά εγκλείσματα

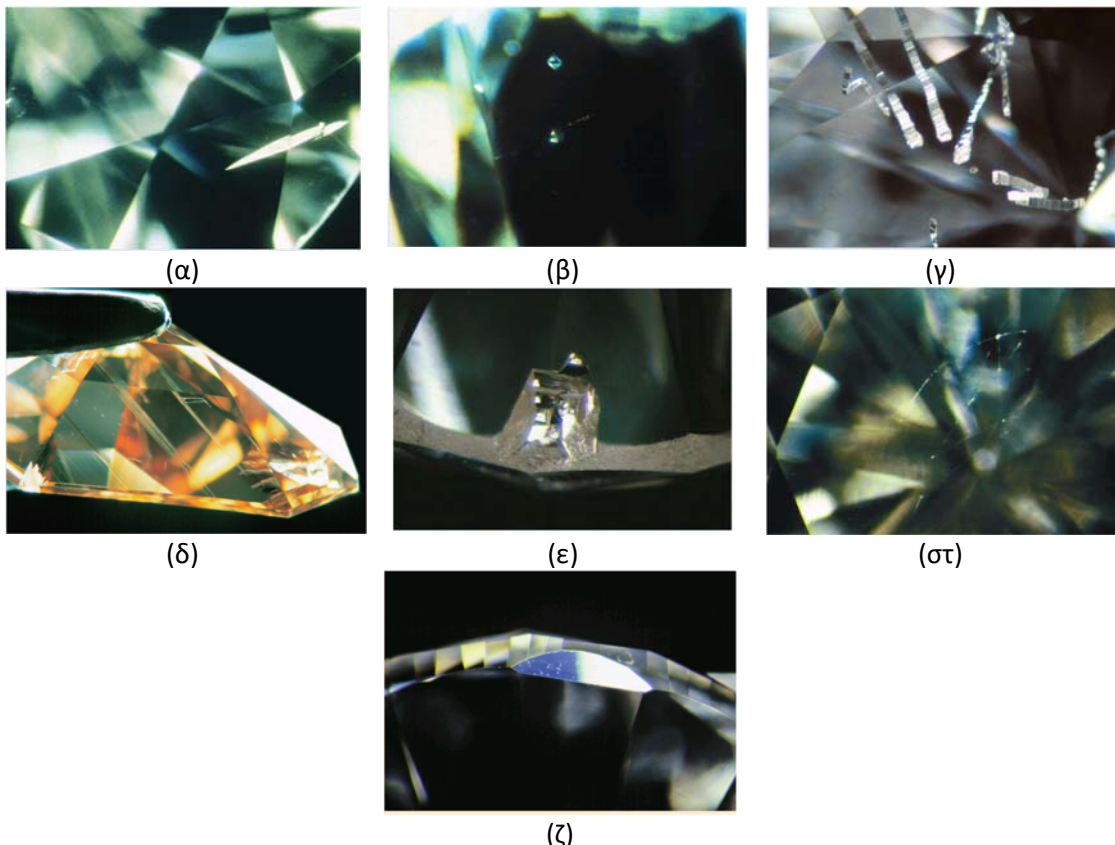
Πολλές φορές τα εγκλείσματα συμβάλλουν θετικά στην εμφάνιση και στην αξία των πολύτιμων λίθων που τα φιλοξενούν. Έτσι, η ύπαρξη τους μπορεί να αυξήσει την τιμή και τη ζήτηση των πολύτιμων λίθων. Βελονοειδή και μεταξώδη εγκλείσματα μπορούν να δημιουργήσουν σπάνια και όμορφα οπτικά φαινόμενα, όπως ο αστερισμός στα ρουμπίνια ή το μάτι της γάτας. Επίσης, πολλά εγκλείσματα είναι υπεύθυνα για τη μεταξώδη αίσθηση στα μπλε ζαφείρια. Επιπλέον, στους γρανάτες η αξία τους αυξάνεται με την ύπαρξη "horsetail" (ουρά αλόγου) εγκλεισμάτων στο κέντρο του κρυστάλλου διότι δίνουν την αίσθηση ύπαρξης πυροτεχνημάτων μέσα στο κρύσταλλο (Diamond essentials course de02 2002 GIA) (Colored Stones essential course cse03 1999).

5.5. Επιφανειακές ανωμαλίες- Εγκλείσματα

- ❖ **Knot (K):** Ονομάζεται ένας εγκλεισμένος κρύσταλλος που εμφανίζεται στην επιφάνεια μετά την κοπή και το γυάλισμα του κρυστάλλου ξενιστή (Peters 2011).
- ❖ **Feather (Ftr):** Πρόκειται για ένα γενικό όρο εγκλείσματος όταν αυτό βρίσκεται στο εσωτερικό του κρυστάλλου (Εικ. 5α), μοιάζει με "φτερό" και έχει συνήθως άσπρο χρώμα (Peters 2011).
- ❖ **Cloud (Cld):** Μικροσκοπικά εγκλείσματα που εμφανίζονται ως μια χαώδης- θαμπή μάζα (Peters 2011).
- ❖ **Crystal (Xtl):** Ο όρος αυτός αποδίδεται σε κάθε κρύσταλλο ενός ορυκτού (Εικ. 5β) που εντοπίζεται μέσα σε ένα άλλο κρύσταλλο ξενιστή (Peters 2011).
- ❖ **Etch Channel (EC):** Γωνιώδη σπασίματα (Εικ. 5γ) που ξεκινούν από την επιφάνεια του κρυστάλλου και εκτείνονται στο εσωτερικό του (Peters 2011).
- ❖ **Internal Graining (IG):** Πρόκειται για γραμμές, γωνιώδη σπασίματα ή κοιλότητες που εμφανίζονται σε διάφορους χρωματισμούς (Εικ. 5δ) και έχουν αρνητικές επιπτώσεις

στη διαφάνεια και ανακλαστικότητα του κρυστάλλου. Συνήθως αυτές οι μορφές προκύπτουν από ανωμαλίες του κρυστάλλου κατά την ανάπτυξη του (Peters 2011).

- ❖ **Cavity (Cav):** Πρόκειται για κενά μέσα στον κρύσταλλο ή στην επιφάνειά του που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του ή κατά τη διάρκεια της κοπής του ή από τη θραύση του. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο συχνό σε ορυκτά που φέρουν κογχώδη θραυσμό (Peters 2011).



Εικόνα 5.3. Περιπτώσεις επιφανειακών ανωμαλιών και εγκλεισμάτων α) Feather, β) Crystal, γ) Etch Channel, δ) Internal Graining, ε) Indented Natural, στ) Abrasion, ζ) Extra Facet (Diamond essentials course de02 2002 GIA).

- ❖ **Indented Natural (IN):** Επιφανειακές ανωμαλίες σε έναν γυαλισμένο κρύσταλλο που προέρχονται από ανωμαλίες του αρχικού ακατέργαστου ορυκτού (Εικ. 5ε). Κυρίως αυτές οι ανωμαλίες αποτελούν επιφάνειες του κρυστάλλου στις οποίες δεν εφαρμόστηκε σωστά η διαδικασία της κοπής (Peters 2011).
- ❖ **Internal/external laser drilling hole (ILD/LDH):** Πρόκειται για επιφανειακές ή εσωτερικές κοιλότητες που προκύπτουν από διεργασίες/κατεργασίες βελτίωσης της εμφάνισης του ορυκτού (Peters 2011).
- ❖ **Chip (Ch):** Λεπτά και μικρά σπασίματα στο διάζωμα ή στην κορυφή κώνου του κρυστάλλου που προκύπτουν από την επιφανειακή φθορά του (Peters 2011).
- ❖ **Abrasion (Abr):** Πρόκειται για επιφανειακές χαράξεις ή ρωγμώσεις (Εικ. 5στ) στις γυαλισμένες έδρες του κρυστάλλου (Peters 2011).



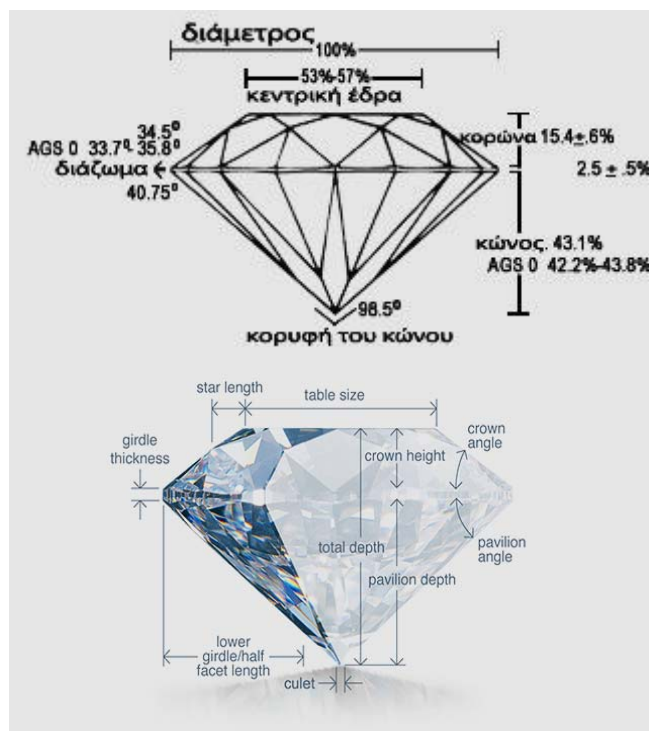
- ❖ **Polish lines (PL):** Ευθείες και παράλληλες χαράξεις στην επιφάνεια γυαλισμένων κρυστάλλων που προέρχονται από τις διεργασίες γυαλίσματος και κοπής (Peters 2011).
- ❖ **Pinpoint (Pp):** Πρόκειται για μικροσκοπικά- σημειακά εγκλείσματα που διακρίνονται με δυσκολία σε μεγέθυνση x10 (Peters 2011).
- ❖ **Extra facet (EF):** Πρόκειται για “επιπλέον” έδρες (Εικ. 5ζ) που κανονικά δεν υπάρχουν στο πρότυπο μοντέλο κοπής του κρυστάλλου (Peters 2011).

6. ΚΟΠΗ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ

6.1. Κυκλική κοπή (Round cut)

Αποτελεί το πιο γνωστό-κοινό τρόπο κοπής που επικρατεί μέχρι σήμερα. Οι πρώτοι τεχνίτες κοπής διαμαντιών (cutters) προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν αναπτυγμένες θεωρίες της συμπεριφοράς του φωτός καθώς και ακριβείς υπολογισμούς για να βελτιστοποιήσουν τη διαύγεια και να τονίσουν την αδαμάντινη λάμψη των πολύτιμων λίθων. Υπάρχει μια μαθηματική θεωρία η οποία προβάλλει τις τέλει αναλογίες που πρέπει να έχει ένας κρύσταλλος κοπής μπριγιάν (brilliant cut).

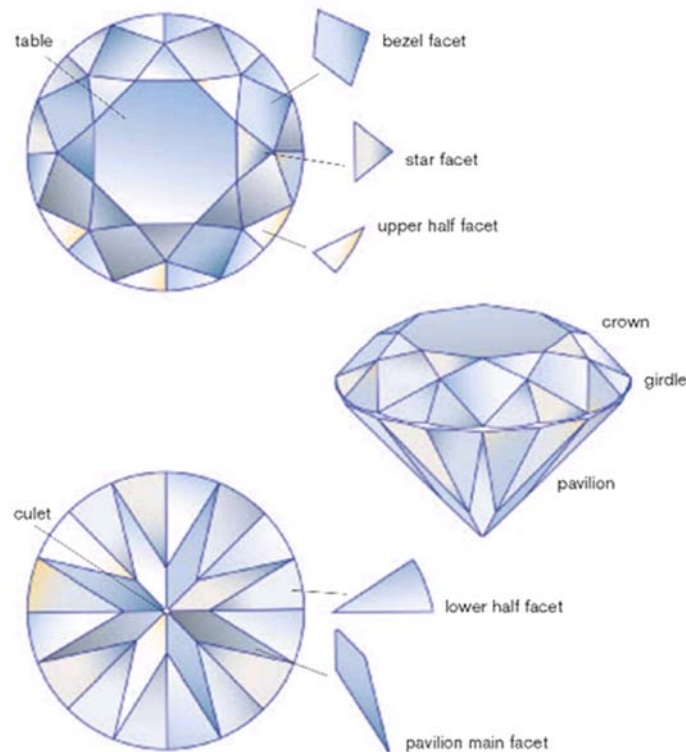
Ο πρώτος που προσπάθησε να υπολογίσει τις τέλει αναλογίες πλευρών και γωνιών που πρέπει να έχει ένα διαμάντι (Σχ.6.1 & Σχ.6.2) ήταν ο Marcel Tolkowsky, στο βιβλίο του με τίτλο "Diamond Design", ως ένα μικρό μέρος της διδακτορικής του εργασίας το 1919. Ο Tolkowsky υπολόγισε τις κατάλληλες αναλογίες εδρών και γωνιών προκειμένου να εμφανίζει ένα διαμάντι την υψηλότερη λάμψη, διαύγεια και ανακλαστικότητα. Σήμερα κάποιες μετρήσεις του Tolkowsky έχουν τροποποιηθεί αλλά δεν παύουν να αποτελούν τη ραχοκοκαλιά για το σωστό τρόπο κοπής μπριγιάν ενός πολύτιμου λίθου.



Σχήμα 6.1. Τιμές γωνιών και αναλογίες εδρών που αντιστοιχούν σε ένα brilliant round cut διαμάντι. (<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-cut>)

Όλοι οι πολύτιμοι λίθοι δεν έχουν τον ίδιο δείκτη διάθλασης και η συμπεριφορά τους στο φως ποικίλει ανάλογα με το ορυκτό και την κρυσταλλική του δομή. Επομένως, οι παραπάνω τιμές γωνιών και οι αναλογίες επιφάνειας εδρών ισχύουν μόνο για τα άχρωμα διαμάντια και μεταβάλλονται από κρύσταλλο σε κρύσταλλο. Ένας κρύσταλλος μπριγιάν κυκλικής κοπής (brilliant round cut) έχει 58 έδρες (Tolkowsky 1919).

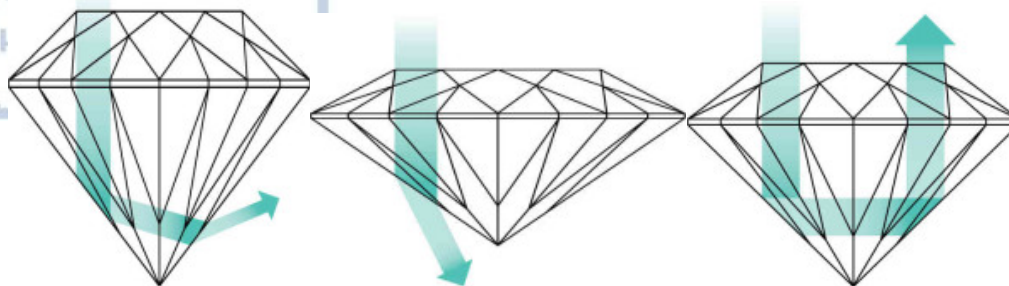
Parts of a Round Brilliant Diamond



Σχήμα 6.2 Τα μέρη και οι 58 έδρες ενός μπριγιάν κυκλικής κοπής (brilliant round cut) κρυστάλλου. (<https://www.gia.edu/gia-news-research-round-brilliant-cut-diamond-pay>)

6.2. Γενικές αναλογίες κοπής.

- ❖ **Βαθιάς κοπής κρύσταλλοι:** Αν ένας πολύτιμος λίθος (πχ διαμάντι) είναι βαθιάς κοπής (Σχ.6.3α) τότε οι ακτίνες φωτός θα ανακλώνται κοντά στο πυθμένα του κώνου (pavilion) χωρίς να σχηματίζουν την κατάλληλη γωνία ανάκλασης ώστε να γυρίσουν πίσω στο μάτι του παρατηρητή από την κεντρική έδρα (table). Στους κρυστάλλους βαθιάς κοπής η κεντρική έδρα καταλαμβάνει αναλογικά μικρότερη επιφάνεια ενώ οι περισσότεροι από αυτούς τους κρυστάλλους εμφανίζουν μια σκοτεινή περιοχή στο κέντρο τους. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως nail head (<https://ringspo.com/diamond-cut/>) (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ **Ρηχής κοπής κρύσταλλοι:** Αν ένας πολύτιμος λίθος (π.χ. διαμάντι) είναι ρηχής κοπής (Σχ.6.3β) τότε οι ακτίνες φωτός θα διαθλώνται χωρίς να ανακλαστούν και να γυρίσουν πίσω στο μάτι του παρατηρητή με αποτέλεσμα ο κρύσταλλος να μην εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα. Τα ρηχής κοπής διαμάντια εμφανίζουν το φαινόμενο 'fisheye' δηλαδή ένα σκοτεινό δακτύλιο στην άνω έδρα του κρυστάλλου (<https://ringspo.com/diamond-cut/>) (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ **Ιδανικές αναλογίες:** Ένα διαμάντι που έχει ιδανικές αναλογίες κοπής (Σχ.6.3γ) επιτρέπει στις ακτίνες φωτός να ανακλώνται με την κατάλληλη γωνία ώστε να επιστρέψουν πίσω στο μάτι του παρατηρητή. Ένας τέτοιος κρύσταλλος θα έχει την υψηλότερη δυνατή ανακλαστικότητα και θα εμφανίζει έντονα την αδαμάντινη λάμψη του (<https://ringspo.com/diamond-cut/>) (Hurlbut and Kammerling 1991).



Σχήμα 6.3. Η πορεία του φωτός σε: α) βαθιάς κοπής κρύσταλλο, β) ρηχής κοπής κρύσταλλο, γ) κρύσταλλος με ιδανικές αναλογίες μπριγιάν κυκλικής κοπής (round brilliant cut) (<https://ringspo.com/diamond-cut/>).

Δύο σημαντικοί παράμετροι στην κοπή των κρυστάλλων είναι:

Α) Το ποσοστό βάθους του κρυστάλλου: Ορίζεται ως το πηλίκο του ύψους του κρυστάλλου που μετρείται από την κεντρική έδρα μέχρι και τη κορυφή κώνου δια τη μέση διάμετρο του διαζώματος. Αυτό το κλάσμα αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που συμβάλει στην εμφάνιση και στη λαμπρότητα (brilliance) των πολύτιμων λίθων (Blodgett et. al 2009).

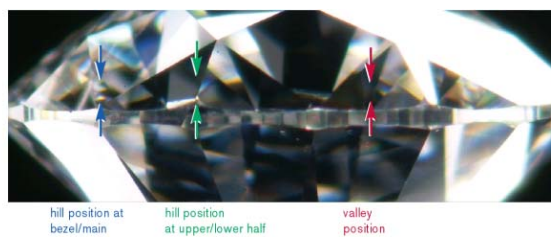
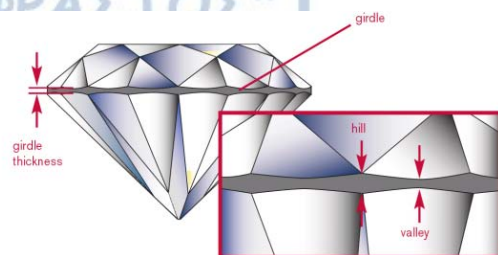
Β) Το ποσοστό κεντρικής έδρας: Ορίζεται ως το γινόμενο του πλάτους την κεντρικής έδρας επί τοις εκατό της συνολικής μέσης διαμέτρου του κρυστάλλου. Ο παράγοντας αυτός είναι καθοριστικός για τη συμπεριφορά των πολύτιμων λίθων σε φαινόμενα του φωτός. (Blodgett et. al 2009)

6.3. Αξιολόγηση κοπής: (Για κυκλικής κοπής (round cut) κρυστάλλους).

- ❖ **Άριστη (Excellent):** Χαρακτηρίζεται η τέλεια κοπή με τις ιδανικές αναλογίες
- ❖ **Πολύ καλή (Very good):** Εξαρτάται από το γυάλισμα και τη φωτεινότητα του κρυστάλλου αλλά αν ο κρύσταλλος δεν έχει καλές αναλογίες κοπής μπορεί να είναι ορατές κάποιες σκοτεινές περιοχές στον κώνο (pavilion).
- ❖ **Καλή (Good):** Χαρακτηρίζονται οι κρύσταλλοι ρηχής κοπής με πολλές σκοτεινές περιοχές στον κώνο (pavilion).
- ❖ **Μέτρια (Fair):** Χαρακτηρίζονται οι κρύσταλλοι ρηχής κοπής που δεν εμφανίζουν αντιθέσεις χρωμάτων και είναι πολύ σκοτεινοί.
- ❖ **Κακή (poor):** Μεγάλες γωνίες εδρών σε κορώνα (crown) και κορυφή κώνου (pavilion) και παχύ διάζωμα (girdle) που αυξάνει το βάθος κοπής του κρυστάλλου. Σε αυτή την κατηγορία οι πολύτιμοι λίθοι έχουν πολύ μικρή διάμετρο σε σχέση με το βάρος τους σε καράτια.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

6.4. Διάζωμα (Girdle)

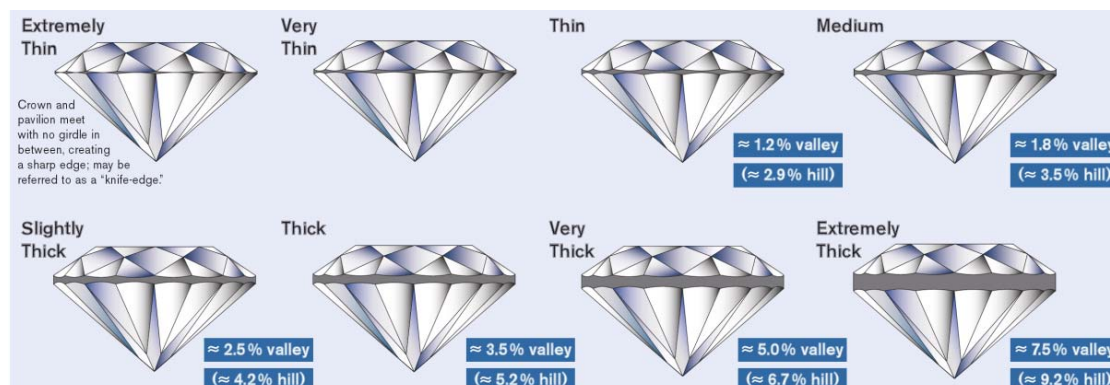
Το πάχος που έχει το **διάζωμα** (κυκλική επιφάνεια που αποτελείται από όρη και κοιλίες και διαχωρίζει την κορώνα από τον κώνο του κρυστάλλου) επηρεάζει την αντοχή και την εμφάνιση-αισθητική του κρυστάλλου (Blodgett et. al 2009).



Εικόνα 6.1. Όρη και κοιλίες διαζώματος σε έναν κυκλικής κοπής κρύσταλλο.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Λεπτό διάζωμα:** Οι γωνίες των εδρών εμφανίζονται πιο κοφτερές (Εικ.6.1) με μεγαλύτερη πιθανότητα να σπάσουν. (φαίνονται πιο έντονα τα όρη και οι κοιλίες του κρυστάλλου) (Blodgett et. al 2009).
- ❖ **Παχύ διάζωμα:** Το μεγαλύτερο βάρος σε καράτια συγκεντρώνεται στο κέντρο του ορυκτού με αποτέλεσμα ο κρύσταλλος να φαίνεται πολύ μικρότερος σε μέγεθος αν συγκριθεί με κρυστάλλους όμοιας τάξης καρατίων (Σχ.6.4) (Blodgett et. al 2009).

$$\text{Πάχος διαζώματος \%} = \frac{\text{μέσο πάχος διαζώματος σε mm}}{\text{μέση διάμετρος διαζώματος}} \times 100.$$



Σχήμα 6.4. Κυκλικής κοπής κρύσταλλοι με διαφορετικό πάχος στα διαζώματα.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

6.5. Κώνος (Pavilion)

Ο κώνος αποτελεί το κάτω άκρο του κρυστάλλου και το μέγεθος του επηρεάζει την ανακλαστικότητα του όταν παρατηρείται από την κεντρική έδρα. Σε πολλές περιπτώσεις η κορυφή κώνου παραλείπεται και αντικαθίσταται συνήθως από μια μικρή τετράγωνη έδρα (Large culet) (Σχ.6.5). Ο σκοπός της κορυφής κώνου είναι να "προστατεύει" τον κρύσταλλο από πιθανά χτυπήματα (Blodgett et. al 2009). Βέβαια οι κρύσταλλοι που εμφανίζουν κορυφή κώνου (culet) έχουν περισσότερες πιθανότητες να θρυμματιστούν ειδικά κατά τη διάρκεια της τοποθέτησής τους σε κάποιο σκελετό κοσμήματος. Το large culet είναι αρκετά ορατό όταν βλέπουμε τον κρύσταλλο από την κεντρική έδρα με αποτέλεσμα να μειώνεται η λαμπρότητα του κρυστάλλου (Σχ.6.6). Γενικώς, ένας κρύσταλλος είναι προτιμότερος με μικρή-μεσαία κορυφή κώνου (Blodgett et. al 2009).

$$\text{Μέγεθος κορυφής κώνου \%} = \frac{\text{Μήκος κορυφής κώνου σε mm}}{\text{μέση διάμετρος διαζώματος}} \times 100.$$

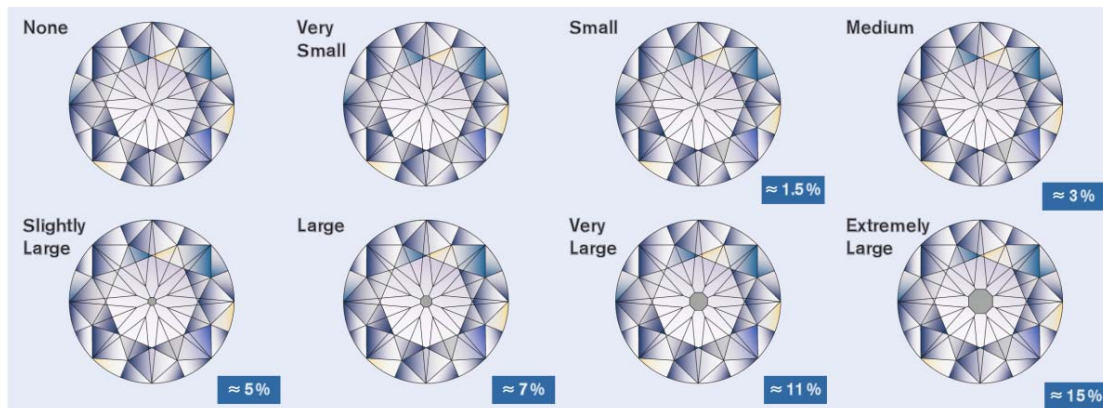


(α)



(β)

Σχήμα 6.5. α)Κρύσταλλος με εμφάνιση κορυφής κώνου. β)κρύσταλλος με εμφάνιση μικρής τετράγωνης έδρας. (https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).



Σχήμα 6.6. Κυκλικής κοπής κρύσταλλοι με διάφορα μεγέθη κορυφής κώνου (culet). (https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

6.6. Fancy σχήματα κοπής.

Εκτός από τους παραδοσιακούς και τον κλασσικό τύπο κυκλικής κοπής υπάρχουν και διάφορα άλλα είδη. Σημαντική παράμετρος στους διάφορους τρόπους κοπής αποτελεί η αναλογία μήκους προς πλάτος (L/W) που αντιπροσωπεύει το μήκος του κρυστάλλου διαιρούμενο με το πλάτος του και δηλώνει κατά πόσο τετραγωνισμένος ή ορθογώνιος φαίνεται ένας κρύσταλλος στη κορώνα του.

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>)

Στα σχήματα 6.7 και 6.8 δίνονται τα παρακάτω είδη κοπής:

- ❖ **Princess cut:** Αποτελεί το πιο δημοφιλή μη κυκλικό τρόπο κοπής. Θεωρείται ως ένα ιδανικό είδος κοπής για δαχτυλίδια αρραβώνων. Έχει συνήθως τετράγωνο σχήμα με μυτερές γωνίες. Οι χρωματικές ατέλειες ενός princess cut διαμαντιού συγκεντρώνονται στις κορυφές του τετραγώνου. Συνήθως αυτά τα διαμάντια ποικίλουν στο πόσο τετραγωνισμένα φαίνονται. Για ένα τετράγωνο σχήμα η αναλογία 2 διαδοχικών πλευρών κυμαίνεται 1,00-1,05 ενώ για ένα πιο παραλληλόγραμμο σχήμα η αναλογία δύο διαδοχικών πλευρών είναι >1,10. Τα princess cut διαμάντια είναι πολύ πιο φτηνά από τα κυκλικής κοπής διότι από ένα ακατέργαστο διαμάντι μπορούν να προκύψουν 2 princess cut διαμάντια αλλά μόνο ένα round cut διαμάντι. Επιπλέον αν συγκρίνουμε ένα princess cut διαμάντι με ένα



round cut διαμάντι ίδιων καρατίων, το princess cut διαμάντι φαίνεται μεγαλύτερο σε μέγεθος.

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>).

- ❖ **Emerald cut:** Αυτό το είδος κοπής διαφέρει αρκετά στον κώνο pavilion. Το σχήματα των εδρών έχουν κυρίως μορφή τραπεζίου. Οι κρύσταλλοι που έχουν κοπεί με αυτό τον τρόπο δημιουργούν μοναδικά οπτικά φαινόμενα όπως το φαινόμενο του καθρέφτη. Οι κρύσταλλοι με emerald κοπή στον κώνο τους δεν εμφανίζουν την κλασσική μορφή κοπής χαρταετού (kite cut) αλλά εμφανίζουν κλιμακωτή μορφή κοπής (step cut) με αποτέλεσμα κάποιες έδρες κοπής του κρυστάλλου να λειτουργούν σαν καθρέπτες. Επιπλέον στο emerald cut αντανακλάται καλύτερα η διαύγεια ενός κρυστάλλου. Γι' αυτό όταν επιλέγουμε ένα διαμάντι ή ένα κρύσταλλο με πολλά εγκλείσματα (συνεπώς μικρής διαύγειας) πρέπει να είμαστε ενήμεροι για την κατανομή των εγκλεισμάτων μέσα στον κρύσταλλο. Ένας emerald cut κρύσταλλος ποικίλει πολύ στο πόσο τετραγωνισμένος φαίνεται. Συνήθως η τετραγωνισμένη μορφή του είναι γνωστή με το όνομα 'Asscher cut'. Η αναλογία μήκος προς πλάτος (L/W) του κρυστάλλου μας δίνει τις αναλογίες της άνω έδρας του. Αυτή η αναλογία για ένα κλασσικό emerald cut κρύσταλλο είναι $L/W=1,30-1,40$.

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>)

- ❖ **Asscher cut:** αποτελεί ένα είδος κοπής πολύ παρόμοιο με αυτό του emerald cut. Όπως και στο emerald cut έτσι και εδώ εμφανίζεται το φαινόμενο του 'καθρέπτη' και σε περίπτωση που ο κρύσταλλος έχει εγκλείσματα (slightly included) πρέπει να υπάρχει πιστοποιητικό που να προσδιορίζει την κατανομή των εγκλεισμάτων μέσα στον κρύσταλλο. Αντιπροσωπευτική αναλογία $L/W: 1,00-1,05$.

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>).

- ❖ **Marquise cut:** Σε αυτό το είδος κοπής το μέγεθος των κρυστάλλων φαίνεται μεγαλύτερο σε σύγκριση με άλλους κρυστάλλους που ανήκουν σε διαφορετικό είδος κοπής. Το marquise cut προτιμάται κυρίως σε δαχτυλίδια διότι η μορφή του κάνει τα δάχτυλα να φαίνονται πιο λεπτά και μακριά. ($L/W=1,75-2,25$).

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>).

- ❖ **Oval cut:** Είναι παρόμοιο με το round cut αλλά η κορώνα έχει ελλειψοειδή μορφή. Όπως και το marquise cut προτιμάται σε δαχτυλίδια για τον ίδιο λόγο. ($L/W= 1,33-1,66$).

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>).

- ❖ **Radiant cut:** Μοιάζει με μια τετραγωνισμένη μορφή ενός κυκλικής κοπής κρυστάλλου. Διακρίνεται εύκολα από το princess cut διότι δεν φέρει γωνίες και κυρίως δεν εμφανίζει καθόλου το φαινόμενο 'καθρέπτη' ($L/W= 1,00-1,05$).

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>)

- ❖ **Pear cut:** Έχει σχήμα παρόμοιο με δάκρυ ($L/W=1,45-1,75$).

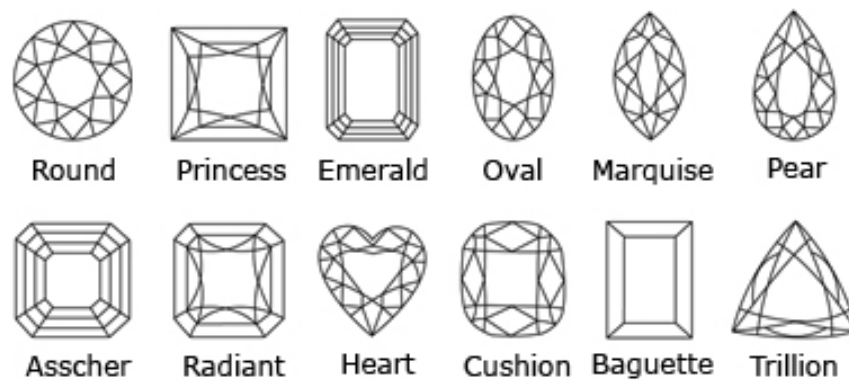
(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>)

- ❖ **Heart cut:** Το σχήμα αυτού του είδους κοπής έχει μορφή καρδιάς. Είναι ένας από τους πιο εύκολους τρόπους κοπής που μπορεί να προσδιορισθεί. Στα ελαφρώς χρωματιστά διαμάντια το χρώμα εντοπίζεται στις γωνίες του κρυστάλλου ($L/W=0,90-1,10$).

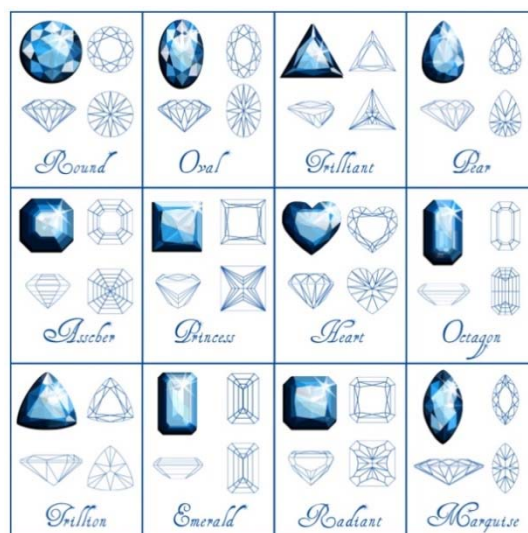
(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>)

- ❖ **Cushion cut:** Είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τρόπους κοπής. Έχει τετραγωνισμένη μορφή με στρογγυλεμένες γωνίες. Σε αυτό το είδος κοπής οι έδρες είναι αρκετά μεγάλες και γι' αυτό συνήθως τα εγκλείσματα είναι ορατά ακόμα και με γυμνό οφθαλμό ($L/W=1,00-1,05$).

(<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>)



Σχήμα 6.7 Fancy σχήματα κοπής.



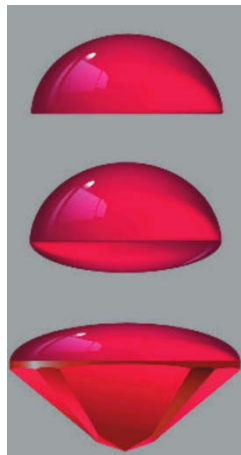
6.8 Διάφορα fancy σχήματα κοπής σε διάφορες όψεις.

6.7. Παραδοσιακοί τρόποι κοπής

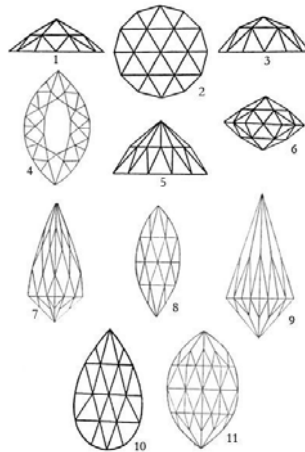
- ❖ **Κοπή καμποσόν (Cabochon cut):** Σε αυτό τον τρόπο κοπής ανταποκρίνονται οι πολύτιμοι λίθοι με ομαλή και σφαιρική επιφάνεια (Bauer 1968) που σχηματίζει ένα δόμο

στο άνω μέρος και μια επίπεδη επιφάνεια στο κάτω μέρος (Σχ.6.9). Πρόκειται για τον ιδανικότερο τρόπο κοπής ώστε να αναδειχτούν σπάνια οπτικά φαινόμενα όπως το φαινόμενο του αστερισμού (Gilbertson 2016).

- ❖ **Intaligo/Cameo cut:** Πρόκειται για ένα ενδιάμεσο αποτέλεσμα μεταξύ κοπής και γλυπτικής (Bauer 1968). Συνήθως αυτοί οι πολύτιμοι λίθοι εμφανίζουν σκαλιστές φιγούρες ή απεικονίζουν διάφορα σχήματα.
- ❖ **Κοπή ροζέτας (Rose/Rosette cut):** Πρόκειται για τον παλαιότερο τρόπο κοπής όπου ένας κρύσταλλος εμφανίζει επίπεδες κομμένες έδρες (Σχ.6.10). Χρησιμοποιήθηκε από το 16^ο αιώνα σε διαμάντια και κόκκινους γρανάτες (Bauer 1968).



Σχήμα 6.9 α) Cabochon cut κρύσταλλος που εμφανίζει ένα δόμο στο άνω μέρος του και μια επίπεδη επιφάνεια στο κάτω μέρος του. β) Κρύσταλλος με cabochon cut που εμφανίζει ένα δόμο στο άνω μέρος του και μια κοίλη επιφάνεια στο κάτω μέρος του. γ) κρύσταλλος με cabochon cut που εμφανίζει στο άνω μέρος του μια κοίλη επιφάνεια και το κάτω μέρος του έχει round cut κοπή. (colored stones essentials GIA: cse03).



Σχήμα 6.10 Κρύσταλλοι με Rose cut κοπή.

(https://www.google.gr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjU0N6X3lvcAhUEK1AKHY2BBR4Qjxx6BBAgBEAI&url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.co.uk%2Fpin%2F120893571230617449%2F&psig=AOvVaw3P2fwargNfqthOPKKW_wdC&ust=1531009265001912)

6.8. Αξιολόγηση κοπής- Cut grade (κυρίως για διαμάντια).

- ❖ **Signature ideal cut:** Ακριβείς αναλογίες εδρών. Γυάλισμα και συμμετρία που επιτρέπουν τον κρύσταλλο να αντανακλά ακόμα πιο έντονα και από το ideal cut (Blodgett et. al 2009).
- ❖ **Ideal cut:** Είναι ο υψηλότερος βαθμός κοπής. Οι αναλογίες αυτού του βαθμού κοπής αντιστοιχούν σε ένα κρύσταλλο που έχει ομοιόμορφη και υψηλή ανακλαστικότητα σε όλη του την επιφάνεια (Blodgett et. al 2009).
- ❖ **Very good cut:** Ο βαθμός ανάκλασης, η λάμψη και ο σπινθηρισμός είναι σε πολύ μικρότερο βαθμό από ένα ideal cut κρύσταλλο και αυτό συνεπάγεται μια πολύ χαμηλότερη κοστολόγηση αυτών των κρυστάλλων (Blodgett et. al 2009).
- ❖ **Good cut:** Η ποιότητα κοπής και η τιμή είναι πολύ χαμηλότερες από ένα very good cut κρύσταλλο. Όμως πολλές φορές, αυτοί οι κρύσταλλοι μπορεί να εμφανίζουν αρκετά υψηλή ανακλαστικότητα (Blodgett et. al 2009).

6.9. Αξιολόγηση χρώματος (για άχρωμα διαμάντια).

D color: Είναι η υψηλότερη βαθμίδα και πρόκειται για τελείως άχρωμα διαμάντια (Εικ.6.2). Αυτά τα διαμάντια είναι πολύ σπάνια (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

E color: Πρακτικά πρόκειται για άχρωμα διαμάντια. Ίχνη χρώματος δεν μπορούν να εντοπιστούν με γυμνό οφθαλμό ή λούπα (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

F color: Πρόκειται επίσης για άχρωμα διαμάντια. Ίχνη χρώματος εντοπίζονται από έμπειρο μάτι γεμολόγου (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

G color: Είναι η χαμηλότερη βαθμίδα για ένα 'σχεδόν άχρωμο' διαμάντι. Το χρώμα σε ένα τέτοιο διαμάντι μπορεί να εντοπισθεί αν συγκριθεί με ένα τελείως άχρωμο διαμάντι. Η αξία αυτών των διαμαντιών παραμένει πολύ μεγάλη (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

H color: Δεν διαφέρει ιδιαίτερα από τα G color διαμάντια απλώς σε αυτή την κατηγορία το χρώμα απλώνεται σε μεγαλύτερη έκταση μέσα στον κρύσταλλο (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

I color: Είναι η κατώτερη βαθμίδα των σχεδόν άχρωμων διαμαντιών. Το χρώμα τους αναγνωρίζεται με σωστή, προσεκτική παρατήρηση. Έχουν μεγάλη αξία αλλά όχι ίδια με αυτή των προηγούμενων βαθμίδων (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

J color: Το χρώμα αναγνωρίζεται αρκετά καλά με γυμνό οφθαλμό κυρίως σε fancy-cut διαμάντια που είναι μεγαλύτερα από 1 καράτι (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

K-Z color: Σε αυτή την κατηγορία η παρουσία χρώματος είναι αρκετά αισθητή (Εικ 6.2). Οι περισσότεροι άνθρωποι αντιλαμβάνονται με μεγάλη ευκολία την παρουσία χρώματος στα διαμάντια από το σημείο K και άνω (<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>).

GIA COLOR GRADING SCALE

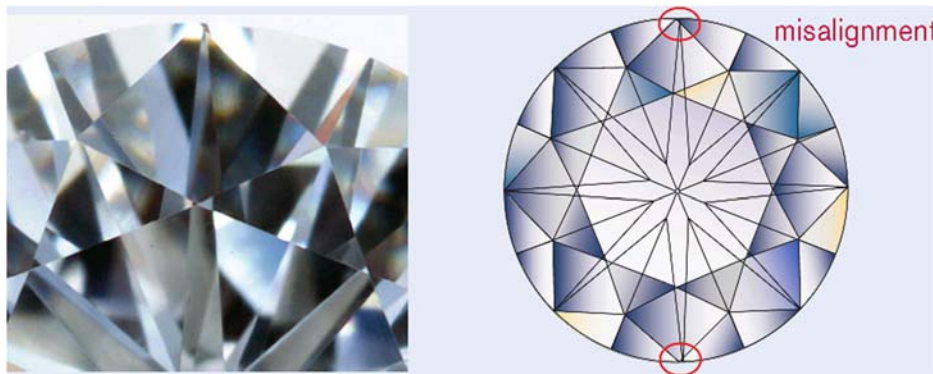


Εικόνα 6.2. Κλίμακα χρώματος GIA για άχρωμα έως ελαφρώς χρωματιστά διαμάντια.
(<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>)

6.10. Αξιολόγηση συμμετρίας κρυστάλλων

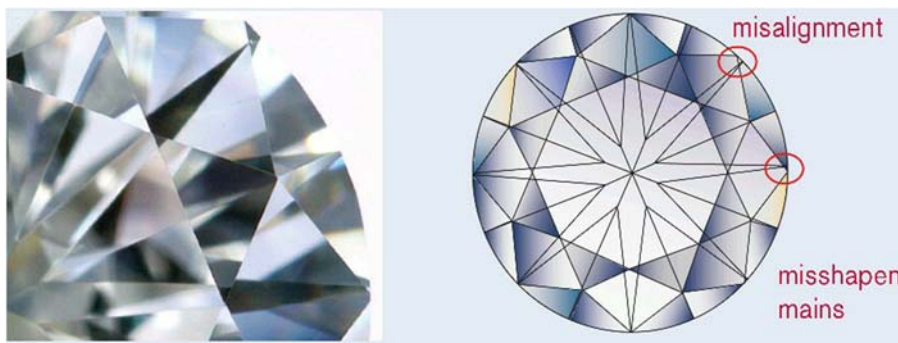
Ως συμμετρία κρυστάλλου ορίζεται η ακρίβεια στις γωνίες και στις αναλογίες εδρών κοπής που κάνουν τον κρύσταλλο να φαίνεται συμμετρικός με αποτέλεσμα να έχει υψηλή λαμπρότητα και ανακλαστικότητα. (Blodgett et. al. 2009)

- ❖ **Άριστη:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι κρύσταλλοι που βρίσκονται σε εξαιρετικά επίπεδα συμμετρίας (Εικ.6.3) με ελάχιστες έως καθόλου αποκλίσεις των εδρών της κορώνας ή του κώνου του κρυστάλλου (Blodgett et. al. 2009).



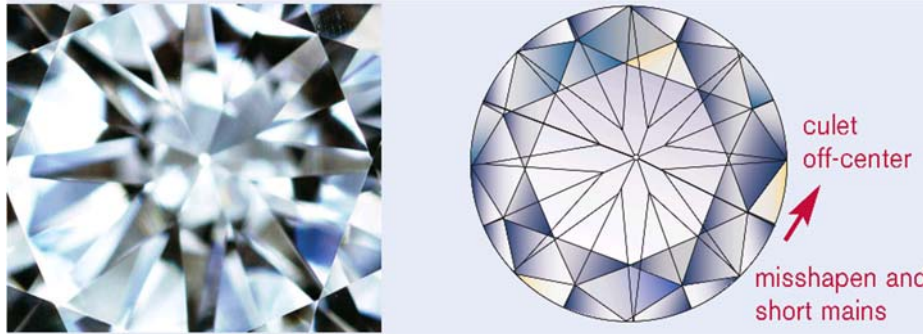
Εικόνα 6.3. Κρύσταλλος διαμαντιού με άριστη συμμετρία.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Πολύ καλή:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι κρύσταλλοι που εμφανίζουν σε μικρό σχετικά ποσοστό γραμμές στίλβωσης, ή μικρή απόκλιση κάποιας έδρας ή της κεντρικής έδρας, ή της κορυφής κώνου από το κέντρο του κρυστάλλου, ή έχουν κάποια μικρή επιπλέον έδρα (Εικ.6.4) (Blodgett et. al. 2009).



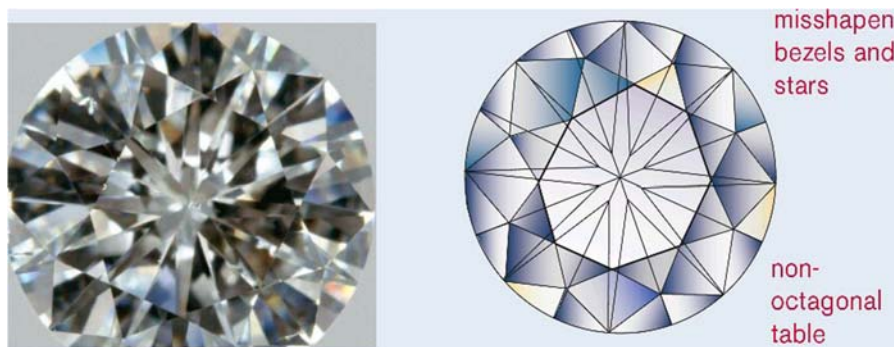
Εικόνα 6.4. Κρύσταλλος διαμαντιού με πολύ καλή συμμετρία.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Καλή:** Σε αυτή την κατηγορία οι ατέλειες από τη στίλβωση (Εικ.6.5) και την κοπή του κρυστάλλου είναι αρκετά εμφανείς ειδικά με τη χρήση μεγεθυντικών φακών. Το παχύ διάζωμα, η απόκλιση της κορυφής κώνου και της κεντρικής έδρας από το κέντρο του κρυστάλλου, η εμφάνιση επιπλέον εδρών είναι χαρακτηριστικές ατέλειες που προκύπτουν κατά την κατεργασία κοπής του κρυστάλλου (Blodgett et. al 2009).



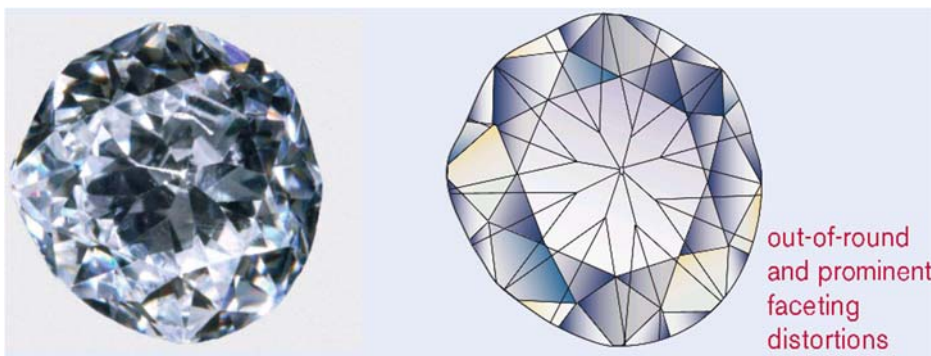
Εικόνα 6.5. Κρύσταλλος διαμαντιού με καλή συμμετρία.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Μέτρια:** Σε αυτή την κατηγορία οι ατέλειες από τη στίλβωση και την κοπή του κρυστάλλου είναι εμφανείς ακόμα και με γυμνό οφθαλμό (Εικ.6.6) ενώ μπορούν να παρατηρηθούν παραμορφώσεις ή και αποκλίσεις ανάμεσα στις έδρες (Blodgett et. al. 2009).



Εικόνα 6.6. Κρύσταλλος διαμαντιού με μέτρια συμμετρία.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

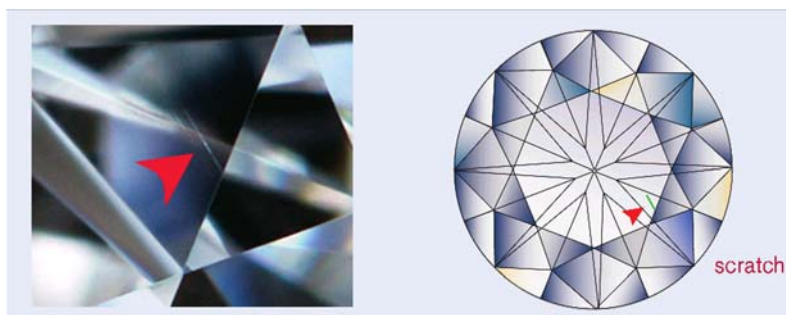
- ❖ **Κακή:** Σε αυτή την κατηγορία κυρίως η συμμετρία αλλά και η στίλβωση του κρυστάλλου βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Εικ.6.7) (Blodgett et. al. 2009).



Εικόνα 6.7. Κρύσταλλος διαμαντιού με κακή συμμετρία.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

6.11 Αξιολόγηση στίλβωσης κρυστάλλων

- ❖ **Άριστη:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι κρύσταλλοι που βρίσκονται σε εξαιρετικά επίπεδα στίλβωσης με ελάχιστες έως καθόλου επιφανειακές χαράξεις. Ένας κρύσταλλος που χαρακτηρίζεται από άριστα επίπεδα στίλβωσης (Εικ.6.8) θα πρέπει να εμφανίζει ελάχιστα έως καθόλου εγκλείσματα. Οι πιθανές μικρές ατέλειες τέτοιων κρυστάλλων είναι εμφανείς με μεγεθυντικούς φακούς ή λούπες της τάξεως x10.



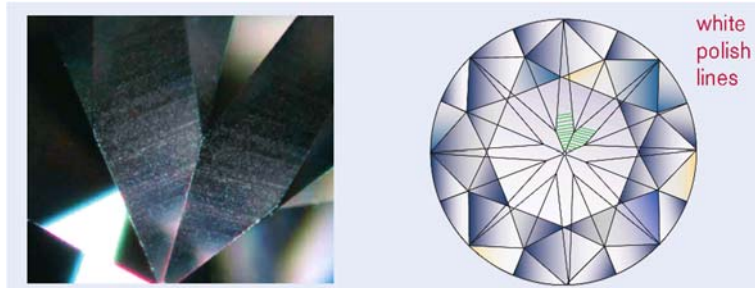
Εικόνα 6.8 Κρύσταλλος διαμαντιού με άριστη στίλβωση.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Πολύ καλή:** Σε αυτήν την κατηγορία μπορεί να εντοπιστούν ελάχιστες γραμμές στίλβωσης (Εικ.6.9) στην επιφάνεια της κορώνας του κρυστάλλου ακόμα και λευκές ρωγμώσεις/χαράξεις ή και αχνά σημάδια από εγκαύματα στον κρύσταλλο λόγω έντονων τάσεων κατά την τριβή του στη διάρκεια της στίλβωσης (Blodgett et. al. 2009).



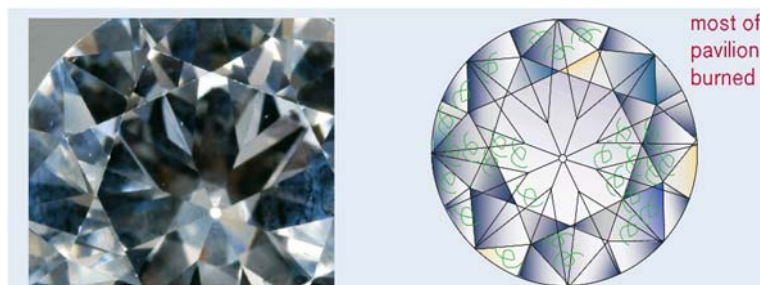
Εικόνα 6.9. Κρύσταλλος διαμαντιού με πολύ καλή στίλβωση.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Καλή:** Οι ατέλειες που φέρουν οι κρύσταλλοι σε αυτήν την κατηγορία είναι παρόμοιες με αυτές της παραπάνω κατηγορίας μόνο που εδώ οι ατέλειες είναι πιο έντονες (Εικ.6.10) και περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό στην κεντρική έδρα του κρυστάλλου (Blodgett et al. 2009).



Εικόνα 6.10. Κρύσταλλος διαμαντιού με καλή στίλβωση.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Μέτρια:** Όπως και στην παραπάνω κατηγορία έτσι και εδώ οι ατέλειες στίλβωσης είναι αρκετά έντονες, εξαπλώνονται σε μεγάλη έκταση μέσα ή στην επιφάνεια του κρυστάλλου (Εικ.6.11) και πολλές από αυτές είναι ορατές και με γυμνό οφθαλμό (Blodgett et. al. 2009).



Εικόνα 6.11. Κρύσταλλος διαμαντιού με μέτρια στίλβωση.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

- ❖ **Κακή:** Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι κρύσταλλοι με πολύ χαμηλή ποιότητα κοπής στους οποίους η ανακλαστικότητα και η λάμψη είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Εικ.6.12). Έχουν καεί από τις κατεργασίες στίλβωσης (Blodgett et. al. 2009) .



Εικόνα 6.12. Κρύσταλλος διαμαντιού με κακή στίλβωση.
(https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).

6.12. Συσχετισμός μεγέθους καρατίων και ποιότητας κοπής.

Όλοι οι πολύτιμοι λίθοι δεν έχουν εξαιρετική ποιότητα κοπής και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν μεγαλύτερα κέρδη όταν διατηρηθεί μεγαλύτερο μέρος από το αρχικό βάρος (καράτια) (<https://ringspo.com/diamond-cut/>) του κρυστάλλου παρά όταν εμφανίζει καλύτερο τρόπο κοπής (Σχ.6.11).



Σχήμα 6.11. Από ένα αρχικό-ακατέργαστο διαμάντι μπορούν να προκύψουν: α) δύο κυκλικής κοπής διαμάντια 3 καρατίων με χαμηλή ποιότητα κοπής ή β) δύο round cut διαμάντια 2,2 καρατίων με υψηλή ποιότητα κοπής. Συνήθως προτιμάται η πρώτη περίπτωση διότι τα κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα. (<https://ringspo.com/diamond-cut/>)

7. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΠΟΛΥΤΙΜΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ

Πρόκειται για ανθρώπινα ελεγχόμενες επεξεργασίες πάνω στη χρώση και στη γενικότερη εμφάνιση των πολύτιμων λίθων με απώτερο σκοπό τη βελτίωση της εμφάνισης τους και την αύξηση της ζήτησης τους στην αγορά των πολύτιμων λίθων. Για κάθε είδους αγορά πολύτιμων λίθων ο αγοραστής θα πρέπει να ενημερώνεται με ειδικό πιστοποιητικό (disclosure) για τις παρακάτω κατεργασίες που έχει ή πιθανόν έχει υποστεί ο πολύτιμος λίθος (καθώς και για τη διάρκεια ζωής των αποτελεσμάτων της κατεργασίας) που ενδιαφέρεται να αγοράσει.

Οι κυριότερες/ γνωστότερες κατεργασίες είναι οι εξής:

- ❖ Αποχρωματισμός με χημική κατεργασία/Bleaching
- ❖ Κατεργασία με λέιζερ/Laser-drilled channel
- ❖ Πλήρωση κοιλοτήτων/Cavity filling
- ❖ Πλήρωση μικρορωγμών/Fracture filling
- ❖ Θερμική Κατεργασία/Heat Treatment
- ❖ Κατεργασία μέσω διάχυσης ιόντων-στοιχείων μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού/Diffusion Treatment
- ❖ Πλήρωση πόρων/Colorless-Colored impregnations
- ❖ Ακτινοβολία/Irradiation
- ❖ Κατεργασία βαφής/Dyeing

7.1. Αποχρωματισμός με χημική κατεργασία/Bleaching

Αποτελεί μια χημική μέθοδο μέσω της οποίας μπορούμε να μεταβάλλουμε τον τόνο του χρώματος κάποιου πολύτιμου λίθου ή και κάποιες φορές να αποχρωματίσουμε τον κρύσταλλο (Εικ.7.1). Συνήθως με αυτή τη μέθοδο διαλύονται ή απομακρύνονται χημικά στοιχεία τα οποία είναι υπεύθυνα για το χρώμα του κρυστάλλου (Weldon 2016). Οι ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση αυτών των στοιχείων είναι κυρίως ενώσεις χλωρίου και υπεροξειδίου του υδρογόνου (hydrogen peroxide) που χρησιμοποιούνται κυρίως στα μαργαριτάρια για την αφαίρεση μαύρων στιγμάτων που μπορεί να φέρει η επιφάνειά τους. Συνήθως αυτό αποτελεί μια προεργασία για την μετέπειτα χρώση και έκθεση των μαργαριταριών σε ακτινοβολία (Weldon 2016). Διαλυμένο οξύ ή χλώριο μπορούν να τονίσουν το χρώμα σε διάφορα ορυκτά όπως είναι το μάτι της τίγρης, ο ιαδεΐτης και κάποιοι χαλκηδόνιοι. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται δυνατοί διαλύτες σε διαμάντια για την αφαίρεση σκοτεινών εγκλεισμάτων (Hurlbut and Kammerling 1991).

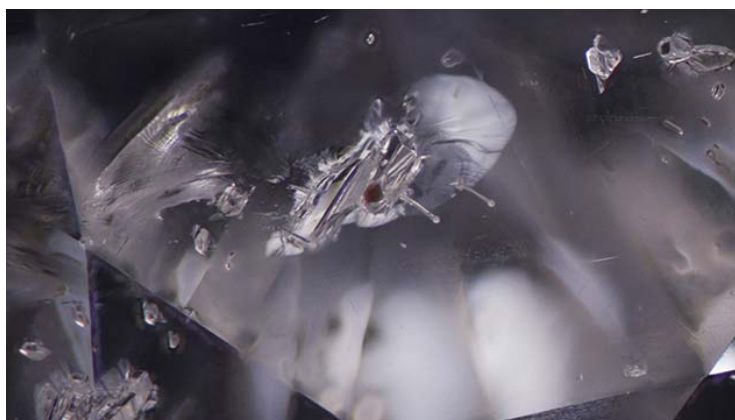


Εικόνα 7.1. Κρύσταλλος Ιαδεΐτη πριν και μετά τη χημική κατεργασία
(<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

7.2. Κατεργασία με λέιζερ/Laser-drilled channel

Σε αυτή τη μέθοδο μια ακτίνα laser διαπερνά και "τρυπάει" τον κρύσταλλο δημιουργώντας μια οπή πολύ μικρής διαμέτρου (Hurlbut and Kammerling 1991). Η επιλογή του σημείου στο οποίο θα διαπεράσει το λέιζερ τον κρύσταλλο θα πρέπει να είναι μελετημένη ώστε να μην είναι ιδιαίτερα ορατή η οπή από την κεντρική έδρα του κρυστάλλου (Hurlbut and Kammerling 1991). Η θερμότητα που παράγει το λέιζερ μπορεί να εξατμίσει το ανεπιθύμητο έγκλεισμα διαφορετικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο ισχυρό οξύ ή άλλη ουσία που θα το απομακρύνει χωρίς να προκαλέσει φθορές στον κρύσταλλο ξενιστή (Weldon 2016).

Σήμερα αυτή η μέθοδος έχει εξελιχθεί και μπορούμε με ένα μόνο χτύπο λέιζερ να απομακρύνουμε πολυάριθμα μικρά εγκλείσματα (Hurlbut and Kammerling 1991). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε διαμάντια και κυβικά ζirkόνια με σκοπό να βελτιωθεί η εμφάνιση τους χωρίς να είναι πάντα επιτυχής (Εικ. 7.2). Η οπή του laser εντοπίζεται σχετικά εύκολα ως άσπρες κουκίδες που δεν φέρουν την ομαλή και λεία επιφάνεια που έχει ο υπόλοιπος κρύσταλλος (Hurlbut and Kammerling 1991).



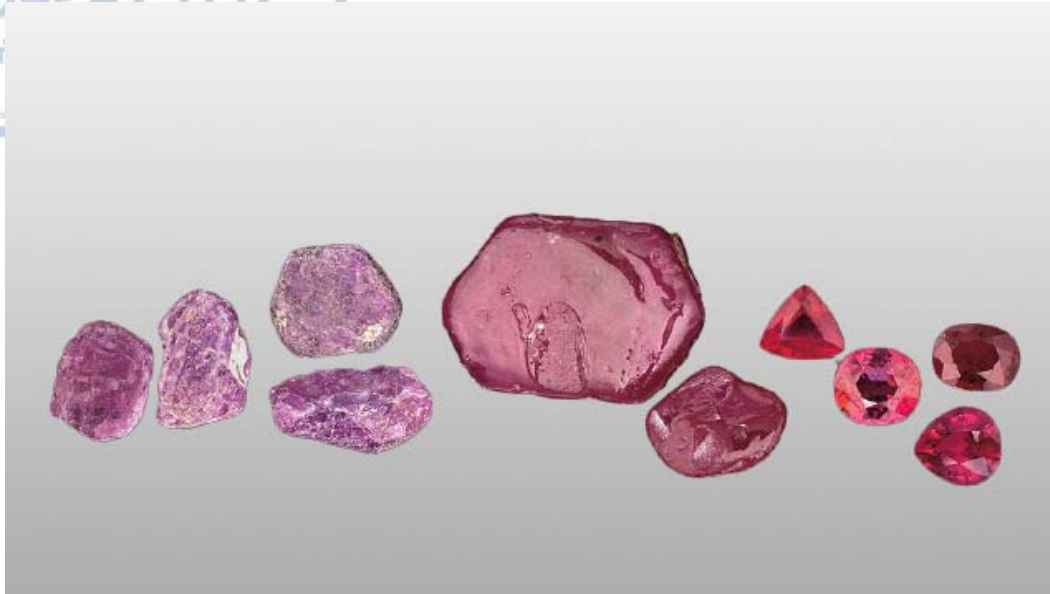
Εικόνα 7.2. Οπές που σχηματίστηκαν κατά την κατεργασία μέσω λέιζερ στην κεντρική έδρα ενός διαμαντιού χωρίς να αφαιρεθεί με επιτυχία το έγκλεισμα (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

7.3. Πλήρωση κοιλοτήτων/Cavity filling

Οι επιφανειακές κοιλοότητες στην επιφάνεια των πολύτιμων λίθων έχουν αρνητικό αντίκτυπο στη ζήτηση και στην αγορά τους (Εικ.7.3). Έτσι πολύ συχνά με τη μέθοδο πλήρωσης κοιλοτήτων μπορούμε να γεμίσουμε αυτούς τους κενούς χώρους με κάποιο άλλο υλικό όπως γυαλί, πλαστικό, ρητίνη (Hurlbut and Kammerling 1991). Βέβαια υπάρχει μεγάλη διαφορά στο βαθμό σκληρότητας του ορυκτού ξενιστή και του υλικού πλήρωσης και πολλές φορές ένας έμπειρος γεμολόγος μπορεί να εντοπίσει αυτό το είδος κατεργασίας ακόμα και με γυμνό μάτι. Επιπλέον, διαφορές στον δείκτη διάθλασης και σε άλλες φυσικές ιδιότητες μεταξύ ξενιστή και υλικού πλήρωσης δημιουργούν προβλήματα στη στίλβωση των κρυστάλλων και σε διάφορα άλλα οπτικά τους φαινόμενα (McClure et al. 2006). Με μεγεθύνσεις σε μικροσκόπια μπορούν να εντοπιστούν αέριες φυσαλίδες στα όρια του κρυστάλλου ξενιστή με το υλικό πλήρωσης. Όμως, η πιο αξιόπιστη μέθοδος εντοπισμού υλικού πλήρωσης είναι μέσω φασμάτων απορρόφησης (Hurlbut and Kammerling 1991). Αυτή η κατεργασία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1980 σε ρουμπίνια και ζαφείρια ενώ αργότερα εφαρμόστηκε και σε σμαράγδια για την πλήρωση των μικρορωγμών τους (Hurlbut and Kammerling 1991).

7.4. Πλήρωση μικρορωγμών/Fracture filling

Η πλήρωση μικρορωγμών μοιάζει πολύ με τη μέθοδο πλήρωσης κοιλοτήτων. Η διαφορά τους είναι στη μορφή και στο σχήμα που έχουν τα ανοίγματα. Στην πλήρωση κοιλοτήτων έχουμε πιο ανοιχτά και βαθιά ανοίγματα ενώ στην πλήρωση μικρορωγμών έχουμε πιο στενά ανοίγματα (Εικ.7.12α). Τα υλικά που μπορούν να καλύψουν τις μικρορωγμές είναι συνήθως πλαστικό, γυαλί, ρητίνη ή κάποιο είδος κόλλας όπως είναι το βάλαμο του Καναδά (McClure et al. 2006). Επειδή σε αυτή τη μέθοδο τα ανοίγματα είναι πιο στενά θα πρέπει να εφαρμοστεί ένα αρχικό στάδιο για την αφαίρεση του αέρα από τα ανοίγματα διαφορετικά θα σχηματιστούν φυσαλίδες κατά τη στερεοποίηση του υλικού πλήρωσης (Hurlbut and Kammerling 1991). Τα περισσότερα υλικά πλήρωσης είναι άχρωμα και σπανίως χρωματίζονται με τεχνητές μεθόδους. Το πιο συνηθισμένο ορυκτό που υπόκειται στην παραπάνω κατεργασία είναι το σμαράγδι (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).



Εικόνα 7.3. Ακατέργαστα ρουμπίνια με πολυάριθμες ρωγμώσεις και κοιλότητες οι οποίες μπορούν να πληρωθούν με κάποιο μέσο όπως γυαλί, πλαστικό κ.α. (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

7.5. Θερμική Κατεργασία/Heat Treatment

Σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, μπορούμε να έχουμε αλλαγές στο χρώμα που εμφανίζουν πολλοί πολύτιμοι λίθοι. Για παράδειγμα, πολλοί κρύσταλλοι τοπαζίου που φέρουν χρώμιο (Cr) στο κρυσταλλικό τους πλέγμα μπορούν να φέρουν αλλαγές στο χρώμα τους λόγω μετάδοσης θερμότητας από μια λάμπα αλκοόλης (Hurlbut and Kammerling 1991). Από την άλλη μεριά πολλοί πολύτιμοι λίθοι χρειάζονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες προκειμένου να μεταβληθεί το χρώμα τους. Για παράδειγμα, κάποια κορούνδια πλούσια σε Τι χρειάζονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες προκειμένου να μεταβληθεί το έντονο κόκκινο χρώμα τους στο βαθύ μπλε χρώμα του ζαφειριού (2050°C) ή να εμφανίσουν το χαρακτηριστικό φαινόμενο του αστερισμού (Hurlbut and Kammerling 1991).

Τα αποτελέσματα της θερμικής κατεργασίας δεν εξαρτώνται μόνο από τις ιδιότητες του κρυστάλλου αλλά και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνει χώρα η κατεργασία. Μερικές από αυτές είναι (Hurlbut and Kammerling 1991):

- ❖ Θερμοκρασία
- ❖ Ρυθμός θέρμανσης
- ❖ Διάρκεια θέρμανσης
- ❖ Ατμοσφαιρική πίεση
- ❖ Ρυθμός ψύξης

Στη συνέχεια, ακολουθούν κάποια παραδείγματα και εφαρμογές της θερμικής κατεργασίας στους πολύτιμους λίθους.

- ❖ **Κεχριμπάρι:** Το κεχριμπάρι μέσω σταδιακής θέρμανσης μπορεί να φέρει επιθυμητές αλλαγές στο χρώμα του. Τέτοιες αλλαγές είναι γνωστές με τον όρο 'sun sprangles' (στιλπνές φωτεινές δισκοειδείς δέσμες) που είναι ιδιαίτερα επιθυμητές στην αγορά πολύτιμων λίθων (Εικ. 7.4). Στη συνέχεια με σταδιακή θέρμανση μπορεί

να μεταβάλλει το κίτρινο χρώμα του σε πορτοκαλί-καφέ με πιο σκούρο τόνο (Weldon 2016).

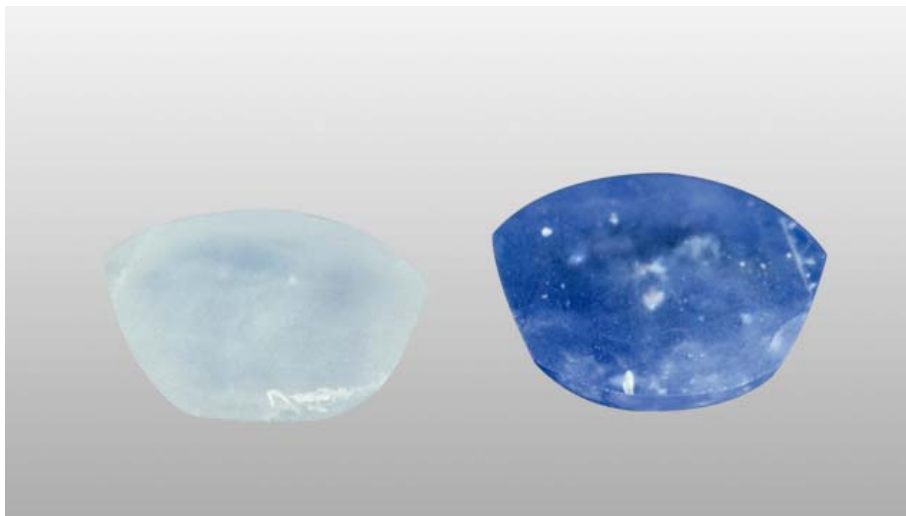


Εικόνα 7.4. Κεχριμπάρια που εμφανίζουν το φαινόμενο 'sun spangles' μετά από θερμική κατεργασία (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

- ❖ **Βήρυλλος:** Μια ποικιλία της βηρύλλου γνωστή με το όνομα Άκουαμαρίνα, έχει ανοιχτό μπλε-πράσινο χρώμα. Με την εφαρμογή της παραπάνω κατεργασίας (σε χαμηλές θερμοκρασίες) μπορούν να αφαιρεθούν πιθανά κίτρινα στίγματα που υπάρχουν στον κρύσταλλο ή άλλες χρωματικές ατέλειες έτσι ώστε να τονιστεί το χαρακτηριστικό χρώμα του κρυστάλλου (Weldon 2016). Αντίστοιχη μέθοδος χρησιμοποιείται για τη χρωματική κατεργασία του μοργκανίτη. Οι παραπάνω θερμικές κατεργασίες για την άκουαμαρίνα και το μοργκανίτη είναι δύσκολο να τεκμηριωθούν διότι δεν υπάρχουν εμφανή σημάδια λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών (Weldon 2016).
- ❖ **Καρνεόλιος:** Πρόκειται για διαφανή κόκκινη ποικιλία χαλκηδόνιου με κίτρινα-καστανά εγκλείσματα λειμωνίτη τα οποία μέσω θερμικής κατεργασίας μετατρέπονται σε αιματίτη (Weldon 2016).
- ❖ **Αμέθυστος:** Μέσω της θερμικής κατεργασίας, ο αμέθυστος αν έχει Fe^{+3} μετατρέπεται σε αμετρίνη και στη συνέχεια σε κιτρίνη ενώ αν περιέχει Fe^{+2} το χρώμα του αλλάζει σε πράσινο δημιουργώντας μια πολύτιμη ποικιλία πρασιόλιθου (Weldon 2016).
- ❖ **Ζιρκόνια:** Τα ζιρκόνια (Εικ. 7.12γ) που έχουν κόκκινα, κίτρινα ή καστανά ανεπιθύμητα χρώματα σε θερμοκρασίες 900-1000°C και σε συνθήκες χωρίς ατμόσφαιρα αποχρωματίζονται ή το χρώμα τους μεταβάλλεται σε γαλάζιο (Hurlbut and Kammerling 1991). Αν κάποια ζιρκόνια δεν μεταβάλλουν το χρώμα τους κάτω από αυτές τις συνθήκες τότε θερμαίνονται ξανά σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο με μικρότερες πιθανότητες μεταβολής του χρώματος τους. Παρόλο που η θερμική κατεργασία θεωρείται μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους, δεν έχει πάντοτε μόνιμα αποτελέσματα στην αλλαγή του χρώματος των ζιρκονίων. Έτσι τα περισσότερα από αυτά τα ζιρκόνια επανέρχονται στο αρχικό τους χρώμα λίγες

μέρες μετά την έκθεσή τους στο ηλιακό φως ή ένα χρόνο μετά αν διατηρούνται σε χώρους μειωμένης ακτινοβολίας του φωτός (Hurlbut and Kammerling 1991).

- ❖ **Τανζανίτης:** Ο Τανζανίτης αποτελεί την πιο διάσημη πολύτιμη ποικιλία ζοϊσίτη και οι πιο αυξημένες σε ζήτηση ποικιλίες του είναι αυτές που εμφανίζουν μπλε-ιώδεις χρωματισμούς. Υπάρχουν όμως και ποικιλίες με πρασινοκίτρινες αποχρώσεις οι οποίες μέσω θερμικής κατεργασίας μεταπίπτουν στις παραπάνω μπλε-ιώδεις ποικιλίες (Weldon 2016).
- ❖ **Τουρμαλίνης:** Οι περισσότερες ποικιλίες τουρμαλίνη εμφανίζονται με πολύ σκούρες αποχρώσεις ελαιοπράσινου έως μαύρου χρώματος (Weldon 2016). Συνήθως μέσω θερμικής κατεργασίας το χρώμα στον τουρμαλίνη μπορεί να γίνει πιο φωτεινό καθώς και πιο ομοιόμορφα κατανεμημένο χωρίς την εμφάνιση χρωματικών ζωνώσεων (Weldon 2016).
- ❖ **Κορούνδια:** Η θερμική κατεργασία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε κορούνδια (ρουμπίνια και ζαφείρια). Σήμερα ανάλογα με τα αρχικά δείγματα που υπάρχουν και τις συνθήκες που θα εφαρμοστούν μπορεί να προκύψουν διάφορα αποτελέσματα στην εμφάνιση και στο χρωματισμό των κορουνδίων (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 7.5. Μπλε ζαφείρι πριν και μετά την ενίσχυση μπλε χρώματος μέσω θερμικής κατεργασίας (Heat treatment) (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

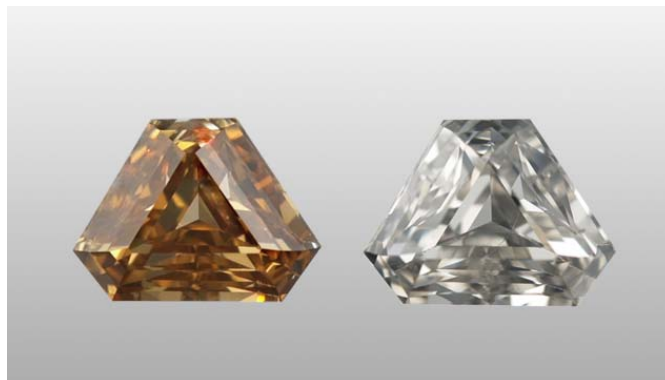
- Παραγωγή ποικιλίας 'χρυσού ζαφειριού' ενισχύοντας το κίτρινο χρώμα που φέρουν τα κορούνδια λόγω παρουσίας ιόντων Fe^{+3} στο κρυσταλλικό τους πλέγμα.
- Ενίσχυση κυανού χρώματος στα μπλε ζαφείρια (Εικ. 7.5). Αποτελεί μια από τις κύριες μεθόδους ενίσχυσης χρώματος και οφείλεται στην αναγωγή των ιόντων Fe^{+3} σε ιόντα Fe^{+2} τα οποία με τη σειρά τους με μεταφορά

ηλεκτρονίων παράγουν το χαρακτηριστικό κυανό χρώμα στα ζαφείρια σύμφωνα με την εξής αντίδραση: $\text{Fe}^{+2} + \text{Ti}^{+4} \rightarrow \text{Fe}^{+3} + \text{Ti}^{+3}$

- Εξασθένιση κυανού χρώματος στα σκούρα μπλε ζαφείρια ή στα ιώδη-κόκκινα ρουμπίνια. Πρόκειται για την αντίστροφη διαδικασία της παραπάνω μεθόδου.
- Εμφάνιση του φαινομένου του αστερισμού λόγω ύπαρξης εγκλεισμάτων ρουτιλίου (TiO_2).
- Μείωση της χρωματικής ζώνωσης σε συνθετικά κορούνδια.

7.6. Κατεργασία μέσω διάχυσης ιόντων-στοιχείων μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού/Diffusion Treatment

Πρόκειται ουσιαστικά για θερμική κατεργασία με πολύ υψηλή θερμοκρασία (κοντά στο σημείο τήξης του ορυκτού) που εφαρμόζεται κυρίως σε κορούνδια, διαμάντια και σμαράγδια (Εικ.7.6). Η διαφορά είναι ότι σε αυτή την κατεργασία έχουμε εισχώρηση (κάποιες φορές και αφαίρεση) συγκεκριμένων στοιχείων-ιόντων στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών προκειμένου να εμφανίσει ο κρύσταλλος το επιθυμητό χρώμα (Hurlbut and Kammerling 1991). Έτσι, για τα μπλε ζαφείρια γίνεται εισχώρηση ιόντων Fe και Ti ενώ για τα κόκκινα ρουμπίνια γίνεται εισχώρηση ιόντων Cr (Hurlbut and Kammerling 1991). Για να γίνει η εισχώρηση των παραπάνω ιόντων στα κρυσταλλικά πλέγματα των ορυκτών θα πρέπει πρώτα να θερμανθούν σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο τήξης τους και στη συνέχεια να γίνει προσθήκη στο σχεδόν «χαλαρό» κρυσταλλικό πλέγμα των επιθυμητών χημικών στοιχείων ή ιόντων (Weldon 2016).

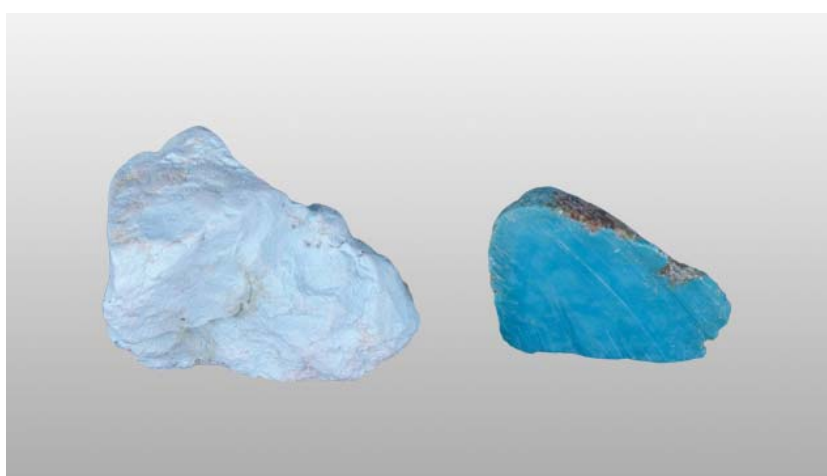


Εικόνα 7.6. Αποχρωμάτωση διαμαντιού μέσω διάχυσης ιόντων στο κρυσταλλικό του πλέγμα (Diffusion Treatment). (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

Όταν ολοκληρωθεί η παραπάνω κατεργασία, οι εξωτερικές επιφάνειες των κρυστάλλων μπορεί να έχουν καταστραφεί, επομένως, οι κρύσταλλοι θα πρέπει να υποστούν μια διαδικασία επαναστίλβωσης πριν διατεθούν στο εμπόριο. Όμως, αν στιλβωθούν σε έντονο βαθμό είναι πολύ πιθανό να μειωθεί η ένταση χρώματος από την κατεργασία του κρυστάλλου (Hurlbut and Kammerling 1991).

7.7. Πλήρωση πόρων/Colorless or Colored impregnations

Αυτή η κατεργασία βελτιώνει όχι μόνο το χρώμα των πολύτιμων λίθων αλλά και την εξωτερική τους επιφάνεια (Weldon 2016). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ορυκτά που έχουν σχετικά υψηλό πορώδες και χαρακτηρίζεται από την εισχώρηση/απορρόφηση διαφόρων ειδικών λαδιών-γυαλιστικών και κεριών τα οποία πληρώνουν τους πόρους των ορυκτών, τονώνουν το χρώμα τους και δίνουν την εντύπωση μια ομαλότερης επιφάνειας στον κρύσταλλο. Ορυκτά που υπόκεινται στην παραπάνω κατεργασία είναι: το τουρκουάζ (Εικ.7.7), Β ιαδεΐτης (B jade: Ιαδεΐτης μετά από τον αποχρωματισμό του με χημική κατεργασία) και ο χαλκηδόνιος /αχάτης (Hurlbut and Kammerling 1991). Το πρόβλημα αυτής της κατεργασίας είναι ότι οι παραπάνω ουσίες μπορούν εύκολα να φύγουν όταν εκτεθεί ο κρύσταλλος σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες ακόμα και λόγω τριβής από ειδικά πανάκια καθαρισμού (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 7.7. Σε πορώδη ορυκτά όπως είναι το τουρκουάζ μπορεί να γίνει εισχώρηση/απορρόφηση διαφόρων λαδιών ή κεριών που μπορούν να τονώσουν το χρώμα του ορυκτού. Στην εικόνα φαίνεται κρύσταλλος τουρκουάζ πριν και μετά την παραπάνω κατεργασία (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

7.8. Ακτινοβολία/Irradiation

Πρόκειται για μια σημαντική κατεργασία αλλαγής χρώματος στους πολύτιμους λίθους μέσω κυρίως ηλεκτρομαγνητικής (Εικ.7.12δ) ή υπεριώδους ακτινοβολίας (Hurlbut and Kammerling 1991). Μέσω αυτής της μεθόδου ιονίζονται τα χρωματικά κέντρα των ορυκτών και οι κρύσταλλοι μπορούν να εμφανίσουν μοναδικά χρώματα τα οποία σπάνια θα εμφάνιζαν υπό φυσικές συνθήκες ή με την εφαρμογή άλλων μεθόδων κατεργασίας. Ανάλογα με το ορυκτό, το κάθε είδος ακτινοβολίας έχει διαφορετικές επιπτώσεις στο χρώμα που μπορεί να εμφανίσει ο κρύσταλλος. Κάποιοι πολύτιμοι λίθοι μπορεί να φέρουν αλλαγές στο χρώμα τους μόνο από την επίδραση της ακτινοβολίας μια λάμπας δωματίου. Άλλα ορυκτά πρέπει να εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία προκειμένου να μεταβληθεί το χρώμα τους. Η κατεργασία πολύτιμων λίθων μέσω ακτινοβολίας έχει δύο βασικά προβλήματα (Hurlbut and Kammerling 1991):

- 1) Πολλές φορές τα αποτελέσματα της παραπάνω κατεργασίας δεν είναι μόνιμα και το χρώμα των κρυστάλλων εξασθενεί σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα ή κατά την έκθεση του σε λευκό φως της ημέρας.

2) Πολλές φορές η ακτινοβολία που εκπέμπουν οι κρύσταλλοι λόγω της επαναφοράς των διεγερμένων ιονισμένων χρωματικών κέντρων είναι βλαβερή.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα και εφαρμογές της παραπάνω κατεργασίας στους πολύτιμους λίθους.

- ❖ **Άχρωμη βήρυλλος:** Στη φύση υπάρχουν πολλοί κρύσταλλοι της ομάδας της βήρυλλου που δεν εμφανίζουν το χαρακτηριστικό τους πράσινο χρώμα. Αυτοί οι κρύσταλλοι, χωρίς την παραπάνω κατεργασία που μεταβάλλει το χρώμα τους στο πράσινο χρώμα του σμαραγδιού, δεν έχουν καμία γεμολογική αξία (Weldon 2016).
- ❖ Τεχνητά χρωματισμένα **κίτρινα και πορτοκαλί ζαφείρια** παράγονται μέσω ακτινοβολίας αλλά το χρώμα τους εξασθενεί σχετικά εύκολα όταν εκτεθεί ο κρύσταλλος σε λάμπες πυρακτώσεως (Weldon 2016).
- ❖ Πολλά **διαμάντια** εκτίθενται σε ακτίνες X και μεταβάλλουν το χρώμα τους σε πράσινες, μπλε ή μαύρες ποικιλίες ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που δέχονται. Πολλές φορές αυτή η μέθοδος ακολουθείται από θερμική κατεργασία προκειμένου να κατανεμηθεί ομοιόμορφα το χρώμα στον κρύσταλλο (Weldon 2016).
- ❖ **Άχρωμος χαλαζίας:** Πολλοί άχρωμοι κρύσταλλοι χαλαζία υπόκεινται σε ραδιενεργή ακτινοβολία προκειμένου να μετατραπούν σε ποικιλίες καπνία, αμέθυστου ή κιτρίνη (Weldon 2016).
- ❖ **Kunzite/Κουνζίτης:** Η ροζ ποικιλία κουνζίτη (ποικιλία σποδουμένη) μετατρέπεται σε μια πράσινη ποικιλία με τη βοήθεια ακτινοβολίας όπου τα ιόντα Mn^{+3} μετατρέπονται σε ιόντα Mn^{+4} . Το δείγμα τοποθετείται σε θάλαμο με ραδιενεργά ισότοπα ^{60}Co και το χρώμα του μεταβαίνει σε πράσινο το οποίο είναι αρκετά ασταθές και με την έκθεση του κρυστάλλου στο φως χάνεται ή ξεθωριάζει (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ **Μπλε τοπάζιο:** Πρόκειται για τον πιο συνηθισμένο πολύτιμο λίθο που υπόκειται σε ακτινοβολία και υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες στην αγορά. Μετά την έκθεση του κρυστάλλου σε ακτινοβολία ακολουθεί θερμική κατεργασία (Weldon 2016).
- ❖ **Τουρμαλίνης:** Ο τουρμαλίνης (Εικ.7.12β) όταν εμφανίζει ανοιχτά και όχι σκούρα και ελαιοπράσινα χρώματα μπορεί να εκτεθεί σε ακτινοβολία και να μεταβάλει το χρώμα του από κίτρινες - πράσινες αποχρώσεις σε κόκκινες – ροζ αποχρώσεις (Weldon 2016).



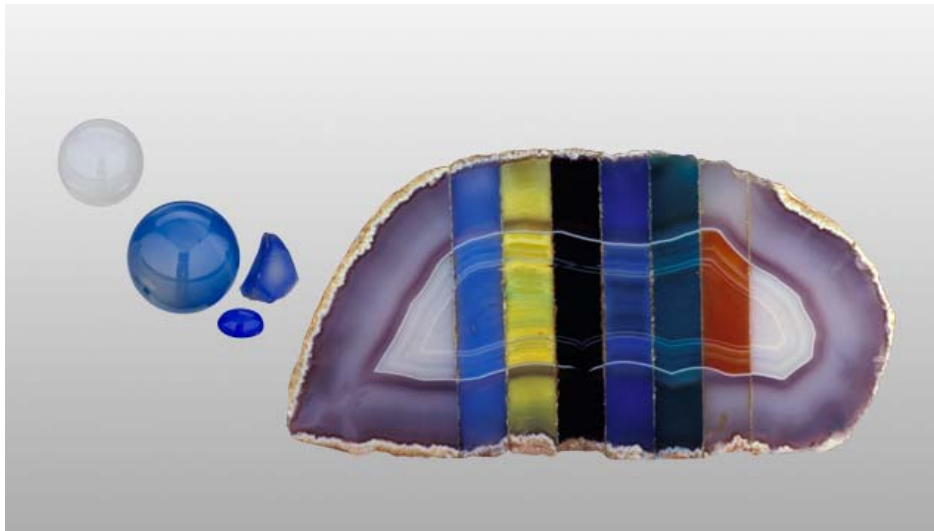
Εικόνα 7.8. Διαμάντια που έχει μεταβληθεί το χρώμα τους σε μεγάλη ποικιλία αποχρώσεων μέσω ακτινοβολίας. (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

7.9. Κατεργασία βαφής/Dyeing

Αυτή η μέθοδος έχει αντίθετα αποτελέσματα από το bleaching. Σκοπός αυτής της κατεργασίας είναι να τονίσει ή να αλλάξει το χρώμα των πολύτιμων λίθων μέσω χημικών διαλυμάτων (Hurlbut and Kammerling 1991). Εφαρμόζεται μόνο σε ορυκτά που έχουν σχετικά υψηλό πορώδες ώστε να μπορέσουν τα διαλύματα να κινηθούν μέσα στους πόρους και να παραμείνουν με αποτέλεσμα να αλλάξει το χρώμα του κρυστάλλου. Όπως και στην κατεργασία μέσω ακτινοβολίας έτσι και εδώ, τα αποτελέσματα δεν είναι πάντοτε μόνιμα και οι κρύσταλλοι χρειάζονται ειδική φροντίδα προκειμένου να διατηρηθεί το χρώμα τους (Hurlbut and Kammerling 1991). Ακολουθούν κάποια παραδείγματα και εφαρμογές της παραπάνω κατεργασίας στους πολύτιμους λίθους.

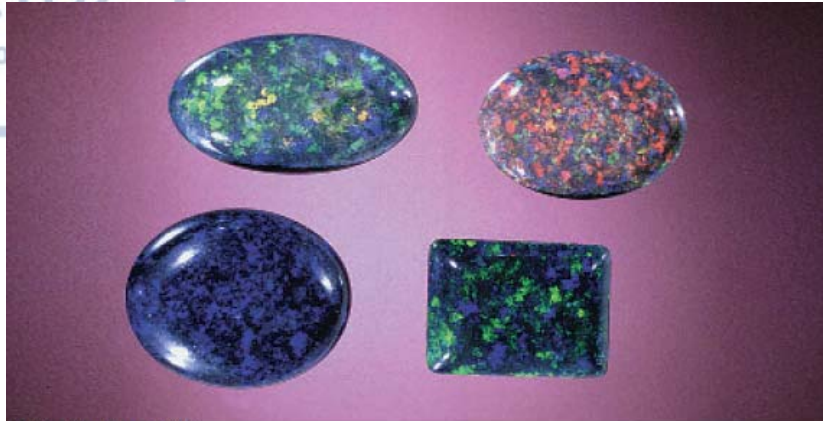
- ❖ Ειδικά 'κόκκινα' διαλύματα που εισχωρούν στους πόρους των ακατέργαστων **ρουμπινιών** και ενισχύουν το χρώμα τους. Το αποτέλεσμα δεν είναι μόνιμο και εξασθενεί με την πάροδο του χρόνου (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ Χημικά - χρωματικά διαλύματα σε **άχρωμους κρυστάλλους χαλαζία**. Ανάλογα με το χρώμα που θα δώσουμε στον κρύσταλλο χαλαζία χρησιμοποιείται ως απομίμηση σμαραγδιού ή ρουμπινιού. Το χρώμα που έχουν αυτές οι απομιμήσεις είναι αρκετά θαμπό και η παραπάνω κατεργασία είναι εύκολο να διαγνωστεί ακόμα και με γυμνό μάτι ή με λούπα (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ **Χαλκηδόνιος**: Διάφορα χημικά διαλύματα είναι ικανά να αλλάξουν το χρώμα στους χαλκηδόνιους (Εικ. 7.9) (Bauer 1968). Τα δείγματα εισάγονται σε ένα αρχικό- μόνιμο διάλυμα για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα που αποχρωματίζει τους πόρους του ορυκτού και στη συνέχεια εισάγονται σε ένα δεύτερο διάλυμα που περιέχει κάποιο μέταλλο (συνήθως Ni για τη δημιουργία χρυσοπράσιου) που εισχωρεί στους πόρους και χρωματίζει το ορυκτό κατάλληλα. Αντίστοιχη μέθοδος εφαρμόζεται και για τη δημιουργία μαύρου όνυχας, μόνο που σε αυτή την περίπτωση το χημικό

στοιχείο που θα δώσει το μαύρο χρώμα θα είναι ο άνθρακας και όχι το Ni όπως στην περίπτωση του χρυσοπράσιου.



Εικόνα 7.9. Αλλαγή χρώματος αχάτη σε διάφορες αποχρώσεις μέσω κατεργασίας βαφής (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

- ❖ **Ιαδεΐτης:** Είναι ο πιο συνηθισμένος πολύτιμος λίθος στον οποίο εφαρμόζεται η παραπάνω κατεργασία για να τονιστεί το χρώμα του. Ανάλογα με την ποικιλία ιαδεΐτη που έχουμε, αυτός μπορεί να βαφτεί πράσινος ή μωβ. Αντίστοιχα, ο νεφρίτης με την κατεργασία της βαφής μπορεί κάποιες φορές να αλλάξει το χρώμα το στο υψηλής ποιότητας πράσινο χρώμα του ιαδεΐτη (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ **Λάπις Λαζούλι:** Στη φύση αυτό το ορυκτό συνυπάρχει με ασβεστίτη. Επομένως, μέσω της παραπάνω κατεργασίας τονίζεται το χρώμα του ορυκτού καθώς τα χημικά διαλύματα μεταβάλλουν το χρώμα του ασβεστίτη έτσι ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στο χρώμα μεταξύ ορυκτού και εγκλεισμάτων (Hurlbut and Kammerling 1991).
- ❖ **Οπάλιος:** Η μέθοδος «smoke and sugar» σε συνδυασμό με άλλα χημικά διαλύματα, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της μορφής και των διαφόρων χρωματισμών που εμφανίζει ο οπάλιος. Κυρίως από λευκές – ανοιχτές αποχρώσεις αποκτάει πιο σκούρα χρώματα (Εικ. 7.10). Επιπλέον, ενισχύεται το χαρακτηριστικό φαινόμενο οπαλισμού του οπαλίου (Hurlbut and Kammerling 1991).



Both by Tino Hammid/GIA

Εικόνα 7.10. Κρύσταλλοι οπάλιου μετά την κατεργασία «smoke and sugar».

- ❖ **Κοράλλι:** Τεχνητές χημικές ουσίες μπορούν να τονίσουν το χρώμα στα κοράλλια και στις 'πάστες' κοραλλιού με αποτέλεσμα να γίνουν πιο επιθυμητά στην αγορά των πολύτιμων λίθων (Weldon 2016) (Εικ. 7.11).



Εικόνα 7.11. Αριστερά: Κοράλλι που αποχρωματίστηκε μέσω της κατεργασίας bleaching, Δεξιά: Κοράλλι που χρωματίστηκε μέσω κατεργασίας βαφής (<https://www.gia.edu/gem-treatment>).

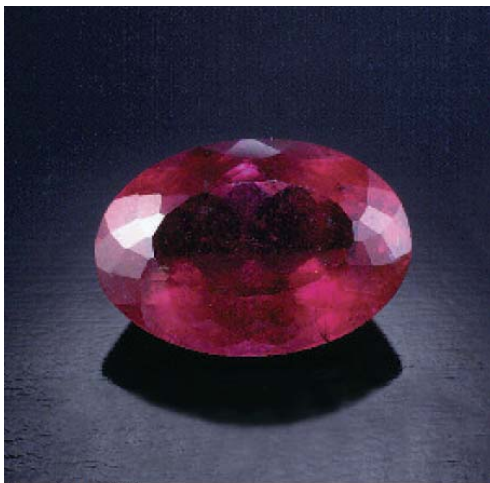


Both by Tino Hammid/GIA

Both by Maha Tannous/GIA

(α)

(β)



Robert Weldon/GIA

(γ)



Robert Weldon/GIA

(δ)

Εικόνα 7.12. α) Σμαράγδι πριν και μετά την κατεργασία πλήρωσης μικρορωγμών β) Ζαφείρι πριν και μετά την έκθεση του σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γ) Έντονο χρώμα τουρμαλίνη μετά την κατεργασία του μέσω ακτινοβολίας δ) Μπλε- πράσινο ζirkόνιο από την Κολομβία που έχει αποκτήσει το χρώμα του μετά από θερμική κατεργασία.

8. ΧΡΩΜΟΦΟΡΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΥΤΙΜΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ

Στους πολύτιμους λίθους ίχνη ορισμένων χημικών στοιχείων στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού μπορεί να επιφέρουν αλλαγές στο χρώμα ή και στην εμφάνιση των κρυστάλλων. Αυτά τα στοιχεία ονομάζονται χρωμοφόρα. Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα ορυκτά στο γενικό χημικό τους τύπο δεν φέρουν χρωμοφόρα στοιχεία/ίοντα με αποτέλεσμα, τις περισσότερες φορές το χρώμα τους να οφείλεται σε διάφορα χρωματικά κέντρα (color centers) (Fritsch and Rossinun 1988). Τα χρωματικά κέντρα είναι ατέλειες του κρυσταλλικού πλέγματος και χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες κενές θέσεις ατόμων που καταλαμβάνονται από διάφορα ιόντα τα οποία δεν υπάρχουν στο γενικό χημικό τύπο του ορυκτού και είναι υπεύθυνα για το χρώμα που εμφανίζει ο κρύσταλλος. Όμως, αυτό που έχει απασχολήσει ιδιαίτερα τους επιστήμονες είναι η προέλευση αυτών των χρωματικών κέντρων. Μερικές φορές προέρχονται από μετακινήσεις ή μεταπτώσεις ατόμων ή αντίστοιχα ηλεκτρονίων μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού λόγω έκθεσης του σε ακτινοβολία ή υψηλές θερμοκρασίες ενώ άλλες φορές η προέλευση μπορεί να σχετίζεται με πιο απλές διεργασίες όπως είναι η απορρόφηση διαλυμάτων ή οι αντικαταστάσεις/προσμίξεις ιόντων στο πλέγμα του ορυκτού (Fritsch 2010). Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα παρουσίας χρωματικών κέντρων σε πολύτιμους λίθους είναι τα εξής:

- ❖ **Ιαδεΐτης:** Ο ιαδεΐτης ανήκει στην ομάδα των πυροξένων και ο χημικός του τύπος είναι ο εξής: $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$. Κανένα από τα στοιχεία του Na, Al και Si δεν προσδίδουν κάποιο ιδιαίτερο χρώμα ή κάποια απόχρωση στο ορυκτό. Επομένως, ένας τυπικός-καθαρός από ιχνοστοιχεία ιαδεΐτης θα έπρεπε να ήταν άχρωμος. Όμως πολύ συχνά παρατηρείται ένα χαρακτηριστικό κιτρινοπράσινο χρώμα (παρόμοιο με αυτό της βηρύλλου) σε πολύτιμες ποικιλίες αυτού του ορυκτού. Το χρώμα αυτό οφείλεται σε μερική ή ολική αντικατάσταση του Al^{+3} από το ιχνοστοιχείο Cr^{+3} στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Rossman 1981).
- ❖ **Τουρκουάζ:** Το ορυκτό τουρκουάζ αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της ομάδας των ορυκτών του χαλκού και έχει τον εξής χημικό τύπο: $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8$. Το μπλε-γαλάζιο χρώμα του οφείλεται στην ύπαρξη του χημικού στοιχείου Cu στο κρυσταλλικό του πλέγμα (Rossman 1981).
- ❖ **Βήρυλλος:** Η βήρυλλος ανήκει στην ομάδα των κυκλοπυριτικών ορυκτών και κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα. Ο γενικός της χημικός τύπος είναι ο εξής: $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Ένας κρύσταλλος βηρύλλου που είναι καθαρός από ιχνοστοιχεία και η δομή του υπακούει μόνο στο παραπάνω χημικό τύπο είναι άχρωμος διότι κανένα από τα παραπάνω χημικά στοιχεία δεν είναι ικανά να αποδώσουν το χαρακτηριστικό έντονο πράσινο χρώμα της βηρύλλου. Επομένως, στα σμαράγδια το χρώμα οφείλεται σε μερική αντικατάσταση των ιόντων Al^{+3} από Cr^{+3} ενώ σε ορυκτά ποικιλίας άκουαμαρίνα γίνεται αντικατάσταση Al^{+3} με ιόντα Fe^{+3} ή Fe^{+2} (Thompson et al. 2017).

- ❖ **Ρουμπίνια-Ζαφείρια:** Τα ρουμπίνια και τα ζαφείρια ανήκουν στην ευρύτερη ομάδα του κορούνδιου. Η γενική χημική τους σύσταση είναι η εξής: Al_2O_3 . Όμως το αργίλιο ως χημικό στοιχείο ενωμένο με το οξυγόνο δεν είναι ικανό να αποδώσει το βαθύ κόκκινο χρώμα του ρουμπινιού ή το μπλε χρώμα του ζαφειριού (Emmett et al. 2017). Επομένως, το χρώμα στα ρουμπίνια οφείλεται στη μερική αντικατάσταση του Al^{+3} από Cr^{+3} ενώ στα ζαφείρια το χρώμα οφείλεται σε ίχνη Fe και Ti στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού.
- ❖ **Ροζ χαλαζίας:** Ο ροζ χαλαζίας αποτελεί επίσης μια πολύτιμη ποικιλία της ομάδας των ορυκτών του χαλαζία και το χαρακτηριστικό ρόδινο χρώμα του οφείλεται στην μερική αντικατάσταση Si^{+4} των πυριτικών τετραέδρων από Ti^{+4} . Στο κρυσταλλικό πλέγμα του ροζ χαλαζία πολύ συχνά εντοπίζονται ίχνη Mg και Mn που ενισχύουν το ρόδινο χρώμα του (Θεοδωρίκας 2013).
- ❖ **Τουρμαλίνης:** Το χρώμα στους περισσότερους τουρμαλίνες που έχουν μπλε/κυανές αποχρώσεις οφείλεται κυρίως στην παρουσία ιχνοστοιχείων Fe^{+2} στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Rossman 2009). Οι ροζ και οι κίτρινες αποχρώσεις οφείλονται στην παρουσία ιόντων Mn^{+2} και Ti^{+4} . Μία ιδιαίτερα φημισμένη ποικιλία τουρμαλίνη με το όνομα Paraiba που ανακαλύφθηκε το 1988 οφείλει το χαρακτηριστικό κυανό χρώμα της και την γαλάζια της λάμψη σε διάφορα μικροσκοπικά εγκλείσματα Cu (Rossman 2009).
- ❖ **Τουρμαλίνης του Μαλάουι:** Ο τουρμαλίνης ως ορυκτό χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Η χημική του σύσταση είναι η εξής: $(\text{Na,Al,Fe,Mg,Li})\text{B}(\text{SiO}_4)\text{OH}$. Η ποικιλία από το Μαλάουι έχει μια χαρακτηριστική κίτρινη χροιά που την καθιστά μια από τις σπανιότερες ποικιλίες του τουρμαλίνης (ανακαλύφθηκε το 2000) (Χρυσανθάκη 2005). Το χρώμα αυτής της ποικιλίας οφείλεται σε αυξημένη ποσότητα Mg στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Τανζανίτης (Ζοϊσίτης):** Ανήκει στην κατηγορία των σωροπυριτικών ορυκτών, κρυσταλλώνεται στο ρομβικό, σπάνια στο μονοκλινές σύστημα, και έχει χημικό τύπο $\text{Ca}_2(\text{OH})\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3$. Ο τανζανίτης εμφανίζει μια χαρακτηριστική ιώδη απόχρωση, σε πολλές περιπτώσεις και μπλε, που την οφείλει σε ιόντα V^{+3} που αντικαθιστούν τα ιόντα Al^{+3} στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Φθορίτης:** Ο φθορίτης αποτελεί χαρακτηριστικό ορυκτό του κυβικού συστήματος, με μικρή σκληρότητα, 4 στην κλίμακα Mohs, και έχει την εξής χημική σύσταση: CaF_2 . Εμφανίζεται σε διάφορα χρώματα στη φύση και πολλές φορές χρησιμοποιείται ως απομίμηση αμέθυστου. Το καστανό χρώμα του οφείλεται κυρίως σε εγκλείσματα πετρελαίου ή βιτουμενιούχα συστατικά. Η ροζ/ιώδη πολύτιμη ποικιλία του οφείλεται σε ιχνοστοιχεία Mn που εγκλωβίζει στο κρυσταλλικό του πλέγμα. (Θεοδωρίκας 2013)
- ❖ **Αλεξανδρίτης:** Ο αλεξανδρίτης αποτελεί χαρακτηριστικό ορυκτό της ομάδας της χρυσοβηρύλλου. Έχει χημικό τύπο BeAlO_4 (Χρυσανθάκη 2005) και εμφανίζει το

σπάνιο φαινόμενο color change ή φαινόμενο αλεξανδρίτη. Πολλοί ερευνητές απέδειξαν ότι το φαινόμενο αλλαγής του χρώματός του οφείλεται σε αντικατάσταση των ιόντων Al^{+3} από ιόντα Cr^{+3} (Anderson et al. 2000).

- ❖ **Γκανίτης:** Ο γκανίτης ανήκει στην ομάδα των σπινελίων και κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα. Έχει μπλε/κυανό χρώμα με χημικό τύπο $AlMgO_4$ και το χρώμα του οφείλεται σε αντικατάσταση ιόντων Al^{+3} από ιόντα Zn^{+3} (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Αμαζονίτης:** Ο αμαζονίτης είναι ένα τεκτοपुरιτικό ορυκτό και ανήκει στην ομάδα των K- αστρίων ($KAlSi_3O_8$). Το χρώμα του είναι κυανό/πράσινο/λευκό και οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητά του σε άτομα Pb και μόρια H_2O (Χρυσανθάκη 2005). Το όνομα του το πήρε από τον ποταμό Αμαζόνιο λόγω της μεγάλης εμφάνισής του σε εκείνη την περιοχή.
- ❖ **Χρωμιούχος διοψίδιος:** Ο χρωμιούχος διοψίδιος αποτελεί μια πολύτιμη ποικιλία πυροξένων που κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα. Η χημική του σύσταση είναι η εξής: $Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$. Το πράσινο χρώμα του οφείλεται στην ύπαρξη Cr_2O_3 στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Ιόλιθος:** Ο ιόλιθος κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα και έχει την εξής χημική σύσταση: $Al_3(Mg,Fe)_2(Si_5Al)O_{18}$. Εμφανίζει μπλε/κυανό χρώμα και πολύ συχνά χρησιμοποιείται ως απομίμηση ζαφειριού με τον όρο water sapphire. Η ένταση του χρώματος του μεταβάλλεται ανάλογα με την αναλογία Mg:Fe που περιέχει (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Γρανάτης:** Ο γενικός χημικός τύπος ενός γρασσουλάριου είναι ο εξής: $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$. Κανένα από τα παραπάνω χημικά στοιχεία του χημικού του τύπου δεν είναι ικανά να αποδώσουν κάποιο ιδιαίτερο χρώμα στις διάφορες ποικιλίες του γρανάτη. Όμως, κάποιες προσμίξεις ιόντων V^{+3} και Cr^{+3} μπορούν να μετατρέψουν την άχρωμη αυτή ποικιλία γρανάτη στην πράσινη πολύτιμη ποικιλία του γρασσουλάριου (Rossman 2009). Αντίστοιχα, ένας άλλος γρανάτης με γενικό χημικό τύπο $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ που ονομάζεται ανδρανδίτης, εμφανίζει ωχρό/πράσινο χρώμα αλλά λόγω της παρουσίας ιχνοστοιχείων Ti^{+4} σε συνδυασμό με την παρουσία σιδήρου, μπορεί να μεταβάλει το χρώμα του σε σκούρο καστανό (Rossman 2009).
- ❖ **Ροδοχρωσίτης/Ροδονίτης:** Ο ροδοχρωσίτης και ο ροδονίτης είναι από τα λίγα ορυκτά στη φύση που εμφανίζουν ροζ χρώμα. Και τα δύο ορυκτά οφείλουν το χρώμα τους στην ύπαρξη ατόμων Mn στο κρυσταλλικό τους πλέγμα. Ο ροδοχρωσίτης ανήκει στην ομάδα των ανθρακικών ορυκτών με χημικό τύπο $MnCO_3$ και κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα, ενώ ο ροδονίτης ανήκει στην ομάδα των πυριτικών ορυκτών με χημικό τύπο $MnSiO_3$ και κρυσταλλώνεται στο τρικλινές σύστημα (Θεοδωρίκας 2013).
- ❖ **Αχάτης:** Ο αχάτης αποτελεί μια από τις πιο συνηθισμένες μικροκρυσταλλικές ποικιλίες χαλαζία. Εμφανίζεται με ζώνες διαφορετικών χρωμάτων και κυρίως

οφείλει τους χρωματισμούς του στην ύπαρξη ιόντων Fe και Mn στο κρυσταλλικό του πλέγμα (Michalski and Foord 2005).

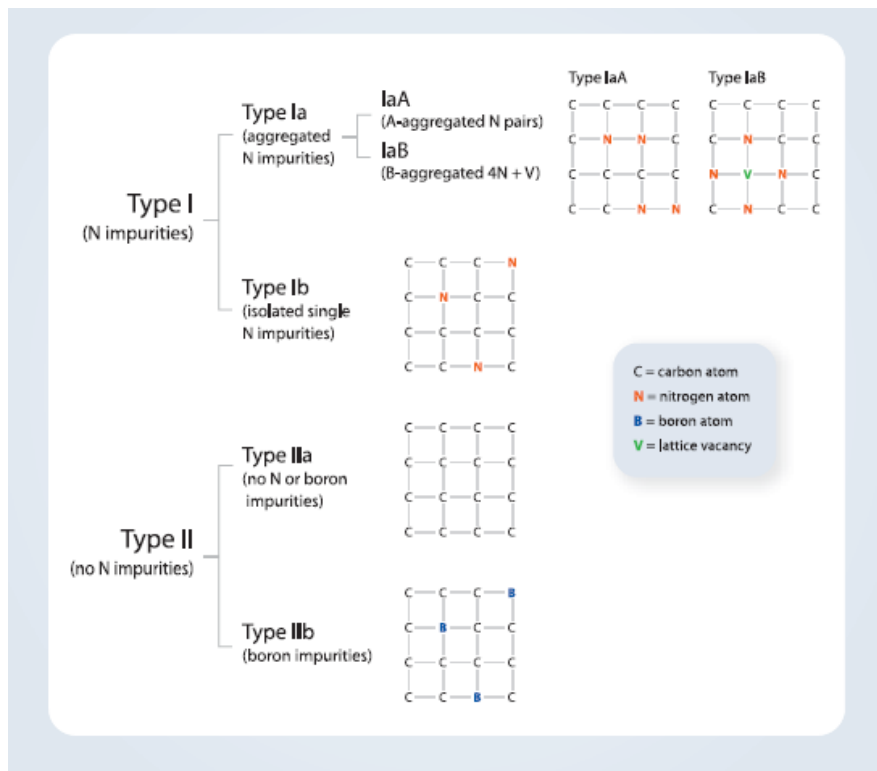
- ❖ **Πολύτιμη/Κίτρινη ποικιλία Ορθοκλάστου:** Το ορθόκλαστο ανήκει στην κατηγορία των τεκτοπυριτικών ορυκτών και πιο συγκεκριμένα στην ομάδα των K-ούχων αστρίων. Έχει το χημικό τύπο $(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ και κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα. Εμφανίζει κίτρινο χρώμα λόγω ύπαρξης ατόμων Fe στο κρυσταλλικό του πλέγμα τα οποία αντικαθιστούν το στοιχείο Al (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Χρυσοπράσιος:** Ο χρυσοπράσιος αποτελεί χαρακτηριστική ποικιλία χαλκηδόνιου (μικροκρυσταλλικός χαλαζίας) και εμφανίζει πράσινο χρώμα λόγω ύπαρξης ατόμων Ni στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Χρυσανθάκη 2005).
- ❖ **Καπνίας:** Ο καπνίας αποτελεί μια γνωστή διαφανής-ημιδιαφανής πολύτιμη ποικιλία της ομάδας των ορυκτών του χαλαζία. Το χαρακτηριστικό καστανό-μαύρο χρώμα του είναι δομημένο κατά ζώνες μέσα στον κρύσταλλο (όπως ακριβώς και στον αμέθυστο) και οφείλεται στην ύπαρξη ελεύθερων ατόμων Si λόγω έκθεσης του κρυστάλλου σε ραδιενεργή ακτινοβολία (Rossman 1981). Ο καπνίας ενδέχεται να περιέχει και προσμείξεις ατόμων Li, Ti, Fe, Mn και Al (Θεοδωρίκας 2013).
- ❖ **Αμέθυστος/Κιτρίνης/Αμετρίνης:** Ο αμέθυστος και ο κιτρίνης είναι χαρακτηριστικές ποικιλίες μακροκρυσταλλικού χαλαζία που κρυσταλλώνονται στο τριγωνικό σύστημα. Ο αμέθυστος φέρει ιώδες χρώμα και ο κιτρίνης κίτρινο χρώμα. Και τα δύο ορυκτά οφείλουν το χρώμα τους στην ύπαρξη ιόντων του Fe (Nassau 1981). Η διαφορά τους είναι ότι ο αμέθυστος σχηματίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ενώ ο κιτρίνης σε υψηλότερες. Μέσω διαφόρων κατεργασιών (κυρίως θέρμανσης) ο αμέθυστος μπορεί να μετατραπεί σε κιτρίνη. Ο αμετρίνης αποτελεί μια ενδιάμεση ποικιλία αμέθυστου και κιτρίνης, δηλαδή αποτελείται από 50% αμέθυστο και 50% κιτρίνη (Θεοδωρίκας 2013).
- ❖ **Kunzite/Κουνζίτης:** Ο πολύτιμος λίθος κουνζίτης αποτελεί ποικιλία του ορυκτού σποδουμένης. Κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα και έχει τον εξής χημικό τύπο: $\text{LiAlSi}_4\text{O}_6$. Σύμφωνα με τον παραπάνω χημικό τύπο ο κουνζίτης θα έπρεπε να εμφανίζεται άχρωμος στη φύση διότι κανένα από τα παραπάνω χημικά στοιχεία δεν είναι ικανά να του δώσουν κάποιο ιδιαίτερο χρώμα. Όμως, ο κουνζίτης εμφανίζεται στη φύση κυρίως σε δύο διαφορετικές αποχρώσεις (Rossman 1981). Η πρώτη ροζ απόχρωση οφείλεται στην ύπαρξη ιχνοστοιχείων Mg που αντικαθιστούν το Al στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού, ενώ η δεύτερη πράσινη απόχρωση οφείλεται στην ύπαρξη ιχνοστοιχείων Cr που αντικαθιστούν πάλι το Al στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού (Rossman 1981).
- ❖ **Διαμάντι:** Τα διαμάντια κρυσταλλώνονται στο κυβικό σύστημα και αποτελούνται από άτομα άνθρακα τα οποία σχηματίζουν τετράεδρα στον τρισδιάστατο χώρο (Breeding and Shigley 2009). Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, διαμάντια τύπου I και διαμάντια τύπου II, ανάλογα με τις προσμίξεις/αντικαταστάσεις ατόμων

(Εικ.8.1) που μπορεί να λαμβάνουν χώρα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα (Breeding and Shigley 2009).

Διαμάντια Τύπου I: Τα διαμάντια τύπου I περιέχουν άτομα αζώτου (N) στο κρυσταλλικό τους πλέγμα τα οποία αντικαθιστούν σε κύριες θέσεις τα άτομα του άνθρακα (C). Τα διαμάντια τύπου I χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες: (Breeding and Shigley 2009)

Διαμάντια τύπου Ia: Στα διαμάντια τύπου Ia τα άτομα N τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού. Για παράδειγμα στα διαμάντια τύπου IaA τα άτομα αζώτου τοποθετούνται ανά δύο το ένα δίπλα στο άλλο καλύπτοντας κάποιες κύριες θέσεις ατόμων (C) στο κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού. Στα διαμάντια τύπου IaB τα άτομα αζώτου καταλαμβάνουν 4 κύριες θέσεις ατόμων C σχηματίζοντας στο επίπεδο ένα σταυρό, στο κέντρο του οποίου υπάρχει μια κενή θέση. Σε αυτού του τύπου τα διαμάντια η ύπαρξη ατόμων (N) δεν επηρεάζει το χρώμα του κρυστάλλου (Breeding and Shigley 2009).

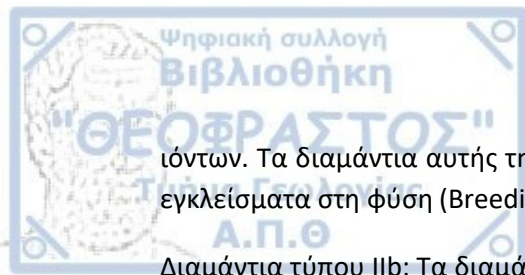
Διαμάντια τύπου Ib: Στα διαμάντια τύπου Ib τα άτομα N αντικαθιστούν τα άτομα C στις κύριες θέσεις τους και είναι απομονωμένα το ένα σε σχέση με το άλλο. Τα διαμάντια αυτού του τύπου εμφανίζουν κίτρινο/καφέ χρώμα και η ένταση τους μεταβάλλεται ανάλογα με το πλήθος των ατόμων (N) (Breeding and Shigley 2009).



Εικόνα 8.1. Μορφή κρυσταλλικού πλέγματος διαφόρων τύπων διαμαντιού (Breeding and Shigley 2009).

Διαμάντια τύπου II: Τα διαμάντια τύπου II δεν περιέχουν καθόλου προσμίξεις ατόμων N και χωρίζονται και αυτά σε δύο υποκατηγορίες (Breeding and Shigley 2009):

Διαμάντια τύπου IIa: Το κρυσταλλικό πλέγμα των διαμαντιών τύπου IIa αποτελείται μόνο από άτομα C χωρίς να φέρουν προσμίξεις ή αντικαταστάσεις άλλων χημικών στοιχείων ή



ιόντων. Τα διαμάντια αυτής της κατηγορίας είναι συνήθως άχρωμα και σπάνια εμφανίζουν εγκλείσματα στη φύση (Breeding and Shigley 2009).

Διαμάντια τύπου IIb: Τα διαμάντια τύπου IIb περιέχουν μόνο άτομα Β στο κρυσταλλικό τους πλέγμα τα οποία αντικαθιστούν τα άτομα C στις κύριες θέσεις τους. Τα διαμάντια αυτού του τύπου είναι αρκετά σπάνια και εμφανίζουν μπλε/κυανό χρώμα (Breeding and Shigley 2009).

Mixed τύπου διαμάντια: Τα διαμάντια mixed τύπου μπορεί να αποτελούν ένα συνδυασμό των παραπάνω κατηγοριών ή μπορεί να φέρουν προσμείξεις διαφόρων ατόμων ή ιόντων που δεν καλύπτουν κύριες θέσεις ατόμων C αλλά εγκλωβίζονται σε θέσεις “παγίδες” (traps) του κρυσταλλικού πλέγματος (Breeding and Shigley 2009).

9. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ.

Πολλοί από τους γνωστούς πολύτιμους λίθους όπως το διαμάντι, το κορούνδιο, το σμαράγδι, ο αλεξανδρίτης, ο αμέθυστος, ο οπάλιος κ.α. μπορούν να κατασκευαστούν μέσω εργαστηριακών μεθόδων. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένας κρύσταλλος π.χ. διαμαντιού με ακριβώς την ίδια χημική σύσταση, κρυσταλλική δομή και φυσικές/οπτικές ιδιότητες, όπως ένας φυσικός κρύσταλλος διαμαντιού. Μια από τις δύσκολες αρμοδιότητες ενός γεωλόγου είναι να μπορεί να διακρίνει τους φυσικούς από τους συνθετικούς πολύτιμους λίθους. Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι οι συνθετικοί πολύτιμοι λίθοι διαφέρουν από τις απομιμήσεις πολύτιμων λίθων (πρόκειται για προσομοιώσεις) και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να θεωρηθούν αυτές οι δύο έννοιες ταυτόσημες (Hurlbut and Kammerling 1991).

Η ανάπτυξη συνθετικών κρυστάλλων μπορεί να γίνει μέσω δύο βασικών τεχνικών ανάλογα με τη μορφή των αρχικών συστατικών που θα δώσουν τους κρυστάλλους κατά τη στερεοποίηση τους. Επομένως, οι κρύσταλλοι μπορούν να προκύψουν είτε από ανάπτυξη – κρυστάλλωση τηγμάτων (melt growth) είτε από την ανάπτυξη – κρυστάλλωση διαλυμάτων (solution growth).

9.1. Κρυστάλλωση μέσω τηγμάτων/Melt growth

Πρόκειται για τήγματα που έχουν ακριβώς την ίδια χημική σύσταση με τον επιθυμητό συνθετικό κρύσταλλο που θέλουμε να δημιουργήσουμε. Από εκεί και πέρα έχουμε δύο βασικές διεργασίες ανάλογα με τον τρόπο που λιώνει το τήγμα και με τον τρόπο που στερεοποιείται για τη δημιουργία του επιθυμητού κρυστάλλου (Hurlbut and Kammerling 1991).

1) Τήξη σε φλόγα/Flame fusion/Verneuil process

Πρόκειται για την πρώτη εμπορικά πετυχημένη μέθοδο δημιουργίας συνθετικών πολύτιμων λίθων. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, κονιοποιημένες χημικές ενώσεις θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, τήκονται και καθιζάνουν στον πυθμένα όπου τελικώς κρυσταλλοποιούνται (Εικ.9.1&9.2) και δημιουργούν συνθετικούς πολύτιμους λίθους. Σήμερα αυτή η μέθοδος θεωρείται η πιο φτηνή και συνηθισμένη για την κατασκευή συνθετικών κρυστάλλων κορούνδιου και σπινέλιου (Hurlbut and Kammerling 1991).

2) Σταδιακή κρυστάλλωση/Crystal pulling or Czochralski process

Η σταδιακή κρυστάλλωση προτάθηκε στις αρχές του 1900. Σε αυτή τη μέθοδο τα συστατικά, χημικά στοιχεία και ενώσεις, που χρειάζονται για την δημιουργία του συνθετικού πολύτιμου λίθου τήκονται μέσα σε ένα χωνευτήριο (Εικ.9.2) (Hurlbut and Kammerling 1991). Στη συνέχεια κρυσταλλώνεται το ορυκτό από ένα λεγόμενο 'σπόρο' ο οποίος είναι βυθισμένος στο υγρό διάλυμα και αποκτά σταδιακά κρυσταλλική μορφή. Μέσω αυτής της μεθόδου παράγονται οι εξής πολύτιμοι λίθοι: αλεξανδρίτης, χρυσοβήρυλλος, κορούνδιο και γρανάτης (Hurlbut and Kammerling 1991).

9.2. Κρυστάλλωση μέσω διαλυμάτων/Solution growth

Σε αυτή τη γενική μέθοδο τα επιθυμητά συστατικά διαλύονται με τη βοήθεια κάποιου διαλύτη (όπως ακριβώς διαλύεται η ζάχαρη στο νερό) και κάτω από υψηλή πίεση και θερμοκρασία εξατμίζεται ο διαλύτης και σχηματίζεται ο επιθυμητός κρύσταλλος (Hurlbut and Kammerling 1991). Αν ο διαλύτης είναι το νερό, τότε ο επιθυμητός κρύσταλλος δημιουργείται μέσω της μεθόδου υδροθερμικής ανάπτυξης (hydrothermal growth), ενώ αν χρησιμοποιηθεί διαφορετικός διαλύτης, διότι όλες οι ουσίες δεν διαλύονται στο νερό, τότε ο επιθυμητός κρύσταλλος θα σχηματιστεί μέσω της μεθόδου ανάπτυξης μέσω τήξης (flux growth) (Hurlbut and Kammerling 1991).

1) Ανάπτυξη μέσω τήξης/Flux growth

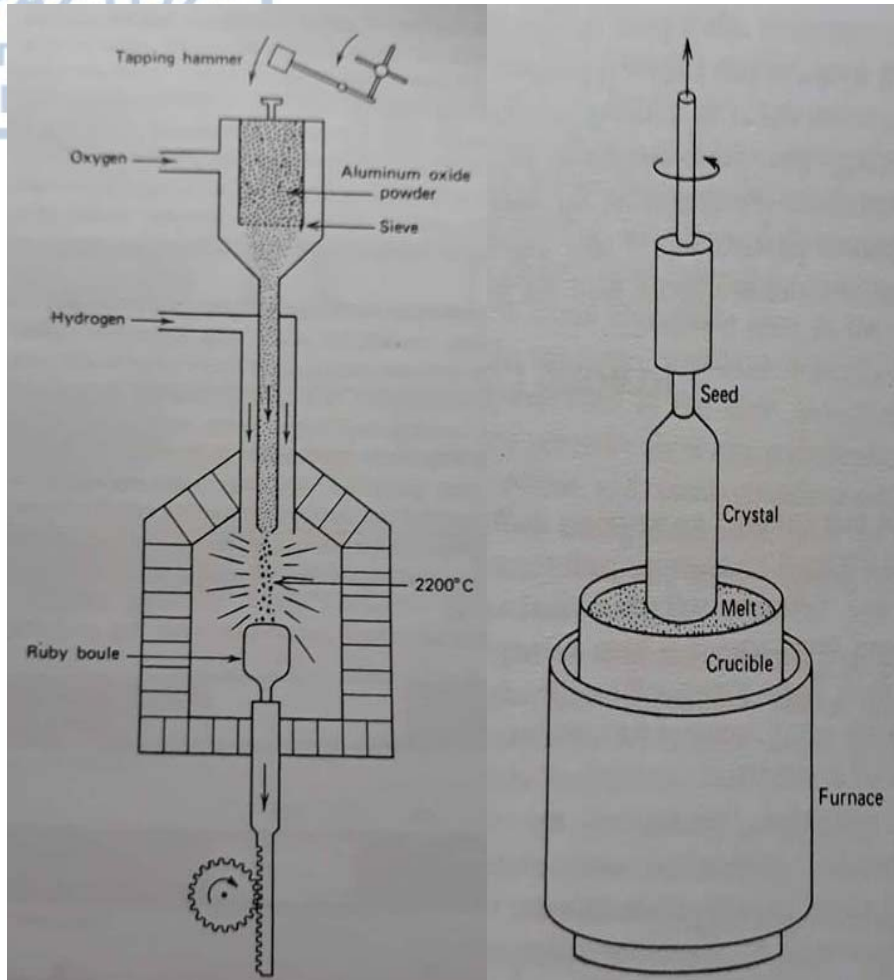
Σήμερα πολλοί συνθετικοί πολύτιμοι λίθοι όπως το σμαράγδι, το ρουμπίνι, το ζαφείρι, ο αλεξανδρίτης και ο σπινέλιος μπορούν να δημιουργηθούν με τη μέθοδο ανάπτυξης μέσω τήξης. Ένα αρχικό στερεό υλικό, που περιέχει τα συστατικά που χρειάζονται για τη δημιουργία του επιθυμητού κρυστάλλου, διαλύεται μέσα σε κάποιο διαλύτη όπως ακριβώς διαλύεται η ζάχαρη στο νερό (Hurlbut and Kammerling 1991). Στη συνέχεια το διάλυμα ψύχεται και δημιουργούνται οι συνθετικοί κρύσταλλοι (Εικ.9.4). Αυτή η μέθοδος απαιτεί μεγάλο κόστος χρημάτων και μεγάλο χρονικό διάστημα κρυστάλλωσης (περίπου 1 χρόνο) αλλά έχει πολύ καλά αποτελέσματα ειδικά όταν πρόκειται για το σχηματισμό συνθετικών κρυστάλλων σμαραγδιού (Hurlbut and Kammerling 1991).



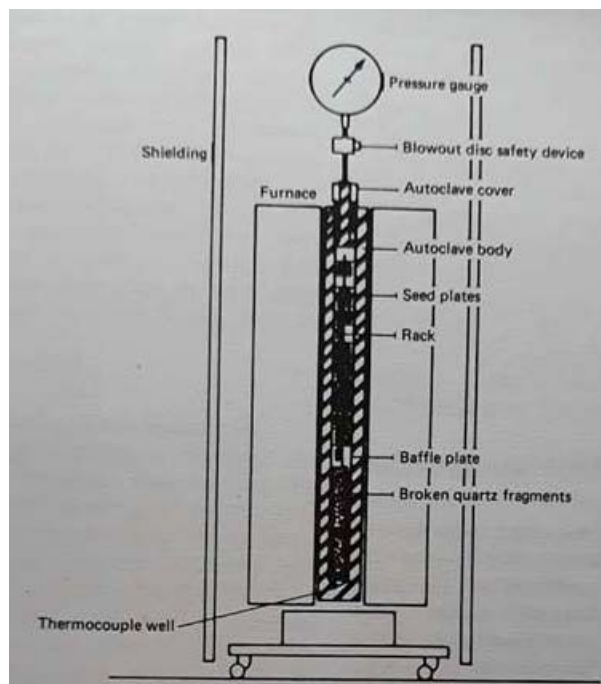
Εικόνα 9.1. Αριστερά: Χημικό διάλυμα σε flux growth μέθοδο για σχηματισμό συνθετικών ρουμπινιών, Δεξιά: Μηχάνημα για flame – fusion μέθοδο.

2) Υδροθερμική ανάπτυξη κρυστάλλων/Hydrothermal growth

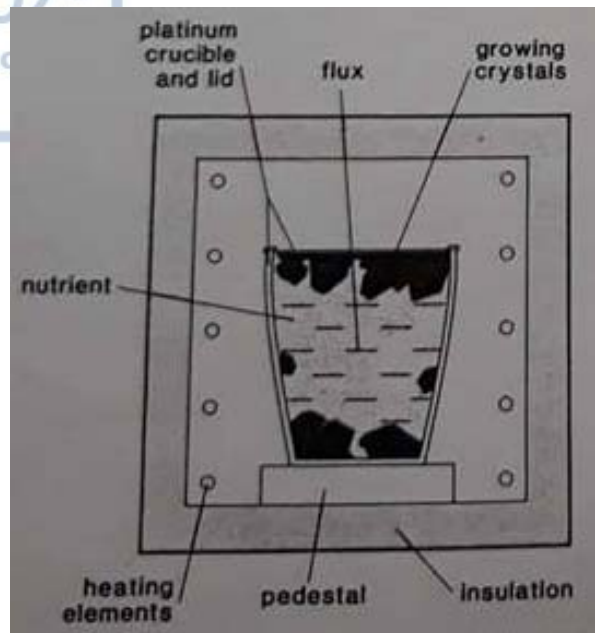
Όπως και η μέθοδος ανάπτυξης μέσω τήξης έτσι και η υδροθερμική ανάπτυξη κρυστάλλων αποτελεί μια πολύ ακριβή και χρονοβόρα μέθοδο. Επιπλέον είναι η μόνη πλέον αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδο δημιουργίας συνθετικών κρυστάλλων χαλαζία (Hurlbut and Kammerling 1991). Σε αυτή τη διεργασία απαιτούνται πολύ υψηλές τιμές πίεσης και θερμοκρασίας διότι αποτελεί μια προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν στα κατώτερα στρώματα της γης όπου σχηματίζονται οι κρύσταλλοι μέσω της κλασματικής κρυστάλλωσης (Εικ.9.3&9.5). Τα συστατικά που απαιτούνται για τη δημιουργία του επιθυμητού πολύτιμου λίθου είναι διαλυμένα σε νερό και οι κρύσταλλοι δημιουργούνται κατά την ψύξη του συστήματος (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 9.2. Αριστερά: Σκίτσο δομής συστήματος σε Verneuil process, Δεξιά: Σκίτσο δομής συστήματος σε Czochralski process (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 9.3. Σκίτσο δομής συστήματος σε υδροθερμική ανάπτυξη (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 9.4. Σκίτσο δομής συστήματος σε ανάπτυξη μέσω τήξης (Hurlbut and Kammerling 1991).



Εικόνα 9.5. Συλλογή συνθετικών κρυστάλλων χαλαζία από υδροθερμική μέθοδο (Kurt Nassau/GIA).

10. ΑΠΟΜΙΜΗΣΕΙΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ

Απομιμήσεις πολύτιμων λίθων χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα υλικά (φυσικά ή συνθετικά) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα πολύτιμων λίθων χωρίς όμως να έχουν καμία κοινή φυσική ή χημική ιδιότητα παρόμοια με το ορυκτό στο οποίο φαινομενικά μοιάζουν (<https://www.gia.edu/gem-imitation#item-1>).

Από την αρχαιότητα κιόλας ο άνθρωπος προσπάθησε να δημιουργήσει διάφορες απομιμήσεις πολύτιμων λίθων για διακοσμητικούς σκοπούς. Ευρήματα από τους αρχαίους πολιτισμούς έδειξαν ότι οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν κεραμικά υλικά τα οποία επεξεργάζονταν καταλλήλως για να προσομοιώσουν διάφορους μη διαφανείς πολύτιμους λίθους όπως: λάπις λαζούλι, όνυχας, ίασπις, τουρκουάζ κ.α. (Hurlbut and Kammerling 1991). Αργότερα, λίγο πριν από τους ρωμαϊκούς χρόνους εμφανίστηκαν διάφορες απομιμήσεις κρυστάλλων (κυρίως διαφανών) από γυαλί των οποίων η αξία θεωρούνταν μεγαλύτερη και από κάποιους φυσικούς πολύτιμους λίθους (Hurlbut and Kammerling 1991).

Σήμερα, κάποια ορυκτά με χαμηλό σχετικά κόστος που εμφανίζουν παρόμοιο χρώμα και εξωτερικά χαρακτηριστικά με ακριβούς πολύτιμους λίθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απομιμήσεις αυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν κρύσταλλοι κόκκινου σπινέλλιου που χρησιμοποιούνται ως απομιμήσεις ρουμπινιών. Τα κυριότερα συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προσομοίωση πολύτιμων λίθων είναι το γυαλί και το πλαστικό και έχουν πολύ χαμηλότερες τιμές από τους φυσικούς ή συνθετικούς πολύτιμους λίθους στην αγορά (Hurlbut and Kammerling 1991).

10.1. Γυαλί/Glass

Πριν την ανακάλυψη εργαστηριακών μεθόδων για τη δημιουργία συνθετικών πολύτιμων λίθων, το γυαλί αποτελούσε το πιο συνηθισμένο συνθετικό υλικό που μπορούσε να προσομοιώσει διαφανείς και μη διαφανείς κρυστάλλους όπως: ρουμπίνια, σμαράγδια, οψιδιανούς κ.α. (Hurlbut and Kammerling 1991). Το γυαλί δεν παρουσιάζει αυστηρά ταξινομημένη χημική διάταξη των στοιχείων από τα οποία αποτελείται, επομένως δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως στερεό σώμα αλλά ως ρευστό με πολύ υψηλό ιξώδες (Θεοδωρίκας 2013).

Υπάρχουν δύο είδη γυαλιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απομιμήσεις διάφορων πολύτιμων λίθων. Τα crown glasses τα οποία αποτελούνται κυρίως από τα εξής χημικά στοιχεία: Si, Na και Ca και τα flint glasses τα οποία αποτελούνται από Si και Na (Hurlbut and Kammerling 1991). Τα γυαλιά που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία εμφανίζουν πιο έντονα τις ιδιότητες ενός ρευστού υλικού με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης και να αποτελούν πολύ καλύτερες απομιμήσεις πολύτιμων λίθων σε σχέση με την πρώτη κατηγορία. Πολλοί κρύσταλλοι γυαλιών που χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα διαμαντιών ή πολύτιμων λίθων έχουν συνήθως προσμίξεις διαφόρων χημικών στοιχείων όπως Pb με σκοπό την αύξηση του ιξώδους του ρευστού ή υπόκεινται σε διάφορες επεξεργασίες προκειμένου να αποκτήσουν υψηλά

επίπεδα ανακλαστικότητας (Εικ.10.1) ή έντονη αδαμάντινη λάμψη. (π.χ. ειδικές ζελατίνες/φίλμ που επιφλοιώνουν κρυστάλλους Swarovski) (Hurlbut and Kammerling 1991). Στο μικροσκόπιο οι κρύσταλλοι από γυαλί φαίνονται να αποτελούνται από πολυάριθμες μικρές σφαίρες και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πρακτικά ρευστά υλικά και η δομή τους δεν υπακούει σε κάποιο σύστημα κρυστάλλωσης. Το χρώμα που μπορεί να έχουν οι γυάλινες απομιμήσεις εξαρτάται από τις διάφορα ιχνοστοιχεία που μπορεί να περιέχουν (Πίν.10.1) και την ποσότητά τους (Χρυσανθάκη 2005). Μέσω επεξεργασίας μπορούμε να επιλέξουμε το κατάλληλο ιχνοστοιχείο σε μορφή οξειδίου για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα στο χρώμα. Τέλος, με διάφορες εργαστηριακές μεθόδους μπορούμε να εμφανίσουμε διάφορα χαρακτηριστικά μακροσκοπικά φαινόμενα των πολύτιμων λίθων. Μερικά από αυτά είναι: (Hurlbut and Kammerling 1991)

- ❖ Φαινόμενο του οπαλισμού (play of color).
- ❖ Φαινόμενο μάτι της τίγρης/Μάτι της γάτας.
- ❖ Φαινόμενο αλλαγής χρώματος του αλεξανδρίτη.
- ❖ Ιριδίζουσα - Μαργαριταρώδη λάμψη .
- ❖ Φαινόμενο αβεντουρισμού σε χρυσόπετρα από μικρά εγκλείσματα χαλκού.

10.1 Πίνακας με τα κυριότερα ιχνοστοιχεία και το αντίστοιχο χρώμα που δίνουν σε απομιμήσεις γυαλιών (Hurlbut and Kammerling 1991).

ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΧΡΩΜΑ
Mn	Ιώδες
Co	Μπλε
Se	Κόκκινο
Fe	Κίτρινο/Πράσινο
Cu	Κόκκινο/Πράσινο/Μπλε
Au	Κόκκινο
Cr	Πράσινο
U	Κίτρινο/Πράσινο



Εικόνα 10.1. Διάφοροι κρύσταλλοι Swarovski (<https://www.swarovski-professional.com/en-GR/application/warning-notices>)

10.2. Πλαστικό/Plastic

Τα πλαστικά υλικά αποτελούνται από αλυσίδες μορίων που ονομάζονται πολυμερή και χρησιμοποιούνται όχι μόνο για την απομίμηση ανόργανων πολύτιμων λίθων αλλά και για προσομοιώσεις οργανικών πολύτιμων λίθων (Hurlbut and Kammerling 1991). Οι περισσότερες απομιμήσεις πολύτιμων λίθων που κατασκευάζονται από πλαστικά υλικά είναι πολύ φτηνές στην αγορά έχουν πολύ χαμηλή σκληρότητα και δεν χρησιμοποιούνται ποτέ σε κομψά κοσμήματα (fine jewelry). Με κατάλληλες επεξεργασίες οι πλαστικές απομιμήσεις κρυστάλλων μπορούν να εμφανίσουν διάφορα μακροσκοπικά σπάνια φαινόμενα των πολύτιμων λίθων. Για παράδειγμα, ο οπάλιος του Gilson (Εικ.10.2) και ο οπάλιος Ιαπωνίας εμφανίζουν το χαρακτηριστικό φαινόμενο οπαλισμού του φυσικού οπαλίου υπό μορφή ιστού σαύρας (Χρυσανθάκη 2005).



Εικόνα10.2. Οπάλιος Gilson (<https://www.gemgazer.com/gilson-opal-simulant-doublet-cabochon--749-carats--sold--659-p.asp>).

10.3. Συναρμολογημένοι λίθοι (Assembled stones)

Πρόκειται για απομιμήσεις πολύτιμων λίθων οι οποίες αποτελούνται από διάφορα είδη υλικών και ενώνονται με τεχνητές μεθόδους (Hurlbut and Kammerling 1991) (Bauer 1968). Αν αυτές οι απομιμήσεις αποτελούνται από δύο διαφορετικά υλικά ονομάζονται ζεύγη (doublets) ενώ αν αποτελούνται από τρία διαφορετικά υλικά ονομάζονται τριπλέτες (triplets) (<https://www.gia.edu/gem-imitation#item-1>). Σήμερα οι συναρμολογημένοι λίθοι έχουν μια πολύ καλή θέση στην αγορά απομιμήσεων των πολύτιμων λίθων και χρησιμοποιούνται κυρίως για την προσομοίωση διαμαντιών, σμαραγδιών, ρουμπινιών κ.α. ενώ αν έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία μπορούν πολύ εύκολα να ξεγελάσουν ακόμα και το μάτι ενός έμπειρου αγοραστή και να χαρακτηριστούν λανθασμένα ακόμα και ως φυσικοί πολύτιμοι λίθοι.

10.4. Misnomers

Πολλές φορές στην αγορά των πολύτιμων λίθων χρησιμοποιούνται διαφορετικά – παραπλανητικά ονόματα σε κάποιους κρυστάλλους για λόγους marketing που δεν έχουν καμία σχέση με τα επονομαζόμενα ορυκτά (Bauer 1968). Οι όροι αυτοί είναι αρκετά παραπλανητικοί και γίνονται αρκετά μεγάλες προσπάθειες για την εξάλειψή τους. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα εξής (Bauer 1968):

- ❖ Black diamond για αιματίτη
- ❖ Evening emerald για περίδοτο
- ❖ Balas ruby για κόκκινο σπινέλιο
- ❖ Water sapphire για ιόλιθο
- ❖ Herkimer diamond για ορεία κρύσταλλο χαλαζία
- ❖ Korean jade για σερπεντίνη
- ❖ Cape ruby για πυρωπό (γρανάτης)

Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

11. ΑΧΑΤΗΣ-ΧΑΛΚΗΔΟΝΙΟΣ

11.1. Χαλκηδόνιος

Ο χαλκηδόνιος (SiO_2) αποτελεί την πιο συνηθισμένη μικροκρυσταλλική ποικιλία χαλαζία. Έχει την ίδια χημική σύσταση με το χαλαζία, κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και μακροσκοπικά εμφανίζεται σε συμπαγείς μορφές (Θεοδωρίκας 2013). Έχει σκληρότητα 7.0 στην κλίμακα Mohs, κογχώδη θραυσμό και υαλώδη λάμψη με δείκτη διάθλασης 1.544-1.533 (Χρυσανθάκη 2005). Από άποψη ορυκτολογικής παραγένεσης, συνήθως εντοπίζεται σε υδροθερμικές φλέβες (π.χ. πηγματίτες), προσχωματικά κοιτάσματα ή ιζηματογενή πετρώματα χημικής προέλευσης.

Η μακροσκοπική εμφάνιση του χαλκηδόνιου ποικίλει ανάλογα με την περιοχή προέλευσής του και με τα εγκλείσματα που περιέχει. Συνήθως περιέχει διάφορα φυλλόμορφα ορυκτά (π.χ. μαρμαρυγίες, χλωρίτες) ή βελονοειδείς κρυστάλλους ακτινόλιθου που είναι υπεύθυνα για την κατηγοριοποίηση του χαλκηδόνιου σε διάφορες ποικιλίες π.χ. αβεντουρίνης, χρυσοπράσιος, ίασις κ.α. (Χρυσανθάκη 2005).

11.2. Αχάτης

Ο αχάτης αποτελεί την πιο σημαντική ποικιλία χαλκηδόνιου καθώς και την πιο εκτεταμένη από κάθε άλλη (Michalski and Foord 2005). Ο αχάτης αποτελείται από διάφορες υποπαράλληλες ζώνες οι οποίες εμφανίζονται σε διάφορες αποχρώσεις κυρίως ενός χρώματος.

Χαρακτηριστικά χρωματικής ζώνωσης στους αχάτες: (Michalski and Foord 2005)

- ❖ Η χρωματική ζώνωση μπορεί να διακρίνεται μακροσκοπικά ή να παρατηρείται μέσω μικροσκοπίου. Επιπλέον η διαύγεια του κρυστάλλου μπορεί να μεταβάλλεται από ζώνη σε ζώνη.
- ❖ Πολλές φορές η ανάπτυξη ζωνών μπορεί να είναι υπεύθυνη για διάφορα οπτικά - μακροσκοπικά φαινόμενα του ορυκτού, π.χ. ουράνιο τόξο αχάτης (rainbow agate).
- ❖ Στους φυσικούς αχάτες οι χρωματικές ζώνες δεν είναι αρκετά έντονες, επομένως έχουν αναπτυχθεί τεχνητές μέθοδοι μέσω των οποίων το χρώμα των ζωνών μπορεί να γίνει πιο αισθητό.
- ❖ Όταν οι ζώνες διαφορετικών χρωμάτων σχηματίζουν ομόκεντρους κύκλους, ο αχάτης ονομάζεται δακτυλιοειδής αχάτης (ring agate) και όταν το κέντρο του γεώδους έχει μαύρο χρώμα ονομάζεται οφθαλμοειδής αχάτης (eye – agate). Με τεχνητές μεθόδους ένας απλός χαλκηδόνιος μπορεί να μετατραπεί σε ring ή eye agate.
- ❖ Πολλές φορές οι χρωματικές ζώνες δεν διατάσσονται παράλληλα αλλά έχουν μια 'πτυχωμένη' μορφή οπότε ο αχάτης ονομάζεται οχυρωμένος (fortification agate).
- ❖ Εάν η διάταξη των ζωνών του αχάτη είναι χαστική και κατά σημεία έχει θαμπή λάμψη τότε ονομάζεται νεφελώδης αχάτης (cloudy agate).

- ❖ Κάποιες φορές οι ζωνώσεις μπορεί να εμφανίζουν περίεργες μορφές όπως αυτή του αστεριού (star- agate) ή να δίνουν την εντύπωση απολιθωμάτων (shell-coral- agate).

11.3. Τεχνητό χρώμα σε αχάτες

Οι περισσότεροι φυσικοί αχάτες στον κόσμο έχουν γκρι χρώμα. Όμως, έχουν αναπτυχθεί τεχνητές μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να μεταβληθεί το χρώμα τους. Παλαιότερα η μόνη τεχνητή αλλαγή στο χρώμα που μπορούσε να εφαρμοστεί ήταν η μετατροπή του χαλκηδόνιου σε μαύρο όνυχα. Όμως με την πάροδο του χρόνου και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας δόθηκε η δυνατότητα να αποδοθούν διάφορα χρώματα στους αχάτες όπως καστανό, κίτρινο, κυανό/μπλε, πράσινο και κόκκινο. Αυτές οι τεχνητές μέθοδοι οφείλουν την επιτυχία τους σε μια βασική ιδιότητα του ορυκτού που ονομάζεται πορώδες (Michalski and Foord 2005).

Σχεδόν όλες οι ποικιλίες χαλκηδόνιου-αχάτη έχουν υψηλό πορώδες (με εξαίρεση τις γαλακτώδεις περιοχές) με αποτέλεσμα η αλλαγή του χρώματός τους να επιτυγχάνεται μέσω εισχώρησης ειδικών χρωματικών διαλυμάτων στους πόρους του ορυκτού (Michalski and Foord 2005). Ο αχάτης δεν έχει το ίδιο ποσοστό πόρων σε όλη του την έκταση, με αποτέλεσμα κάποιες περιοχές να χρωματίζονται πιο έντονα και κάποιες να μην μπορούν να μεταβάλλουν το χρώμα τους μέσω απορρόφησης χημικών διαλυμάτων. Να τονιστεί ότι, έχει παρατηρηθεί πως η απορρόφηση διαλυμάτων στους αχάτες είναι πιο έντονη κάθετα στα επίπεδα του ορυκτού παρά στην παράλληλη διάταξη τους. Αυτό οφείλεται στη διάταξη των μικροκρυστάλλων και των πόρων από τους οποίους αποτελείται το ορυκτό (Michalski and Foord 2005).

❖ Μαύρος όνυχας (Black agate)

Ο μαύρος όνυχας οφείλει συνήθως την ομοιομορφία στο χρώμα του σε τεχνητές μεθόδους χρωματισμού των αρχικών δειγμάτων χαλκηδόνιου – αχάτη. Στη Γερμανία (Oberstein) το 1819 εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε βιομηχανικό επίπεδο μια μέθοδος τεχνητού χρωματισμού αχάτη με σκοπό τη μετατροπή του σε μαύρο (γυαλισμένο – στιλβωμένο) όνυχα (Bauer 1968). Πολλά από αυτά τα στάδια αυτής της μεθόδου ήταν γνωστά σε παλαιότερους πολιτισμούς της ανθρώπινης ιστορίας (π.χ. Ρωμαϊκή εποχή). Βέβαια, ακόμα και με πιο σύγχρονες μεθόδους, το τελικό χρώμα του ορυκτού εξαρτάται σε ένα βαθμό από το αρχικό του χρώμα, διότι οι περισσότεροι αχάτες διατηρούν σε κάποιο βαθμό την αρχική τους χροιά. Τα γενικά στάδια χρωματισμού που εφαρμόζονταν το 1819 είναι τα εξής (Bauer 1968):

- Αρχικά, τα δείγματα καθαρίζονται και πλένονται με απιονισμένο νερό και αφήνονται να στεγνώσουν.
- Στο επόμενο στάδιο τα δείγματα τοποθετούνται σε υγρό διάλυμα ζάχαρης ή μελιού και διατηρούνται εκεί για περίπου 3 εβδομάδες σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο βρασμού του διαλύματος.
- Στη συνέχεια αφού αφεθούν να στεγνώσουν τα δείγματα, τοποθετούνται σε διάλυμα σουλφιδικού οξέος για μερικές ώρες.

- Ο άνθρακας που απορροφήθηκε από το μέλι ή την ζάχαρη απομονώνεται μέσα στους πόρους του ορυκτού και με τη βοήθεια του σουλφιδικού οξέος τα δείγματα αποκτάνε το χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα του όνυχα.
- Στη συνέχεια λαμβάνουν χώρα διάφορες μέθοδοι κοπής και στίλβωσης ανάλογα με την μορφή που έχουν τα δείγματα.

Ανάλογες είναι και οι διεργασίες που εφαρμόζονται για να μεταβληθεί το χρώμα τους σε διάφορες άλλες αποχρώσεις. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα εξής:

❖ Κίτρινο χρώμα

Σε αυτή τη διεργασία ξηροί αχάτες τοποθετούνται σε διάλυμα υδροχλωρίου και στη συνέχεια θερμαίνονται σε φούρνο. Μέσα σε 15 μέρες περίπου το χρώμα του ορυκτού έχει μεταβληθεί και έχει αποκτήσει μια κίτρινη χροιά (Bauer 1968).

❖ Πράσινο χρώμα

Τοποθέτηση δειγμάτων σε διάλυμα χρωμιούχου οξέος και στη συνέχεια έκθεση των ορυκτών σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας. Το μολοπράσινο χρώμα προκύπτει από την τοποθέτηση των δειγμάτων σε αρχικό διάλυμα νικελιούχου άλας (Bauer 1968).

❖ Κυανό/μπλε χρώμα

Σε αυτή τη διεργασία ο αχάτης αναμιγνύεται με διάλυμα FeCNK και στη συνέχεια τοποθετείται σε διάλυμα FeS το οποίο θερμαίνεται και κατά την οξειδωση αλάτων στους πόρους του ορυκτού εμφανίζεται το κυανό χρώμα του Βερολίνου με αποτέλεσμα ο αχάτης σε αυτή την περίπτωση να χρησιμεύσει ως απομίμηση του ορυκτού λάπις λάζουλι (Bauer 1968).

❖ Κόκκινο χρώμα

Το τελικό αποτέλεσμα μοιάζει με καρνεόλιο και προκύπτει από την ανάμειξη των αρχικών δειγμάτων με θειούχο σίδηρο και τη μετέπειτα έκθεσή τους σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (Bauer 1968).

Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι μερικοί αχάτες μπορεί να εμφανίσουν έντονες αλλαγές στο χρώμα τους απλώς με την έκθεση τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Δεν είναι λίγες οι φορές όπου μέσω θερμικής κατεργασίας τα αρχικά δείγματα μπορούν να αποχρωματιστούν ή να μεταβάλλουν το χρώμα τους από καστανές σε κόκκινες αποχρώσεις (Bauer 1968).

11.4. Αίτια χρωματισμού σε φυσικούς αχάτες

- ❖ Το υψηλό πορώδες του ορυκτού που επιτρέπει την διακίνηση διαφόρων διαλυμάτων τα οποία μπορεί να ευθύνονται για το τελικό του χρώμα.
- ❖ Εγκλείσματα πλούσια σε σιδηρούχες ή μαγγανιούχες ενώσεις.
- ❖ Χημικές αντικαταστάσεις ιόντων στις ζώνες του αχάτη ή στα διάφορα εγκλείσματα που μπορεί να περιέχει λόγω της κίνησης του νερού στο εσωτερικό του.

- ❖ Η υψηλή περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε Mn και Fe που εισβάλλουν στο εσωτερικό των πόρων του ορυκτού.
- ❖ Διάχυση ιόντων από γειτονικούς αδρόκοκκους χρωματισμένους κρυστάλλους χαλαζία.
- ❖ Έκθεση του ορυκτού σε υπεριώδη ακτινοβολία.
- ❖ Τελικά στάδια αποσάθρωσης με αποτέλεσμα την ολική μεταβολή των εξωτερικών επιφανειών του ορυκτού.

Το τελικό χρώμα του ορυκτού προκύπτει από την ταυτόχρονη αλληλεπίδραση των παραπάνω παραγόντων. Να σημειωθεί ότι οι αχάτες μπορεί να αποκτήσουν το τελικό φυσικό τους χρώμα όχι κατά τη διάρκεια της δημιουργίας τους, αλλά πολύ αργότερα (Michalski and Foord 2005).

11.5. Ζώνωση στους αχάτες

❖ Λευκές ζώνες αχάτη/White bands

Πρόκειται για ζώνες σχετικά μεγάλου πάχους (περίπου 0,2 ίντσες) με ομοκεντρική ανάπτυξη. Έχουν χαμηλό πορώδες και δεν μπορούν να εμφανίσουν κάποιο χρωματισμό με φυσικό ή τεχνητό τρόπο αφού δεν ευνοείται η κίνηση διαλυμάτων στο εσωτερικό τους. Μακροσκοπικά φαίνονται αδιαφανείς ενώ αν κοπούν σε λεπτές τομές εμφανίζονται διαφανείς. Από άποψη κρυσταλλικής δομής φέρουν ατέλειες και μπορεί να περιέχουν κοιλότητες γεμάτες νερό στο εσωτερικό τους (Michalski and Foord 2005).

❖ Άχρωμες ζώνες αχάτη/Colorless bands

Πρόκειται για διαφανείς – άχρωμες ζώνες με πολύ συχνή εμφάνιση στους αχάτες. Μακροσκοπικά το πάχος τους ποικίλει ενώ στο μικροσκόπιο εντοπίζονται ως στενές λωρίδες με πολυάριθμες εσωτερικές κοιλότητες που πληρώθηκαν με νερό ή άλλα ρευστά. Συνήθως αυτές οι ζώνες είναι πορώδεις με μεγάλη υδατοπερατότητα και περιέχουν εγκλείσματα από σιδηρούχα και μαγγανιούχα ορυκτά οπότε μπορούν να χρωματιστούν μέσω τεχνητών μεθόδων με τη χρήση Fe-ούχων και Mn-ούχων διαλυμάτων. Τέλος, όταν αυτές οι διαφανείς ζώνες έχουν πολύ μικρό πάχος και τοποθετούνται ανάμεσα σε λευκές-γαλακτώδεις ζώνες σε επαναλαμβανόμενη διάταξη μπορεί να εμφανίζουν σκούρο τεφρό ή μαύρο χρώμα (Michalski and Foord 2005).

❖ Γαλακτώδεις ζώνες/Milky white- Blue grey agates

Πρόκειται για λευκές γαλακτώδεις ζώνες με ελαφρώς γκρι αποχρώσεις. Μοιάζουν πολύ με τις άχρωμες ζώνες ως προς τις ιδιότητές τους με τη διαφορά ότι είναι ημιδιαφανείς. Αυτή η ιδιότητά τους οφείλεται σε πολυάριθμες μικρές κοιλότητες που έχουν πληρωθεί με νερό, γεγονός που έχει αρνητικές επιδράσεις στις αντοχές του ορυκτού. Η μπλε/κυανή απόχρωση οφείλεται σε διάφορα εγκλείσματα τα οποία έχουν μέγεθος μικρότερο από το μήκος κύματος του ορατού φωτός. Αν έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από το μήκος κύματος του ορατού φωτός τότε εμφανίζουν το χαρακτηριστικό λευκό/ γαλακτώδες χρώμα του αχάτη. Περιέχουν διάφορα σιδηρούχα και μαγγανιούχα εγκλείσματα και έχουν

σχετικά υψηλό πορώδες ενώ μπορούν να χρωματιστούν μόνο με εξελεγμένες τεχνητές μεθόδους (Michalski and Foord 2005).

11.6. Εγκλείσματα στους αχάτες

Εγκλείσματα ιόντων και ορυκτών κυρίως μαγγανίου και σιδήρου είναι υπεύθυνα για τις περισσότερες εμφανίσεις χρωμάτων στους αχάτες. Όμως, σύμφωνα με τις μελέτες των Harder (1993) Gotze et al. (2001) και Florke et al. (1982) υπάρχουν ενδείξεις ότι μικροποσότητες άλλων στοιχείων όπως : Co, Li, K, Na, Cr, As και Ti μπορεί να έχουν μικρή ή μεγάλη επίδραση στο τελικό χρώμα που εμφανίζει ο αχάτης. Νεότερες έρευνες έχουν δείξει ότι η παρουσία μαγγανίου και σιδήρου είναι υπεύθυνη για την παρουσία χρωματικών ζωνώσεων στους αχάτες (Michalski and Foord 2005).

❖ Αδρόκοκκοι κρύσταλλοι χαλαζία ανάμεσα σε ζώνες αχάτη.

Η παρουσία ζωνών αδρόκοκκων κρυστάλλων χαλαζία ανάμεσα στις λεπτόκοκκες ζώνες του αχάτη είναι πολύ συνηθισμένη. Αυτές οι ζώνες αποτελούνται κυρίως από λευκό ή ιώδη χαλαζία (αμέθυστο) ενώ πιο σπάνια από καπνία ή κιτρίνη και σχηματίζονται στο τελικό στάδιο δημιουργίας του αχάτη (Michalski and Foord 2005).

❖ Σιδηρούχα εγκλείσματα στους αχάτες

Η παρουσία εγκλεισμάτων οξειδίων/υδροξειδίων του σιδήρου είναι πολύ συνηθισμένη στις ζώνες του αχάτη. Στην πραγματικότητα η παρουσία τους είναι τόσο συνηθισμένη που στο παρελθόν προκάλεσε μεγάλη σύγχυση ανάμεσα στους ερευνητές διότι πίστευαν πως η παρουσία σιδήρου επηρέαζε ή και καθόριζε το ρυθμό επανάληψης των ζωνών στους αχάτες. Αργότερα, έρευνες των Moxon et al. (1996 a,b) απέδειξαν πως κάτι τέτοιο δεν ισχύει.

Ο σίδηρος μπορεί να εμφανίζεται στις ζώνες του αχάτη είτε με δισθενή είτε με τρισθενή μορφή ενώ οι πιο συχνές μορφές ενώσεων που σχηματίζει είναι αυτή του αιματίτη και του γκαιτίτη/λειμωνίτη. Ο αιματίτης έχει τη μορφή πολυάριθμων κόκκινων ή μαύρων κυκλικών επίπεδων στιγμάτων ενώ τα ορυκτά του γκαιτίτη/λειμωνίτη έχουν κίτρινες και καστανές αποχρώσεις (Michalski and Foord 2005).

❖ Εγκλείσματα Μαγγανίου

Τα περισσότερα εγκλείσματα μαγγανίου είναι σκούρα μαύρα/τεφρά ή καστανά με αποτέλεσμα να είναι μερικές φορές δύσκολο να διαχωριστούν από τα εγκλείσματα σιδήρου. Αχάτες πλούσιοι σε μαγγάνιο συνήθως φιλοξενούνται σε όξινα ή ενδιάμεσης σύστασης πετρώματα ενώ οι αχάτες που είναι φτωχότεροι σε μαγγάνιο φιλοξενούνται σε βασικά πετρώματα. Τα εγκλείσματα μαγγανίου είναι ιδιαίτερα διαλυτά στο νερό με αποτέλεσμα να διαλύονται αμέσως όταν έρθουν σε επαφή με αυτό και να αφήνουν πίσω τους λευκά στίγματα στην επιφάνεια του αχάτη (Michalski and Foord 2005).

11.7. Ανοιχτό κυανό-ιώδες χρώμα στους αχάτες/Levander color

Παλαιότερα οι ερευνητές πίστευαν ότι η απόχρωση λεβάντας του αχάτη οφείλονταν σε εγκλείσματα μαγγανίου. Σήμερα όμως έχει αποδειχθεί ότι οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην παρουσία ιόντων σιδήρου. Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί που μπορεί να είναι υπεύθυνοι για την απόδοση αυτής της μπλε-ιώδους απόχρωσης. Μερικοί από αυτούς είναι οι εξής: (Michalski and Foord 2005)

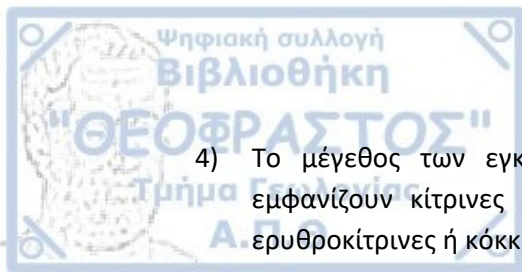
- ❖ Παρουσία ερυθρωπών εγκλεισμάτων σιδήρου στις γαλακτώδεις-μπλε περιοχές του αχάτη. Το τελικό χρώμα που προκύπτει είναι μια ανάμιξη των παραπάνω κόκκινων και μπλε χρωμάτων με αποτέλεσμα το ανθρώπινο μάτι να το αντιλαμβάνεται ως κυανό ή μωβ χρώμα. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός περιγράφεται καλύτερα στην μελέτη του Lentz et al.1999.
- ❖ Παρόμοια αποτελέσματα έχει η παρουσία εγκλεισμάτων πορτοκαλί ή κόκκινου χρώματος στις γκρι ζώνες του αχάτη. Η μόνη διαφορά είναι ότι το τελικό χρώμα έχει πιο σκούρα χροιά σε σύγκριση με τον προηγούμενο μηχανισμό.
- ❖ ο μηχανισμός χρωματισμού στους ιώδεις αχάτες της Αριζόνας πιστεύεται ότι πιθανόν έχει κοινά στοιχεία με το μηχανισμό φυσικού χρωματισμού κρυστάλλων αμέθυστου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός μέχρι σήμερα δεν είναι πλήρως κατανοητός ως προς τον τρόπο και τα στάδια που ακολουθεί προκειμένου να δώσει το τελικό χρώμα.

Άλλες φυσικές αποχρώσεις στους αχάτες είναι:

- ❖ Γκρι/Τεφρό χρώμα: Οφείλεται σε διάσπαρτες εισχωρήσεις ιόντων και εγκλεισμάτων Fe και Mn
- ❖ Κόκκινο/Πορτοκαλί/Κίτρινο χρώμα: Οφείλεται σε εγκλείσματα οξειδίων και υδροξειδίων του Fe.
- ❖ Μαύρο χρώμα: Οφείλεται σε εγκλείσματα αιματίτη

Οι αχάτες λόγω του υψηλού πορώδους που διαθέτουν έχουν τη δυνατότητα να επιτρέπουν, άλλοτε λιγότερο και άλλοτε περισσότερο, την εισχώρηση και διακίνηση διαφόρων διαλυμάτων στο εσωτερικό τους με αποτέλεσμα να αποτίθενται διάφορα ιόντα και στοιχεία στις κοιλότητες τους και να προσδίδουν διάφορα χρώματα στο ορυκτό ανάλογα με τη χημική τους σύσταση. Πολλές φορές οι μεταβολές χρωμάτων πάνω στην επιφάνεια του αχάτη μπορεί να υποδηλώνουν τον τρόπο/πορεία διακίνησης των διαλυμάτων. Το τελικό χρώμα που θα εμφανίσει ένας αχάτης από τη διακίνηση διαλυμάτων εξαρτάται από τους εξής τέσσερις βασικούς παράγοντες: (Michalski and Foord 2005).

- 1) Πόσο οξυγονωμένα είναι τα υδατικά διαλύματα διότι μπορεί να προκαλέσουν την οξείδωση γειτονικών παλαιότερων εγκλεισμάτων ή να σχηματίσουν διάφορες ενώσεις οξειδίων ή υδροξειδίων στις κοιλότητες του αχάτη.
- 2) Το βάθος εισχώρησης των διαλυμάτων στο εσωτερικό του αχάτη.
- 3) Το μέγεθος των μικροκρυστάλλων του αχάτη.



- 4) Το μέγεθος των εγκλεισμάτων. Συνήθως τα μικρά πολυάριθμα εγκλείσματα εμφανίζουν κίτρινες αποχρώσεις ενώ τα μεγαλύτερα εγκλείσματα εμφανίζουν ερυθροκίτρινες ή κόκκινες αποχρώσεις.

Οι δύο πρώτοι παράγοντες είναι αρκετά δύσκολο να διαγνωστούν. Όμως οι δυο τελευταίοι μπορούν να προσδιοριστούν με αρκετά μεγάλη ακρίβεια μέσω κατάλληλων μετρήσεων. Γενικά, όσο περισσότερο σίδηρο περιέχει το υδατικό μέσο και όσο λιγότερο οξυγόνο περιέχει τόσο πιο σκούρα ή μαύρα/τεφρά θα είναι τα εγκλείσματα που θα προκύψουν (Michalski and Foord 2005).

12. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

12.1. Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM)

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy) αποτελεί πλέον μία από τις πιο σύγχρονες μεθόδους ανάλυσης για τον προσδιορισμό της μορφολογίας των υλικών καθώς και το μέγεθος, το σχήμα των σωματιδίων, τα επιφανειακά χαρακτηριστικά και τις ασυνέχειες της επιφάνειας. Με τη φασματοσκοπική μέθοδο της ενεργειακής διασποράς των ακτίνων-Χ (EDS = Energy Dispersive Spectroscopy) μπορεί ακόμη να δώσει πληροφορίες για την επιφανειακή χημική σύσταση ενός δείγματος (Εικ.12.1). Η ικανότητα των οπτικών μικροσκοπίων περιορίζεται σε μεγεθύνσεις έως $\times 1000$ και σε Διακριτική Ικανότητα ($\Delta.I.$) της τάξεως $0.2\mu\text{m}$. Επομένως, από τις αρχές κιάλας του 1930 υπήρξε η ανάγκη μελέτης του εσωτερικού διαφόρων υλικών και κυρίως του εσωτερικού των κυττάρων. Το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που ανακαλύφθηκε ήταν το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης ή Διερχόμενης Δέσμης (TEM = Transmission Electron Microscope) και στη συνέχεια ακολούθησε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM = Scanning Electron Microscope).

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο λειτουργεί περίπου όπως και ένα οπτικό μικροσκόπιο με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως. Η $\Delta.I.$ ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου εξαρτάται από:

(http://ph277.edu.physics.uoc.gr/files/Electron_Microscopy_Notes_VBinas2.pdf)

- 1) τη διάμετρο της δέσμης που προσπίπτει στο δείγμα
- 2) το ρεύμα της δέσμης, τη μεγέθυνση του ειδώλου
- 3) τον τύπο των ηλεκτρονίων που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση
- 4) τα σφάλματα του φακού.

Η βέλτιστη $\Delta.I.$ που χαρακτηρίζει το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι περίπου τα 0.5nm .

❖ Αρχή Λειτουργίας

Η βασική αρχή λειτουργίας περιλαμβάνει την ακτινοβολία του δείγματος με μία καλά εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων. Η περιοχή όπου η δέσμη ηλεκτρονίων αλληλοεπιδρά με το στερεό ονομάζεται όγκος αλληλεπίδρασης.

❖ Τρόπος λειτουργίας σαρωτικού μικροσκοπίου

Στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο η τελική εικόνα της μορφολογίας του δείγματος σχηματίζεται από δέσμη ηλεκτρονίων, διαμέτρου περίπου $1\mu\text{m}$, τα οποία προκαλούν την εκπομπή δευτερογενών (secondary) ηλεκτρονίων (ηλεκτρόνια τα οποία εκπέμπονται από το δείγμα λόγω της πρόσπτωσης της ηλεκτρονικής δέσμης) και οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων (backscattered electrons, ηλεκτρόνια της αρχικής δέσμης τα οποία σκεδάζονται προς τα πίσω με γωνίες σκέδασης από 90° μέχρι 180°). Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια έχουν μικρή κινητική ενέργεια ($10\text{--}50\text{eV}$), προέρχονται από την επιφάνεια του δείγματος και δίνουν πληροφορία για την τοπογραφία της επιφάνειας. Τα

οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια προέρχονται από το εσωτερικό του στερεού και παρέχουν πληροφορίες για το ανάγλυφο αλλά και για τη σχετική σύσταση του δείγματος καθώς τα βαρύτερα άτομα προκαλούν εντονότερη ανάκλαση της δέσμης των ηλεκτρονίων και εμφανίζονται πιο φωτεινά στην εικόνα που λαμβάνεται.

(http://ph277.edu.physics.uoc.gr/files/Electron_Microscopy_Notes_VBinas2.pdf)

❖ Πηγή ηλεκτρονίων

Τα ηλεκτρόνια παράγονται από νήμα (συνήθως βολφραμίου) το οποίο λειτουργεί σαν κάθοδος. Μέσα από το νήμα περνάει ρεύμα (Εικ.11.1). Καθώς το ρεύμα αυξάνεται, το νήμα πυρακτώνεται και με αυτό τον τρόπο εκπέμπονται ηλεκτρόνια τα οποία κατευθύνονται προς την άνοδο στην οποία εφαρμόζεται ένα δυναμικό 1-30 KV. Η άνοδος είναι θετική και δημιουργεί ισχυρές ελκτικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια. Έτσι, η άνοδος κατευθύνει και επιταχύνει τα ηλεκτρόνια. Καθώς αυξάνεται το ρεύμα του νήματος, φθάνει σε ένα σημείο που δεν εκπέμπονται επιπλέον άλλα ηλεκτρόνια. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται κορεσμός του νήματος. Αν το ρεύμα του νήματος αυξηθεί κατά πολύ, έχουμε υπερθέρμανση του νήματος βολφραμίου το οποίο καίγεται. Ακόμα όμως και στο σημείο κορεσμού, το νήμα βολφραμίου με την πάροδο του χρόνου πάλι υπερθερμαίνεται, λεπταίνεται και σπάει.

(http://ph277.edu.physics.uoc.gr/files/Electron_Microscopy_Notes_VBinas2.pdf)

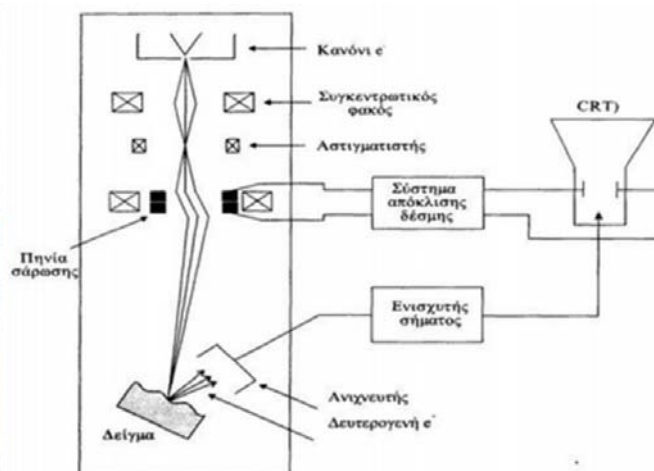
❖ Σύστημα Κενού

Κατά την χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, η στήλη πρέπει να βρίσκεται υπό κενό αέρος για να μπορεί να διατηρηθεί σταθερή η δέσμη των ηλεκτρονίων. Διαφορετικά τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα μόρια του αέρα και απορροφώνται από αυτόν. Το κενό επιτυγχάνεται με την χρήση δύο ή περισσότερων αντλιών.

(http://ph277.edu.physics.uoc.gr/files/Electron_Microscopy_Notes_VBinas2.pdf)

❖ Σύστημα πληροφοριών

Πρόκειται για διαφόρους ανιχνευτές που δέχονται τα σήματα που παράγονται από την αλληλεπίδραση της δέσμης ηλεκτρονίων με το δείγμα καθώς και το σύστημα παρουσίασης το οποίο περιλαμβάνει τη μεγέθυνση, παρουσίαση και καταγραφή των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 12.1. Ανατομία σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου SEM.

(http://ph277.edu.physics.uoc.gr/files/Electron_Microscopy_Notes_VBinas2.pdf)

12.2. Φασματοσκοπία υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR)

Η μέθοδος οπτικής φασματοσκοπίας υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR = Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται διεθνώς για τη στοιχειομετρική ανάλυση άμορφων και κρυσταλλικών υλικών σε μοριακό επίπεδο. Η ανάλυση αυτή επιτυγχάνεται με την απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα μόρια των υπό μελέτη δειγμάτων και με τη χρήση μετασχηματισμού Fourier.

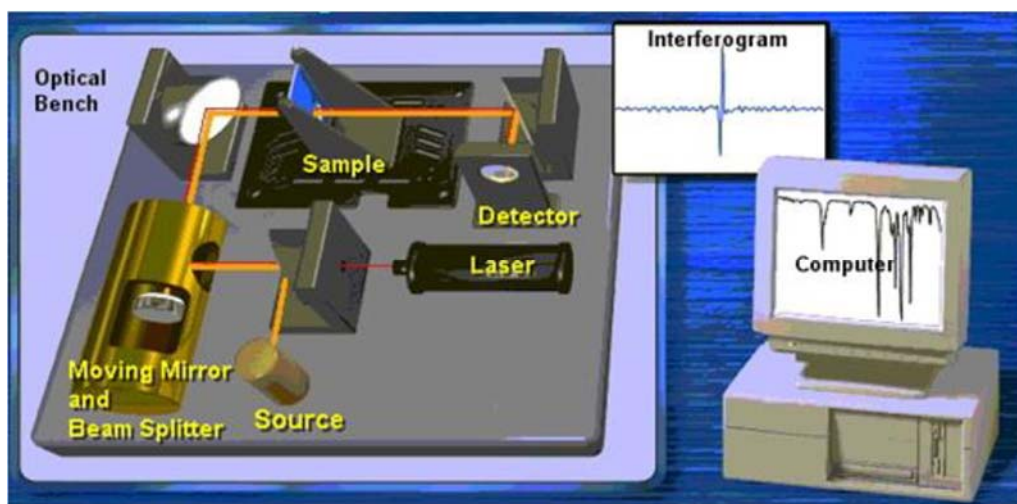
Η περιοχή του υπέρυθρου ανήκει στο ευρύτερο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όταν υπέρυθρη ακτινοβολία προσπέσει σε κάποιο δείγμα τότε τα άτομα των μορίων του δείγματος που έχουν συχνότητα δόνησης ίδια με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία (Βαλαβανίδης 2006). Σε αυτή τη μέθοδο η ακτινοβολία που απορροφάται μετράται και παριστάνεται γραφικά με τη μορφή συνάρτησης του κυματάριθμου ($1/\lambda$) σε cm^{-1} . Η παρουσία των κορυφών καθώς και η συχνότητα τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό και τον υπολογισμό ενός συστατικού (Δήμου 2013).

Η φασματοσκοπία υπέρυθρου (IR) αποτελεί μια εύκολη και σύντομη μη καταστροφική μέθοδο η οποία είναι εξαιρετικά ευαίσθητη για την ανίχνευση και χαρακτηρισμό μεγάλου και μικρού όγκου υλικών (Παλαιολόγου 2017).

Η φασματική περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας διακρίνεται σε τρεις υποπεριοχές:

- ❖ εγγύς υπέρυθρο (NIR), με εύρος $12800\text{-}5000\text{cm}^{-1}$
- ❖ μέσο υπέρυθρο (MIR), με εύρος $5000\text{-}400\text{cm}^{-1}$
- ❖ μακρινό υπέρυθρο (FIR), με εύρος $400\text{-}10\text{cm}^{-1}$

Για την αναγνώριση και την ταυτοποίηση υλικών η περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως είναι αυτή του μέσου υπέρυθρου (MIR) (Δέσσου 2016). Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η δομή και η μορφή ενός φασματοσκοπίου FTIR.



Εικόνα 12.2. Σχηματική απεικόνιση του φασματοσκοπίου FTIR (Δήμου 2013).

13. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΥΑΝΟΥ-ΙΩΔΟΥΣ **ΑΧΑΤΗ**

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύθηκαν μερικά δείγματα κυανού-ιώδους αχάτη δαντελοειδούς μορφής από την περιοχή της Ξάνθης- Αλεξανδρούπολης (Εικ.13.1). Το κύριο ζητούμενο της έρευνας ήταν ο εντοπισμός του χημικού στοιχείου που έδωσε το συγκεκριμένο χρωματισμό σε αυτούς τους αχάτες.

13.1. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις

Όπως φαίνεται και από τις παρακάτω εικόνες που πάρθηκαν μέσω στερεοσκοπίου τα δείγματα αχάτη που αναλύθηκαν σε πολλά σημεία έχουν χαρακτηριστική χρωματική ζώνωση (Εικ.13.2) εμφανίζοντας διαφορετικές εντάσεις ενός χρώματος (κυανό-ιώδες). Σε πολλά σημεία διακρίνονται αδρόκοκκες μορφές χαλαζία (Εικ.13.3) οι οποίες εμφανίζονται κυρίως στον πυρήνα – κέντρο της ζώνωσης.



Εικόνα 12.1. Μακροσκοπική εικόνα δείγματος κυανού- ιώδους δαντελοειδούς αχάτη. . Η μεγάλη διάσταση της κάθε εικόνας αντιστοιχεί σε 2,5cm.



Εικόνα 13.2. Χρωματικές ζωνώσεις, δαντελοειδής μορφή και κογχώδης θραυσμός σε δείγμα κυανού-ιώδους αχάτη. . Η μεγάλη διάσταση της κάθε εικόνας αντιστοιχεί σε 2,5cm.

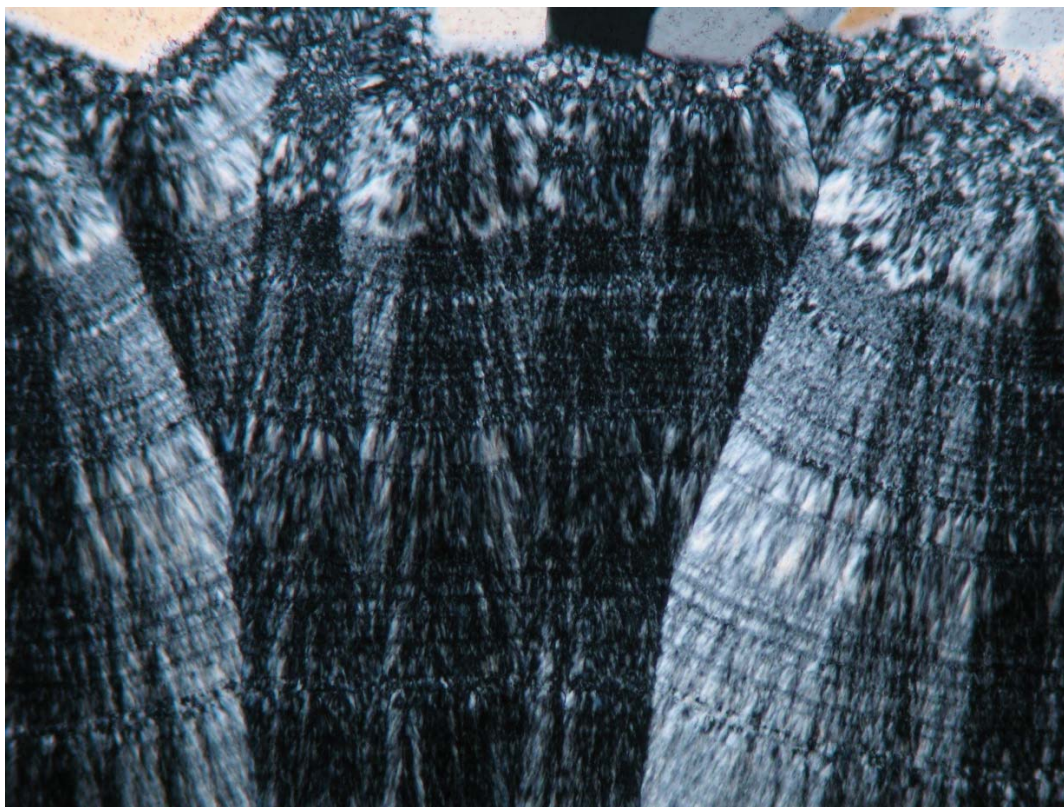


Εικόνα 13.3. Αδροκρυσταλλικός χαλαζίας στο εσωτερικό των χρωματικών ζωνών του αχάτη. . Η μεγάλη διάσταση της κάθε εικόνας αντιστοιχεί σε 2,5cm.

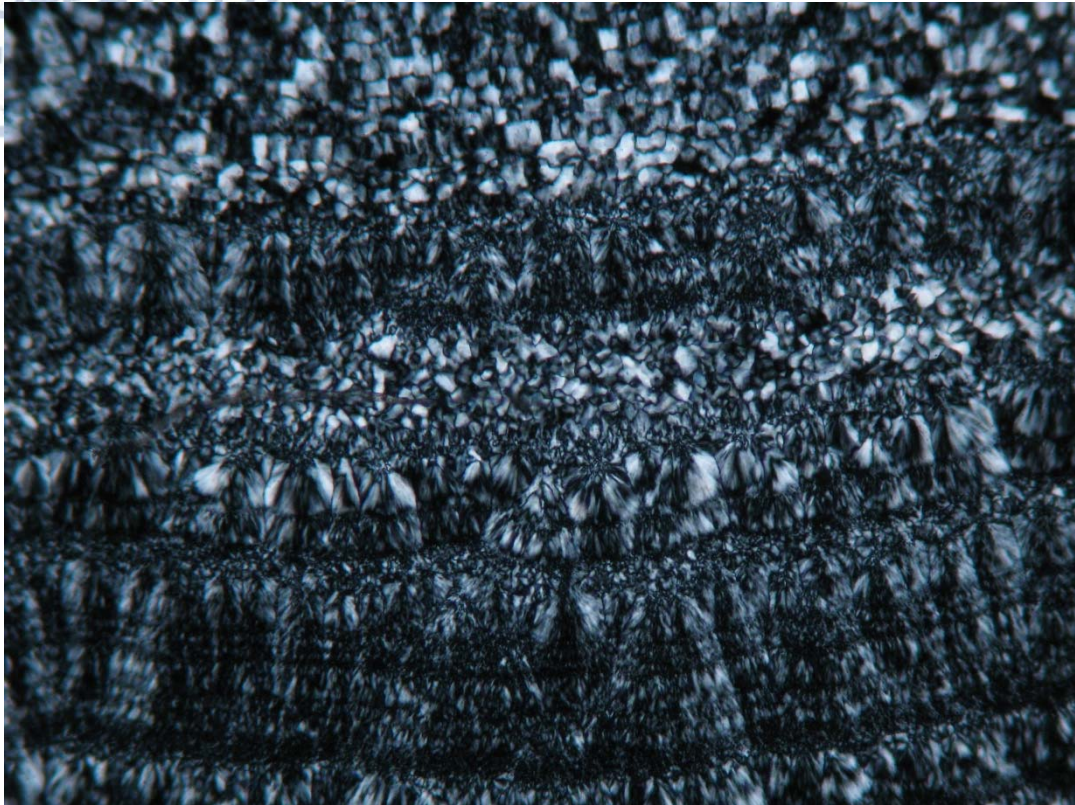
13.2. Παρατηρήσεις σε πολωτικό μικροσκόπιο

Για τη μικροσκοπική μελέτη του δείγματος αχάτη κατασκευάστηκε λεπτή στυλπνή τομή πάχους περίπου 20μm. Η τομή κατασκευάστηκε κάθετα στις χρωματικές ζώνες έτσι ώστε να μπορούν να διακριθούν οι ζώνες του αχάτη.

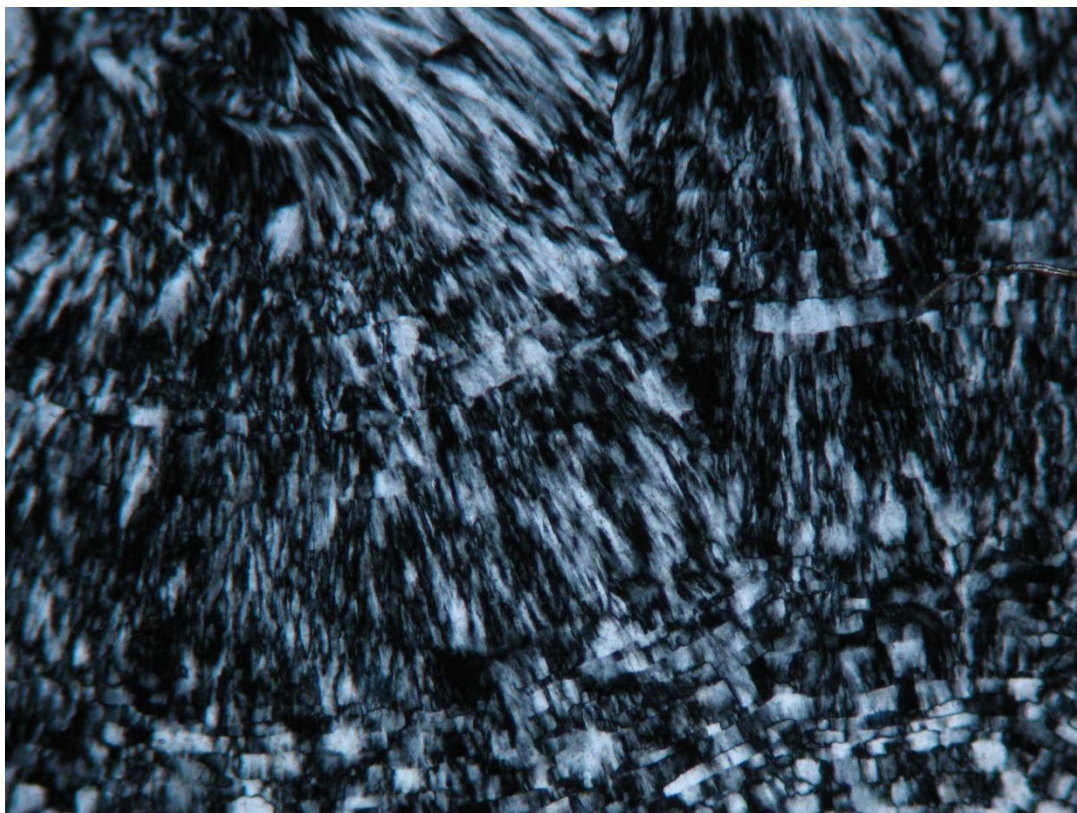
Κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο παρατηρήθηκε ότι οι κρύσταλλοι του αχάτη αναπτύσσονται σε διαφορετικό μέγεθος καθορίζοντας έτσι το πάχος της κάθε ζώνης. Η διάταξη των κρυστάλλων φαίνεται να διαφέρει από ζώνη σε ζώνη (Εικ.13.4 & 13.5). Σε κάποια σημεία οι κρύσταλλοι του αχάτη δεν διατάσσονται σε ζώνες αλλά αναπτύσσονται ακανόνιστα (Εικ.13.6 & 13.7). Οι ζώνες του αχάτη περιορίζονται μεταξύ δύο ζωνών μακροκρυσταλλικού χαλαζία (Εικ.13.8). Στην εικόνα 13.9 διακρίνονται οι διαφορετικού πάχους ζώνες του αχάτη.



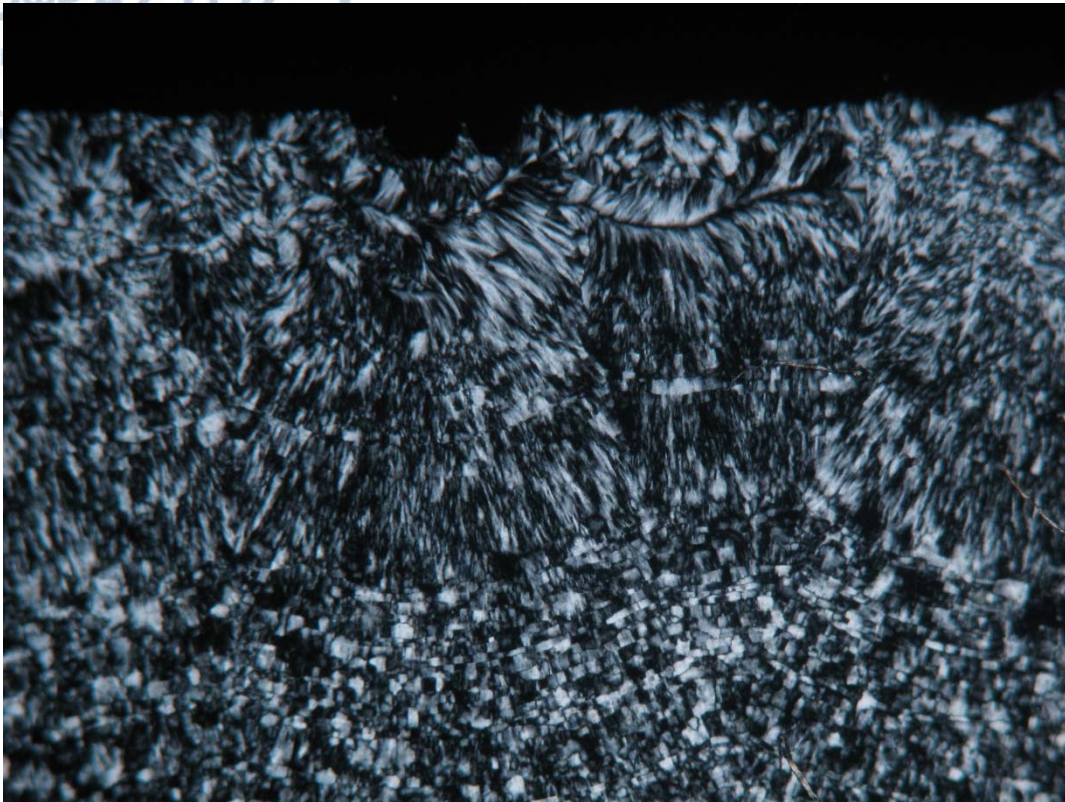
Εικόνα 13.4. Ζωνώδης μορφή αχάτη σε μικροσκοπική παρατήρηση μέσω πολωτικού μικροσκοπίου. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



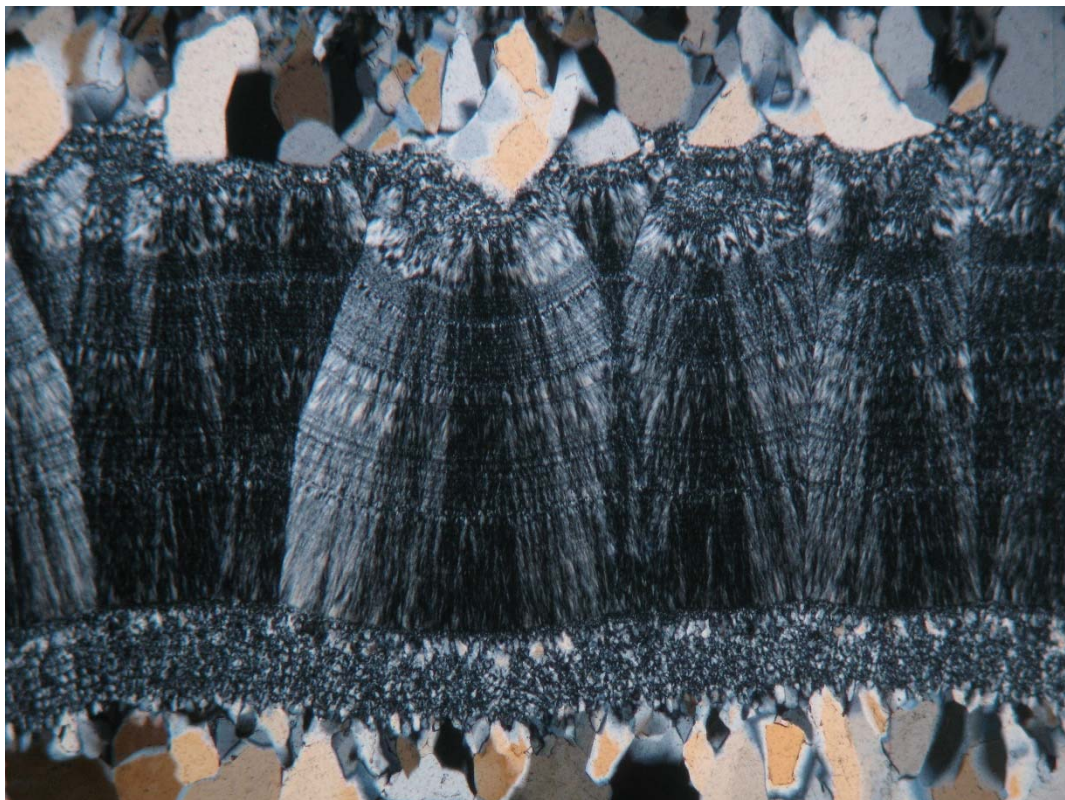
Εικόνα 13.5. Παρατήρηση μικροκρυσταλλικών ζωνών αχάτη σε πολωτικό μικροσκόπιο. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



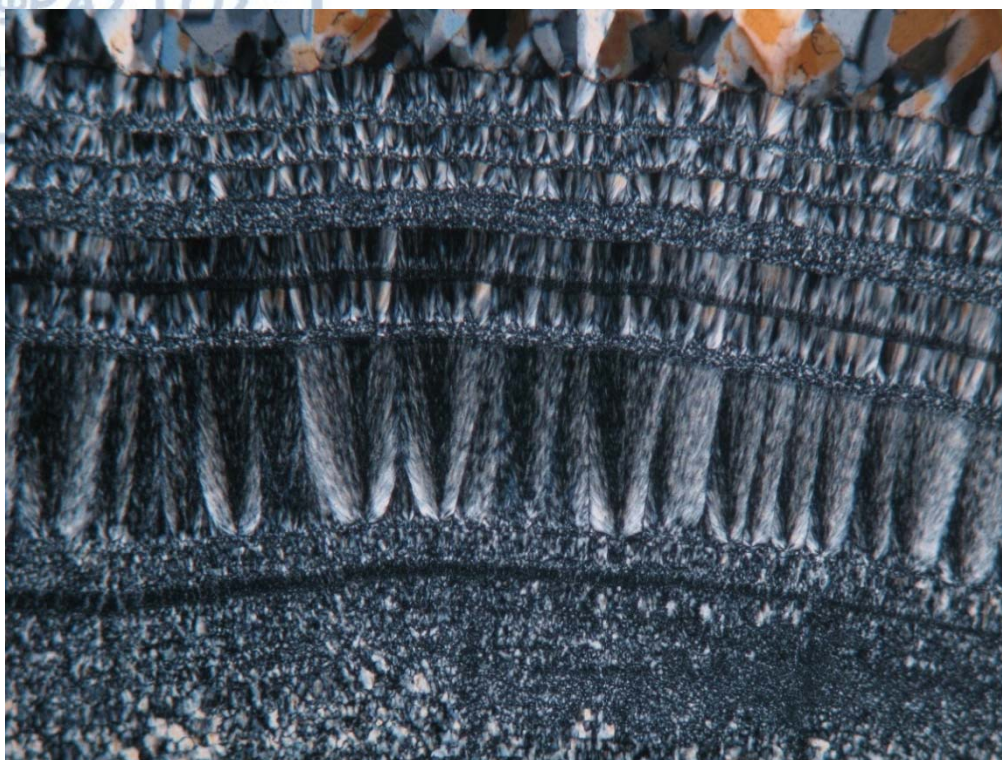
Εικόνα 13.6. Ακανόνιστη μορφή δαντελοειδών ζωνών αχάτη σε πολωτικό μικροσκόπιο. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



Εικόνα 13.7. Ακανόνιστη μάζα μικροκρυσταλλικού δαντελοειδούς αχάτη. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



Εικόνα 13.8. Αδροκρυσταλλική μάζα χαλαζία περικλείει τις χρωματικές ζώνες του αχάτη. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



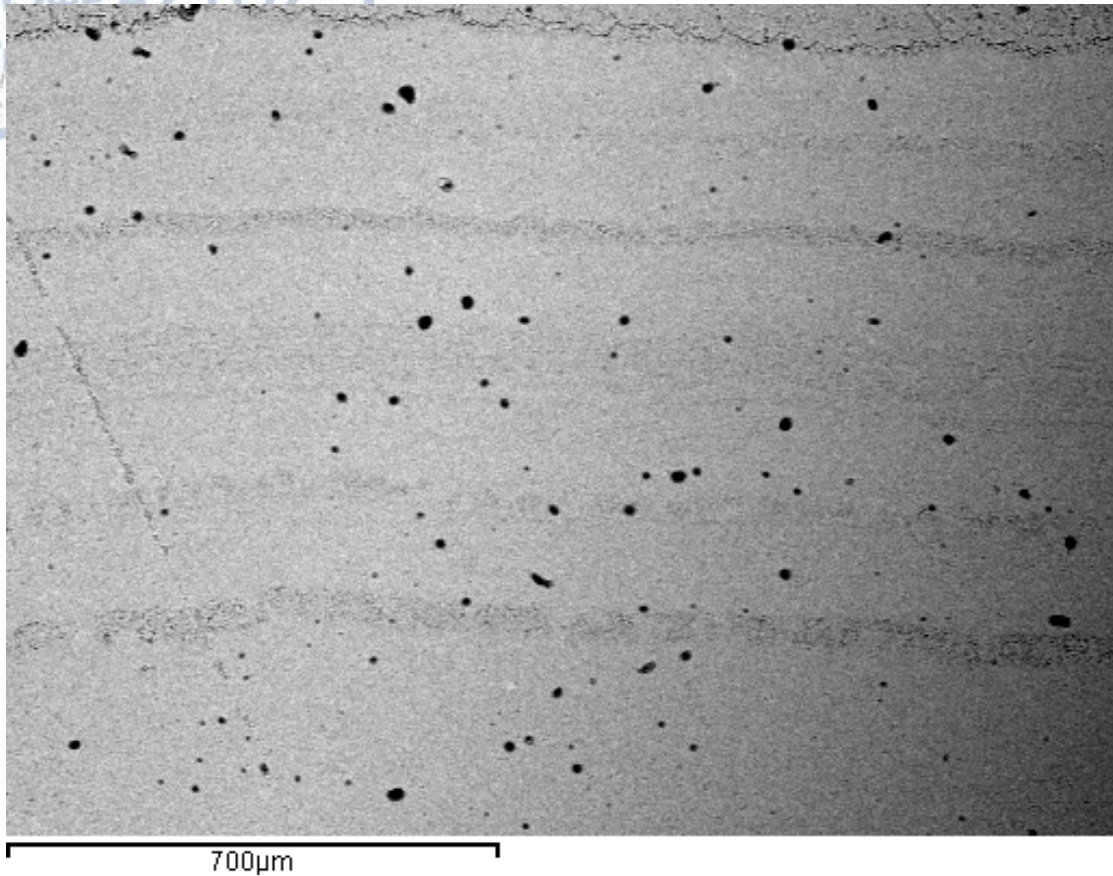
Εικόνα 13.9. Διαδοχικές μικροκρυσταλλικές ζώνες αχάτη σε διάφορα πάχη. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.

13.3. Χημική ανάλυση

Για την ανάλυση σε σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο η λεπτή στυλπνή τομή του αχάτη επικαλύφθηκε με άνθρακα. Ο σκοπός της χημικής ανάλυσης είναι να εντοπιστεί το χημικό στοιχείο που δίνει το κυανό-ιώδες χρώμα στον αχάτη. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές έρευνες, τα πιθανότερα χημικά στοιχεία είναι ο σίδηρος και το μαγγάνιο (Michalski and Foord 2005). Οι χημικές αναλύσεις έγιναν κατά μήκος μιας γραμμής κάθετα στις διάφορες ζώνες του αχάτη. Όπως προέκυψε, εκτός από το Si, άλλα στοιχεία που συμμετέχουν στη σύσταση του αχάτη είναι το Mg με τιμές 0,03-0,07%, το Al από 0,02-0,17% και ο Fe με ποσοστό που κυμαίνεται από 0,05 έως 0,23%. Μικρή είναι η παρουσία Mn (0.03%) και του Ti (0,02-0,03%). Από τα παραπάνω στοιχεία, μόνο ο Fe παρουσιάζει τα ψηλότερα ποσοστά (>0,05%) και εντοπίστηκε σε όλες σχεδόν τις ζώνες με μεταβαλλόμενη περιεκτικότητα.

Πίνακας 13.1. Αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις του δείγματος αχάτη.

Περιοχή ανάλυσης	2a	3a	3a	4a	5a	5a	5a	7a	7a	7a
Spectrum	5	1	5	7	8	9	10	2	5	13
Mg	0,03	0.06			0.02	0.03	0,06	0.07	0.03	0.04
Al	0,03		0.17			0.02				
Si	46,58	46,69	46,53	46,83	46,69	46,59	46,76	46,57	46,75	46,66
Mn	0.03									
Fe	0.16	0.23	0.18	0.18	0.13	0.14	0.05	0.23	0.09	0.21
Ti					0.02	0.03	0.03			



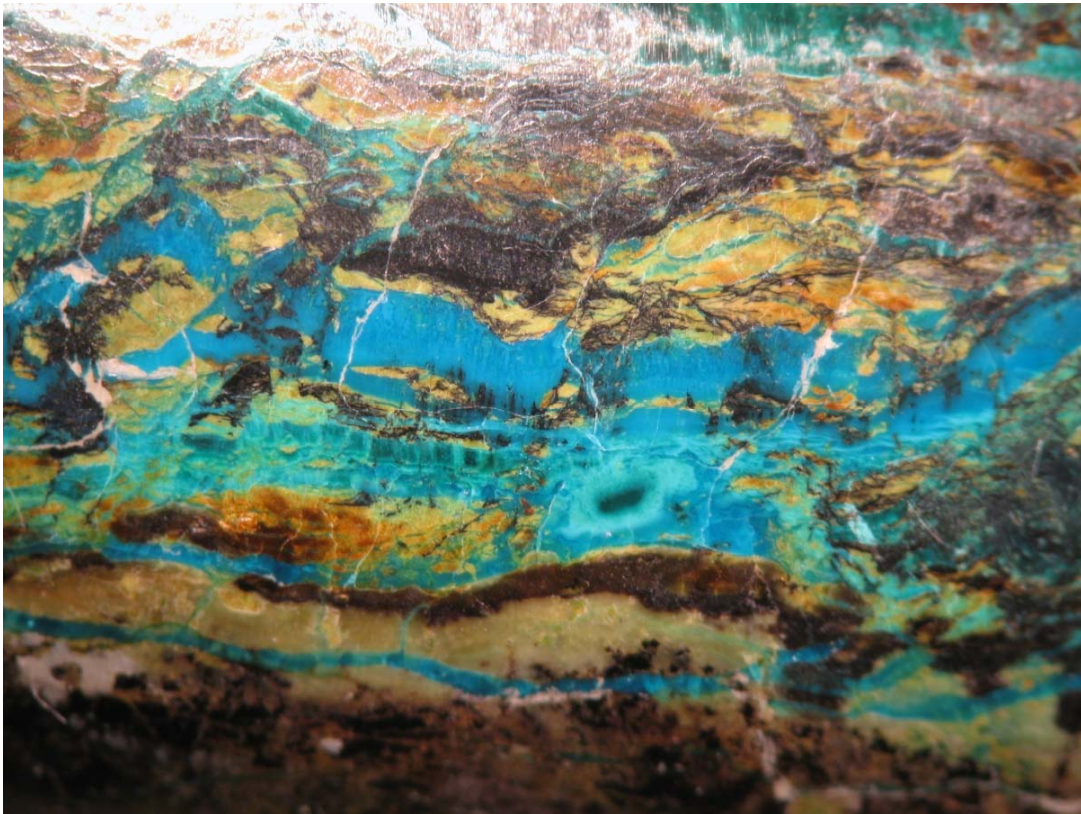
Εικόνα 13.10. Οπισθοσκεδαζόμενη εικόνα αχάτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο SEM όπου διακρίνονται χημικές διαφοροποιήσεις στις χρωματικές του ζώνες.

Γι' αυτό το λόγο πιστεύεται ότι το κυανό-ιώδες χρώμα στον αχάτη οφείλεται στην παρουσία Fe.

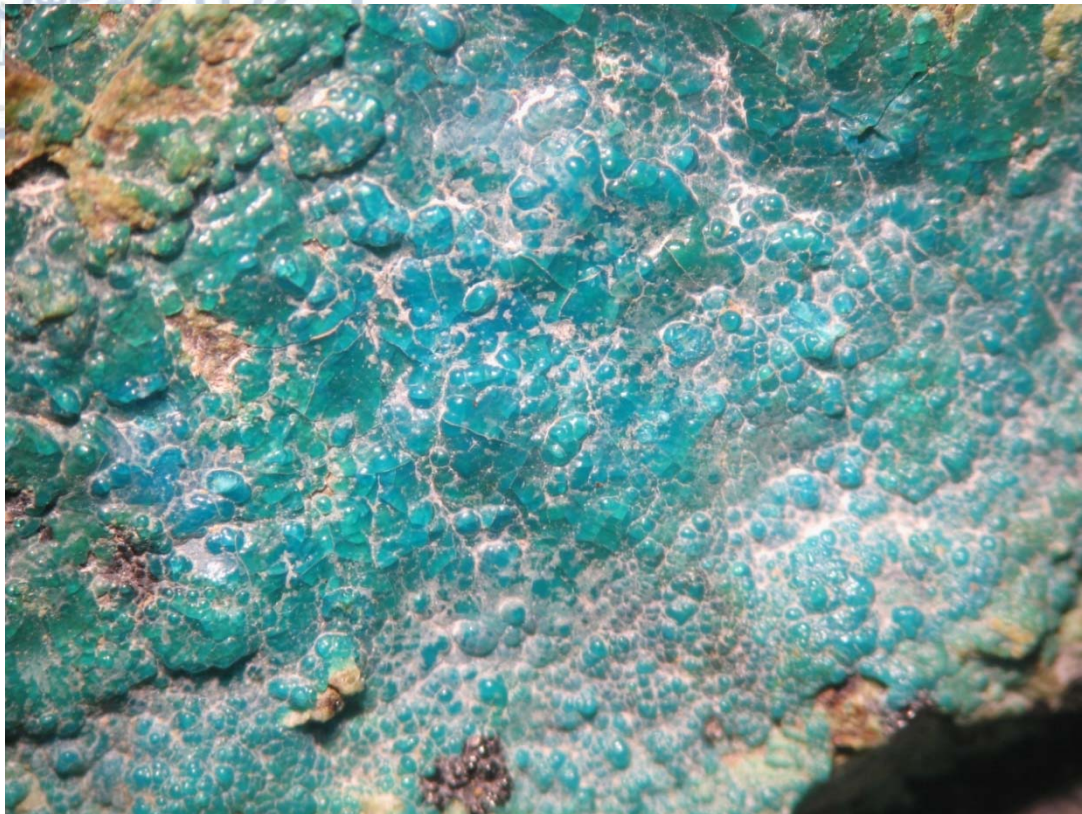
14. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΓΝΩΣΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ

14.1. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις

Το υπό μελέτη δείγμα προέρχεται από τον ελληνικό χώρο και συγκεκριμένα από την περιοχή Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης. Μακροσκοπικά φέρει παρόμοια μορφή με το ορυκτό χρυσόκολλα και αρχικά θεωρήθηκε ότι πρόκειται για το συγκεκριμένο ορυκτό. Εμφανίζει πράσινο-κυανό χρώμα και αναπτύσσεται παράλληλα στη σχιστότητα του πετρώματος (Εικ14.1) ή σε βοτρυοειδή συσσωματώματα (Εικ.14.2). Τις ίδιες ακριβώς μορφές και τα ίδια χρώματα μπορεί να εμφανίζουν και άλλα ορυκτά του χαλκού.



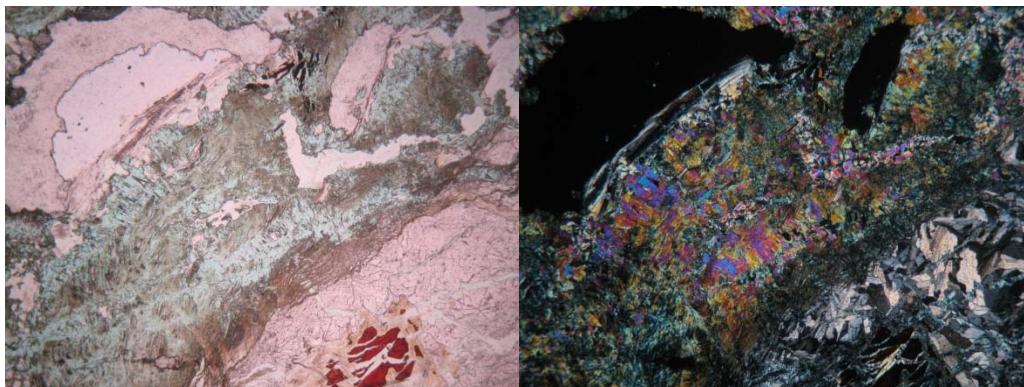
Εικόνα 14.1. Άγνωστο ορυκτό σε μορφή φλεβών με πράσινα- κυανά χρώματα. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2,5cm.



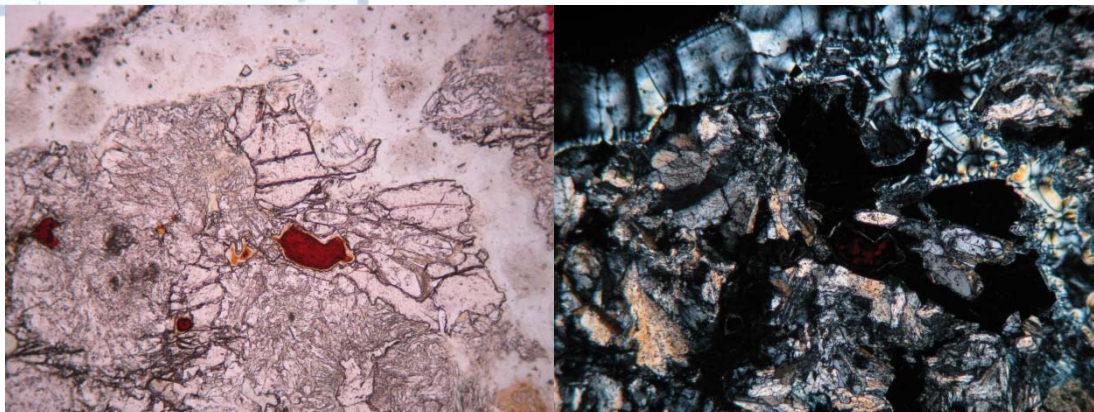
Εικόνα 14.2. Μακροσκοπική εικόνα άγνωστου δείγματος με βοτρυοειδή συσσωματώματα. Η μεγάλη διάσταση της εικόνας αντιστοιχεί σε 2,5cm.

14.2. Παρατηρήσεις σε πολωτικό μικροσκόπιο

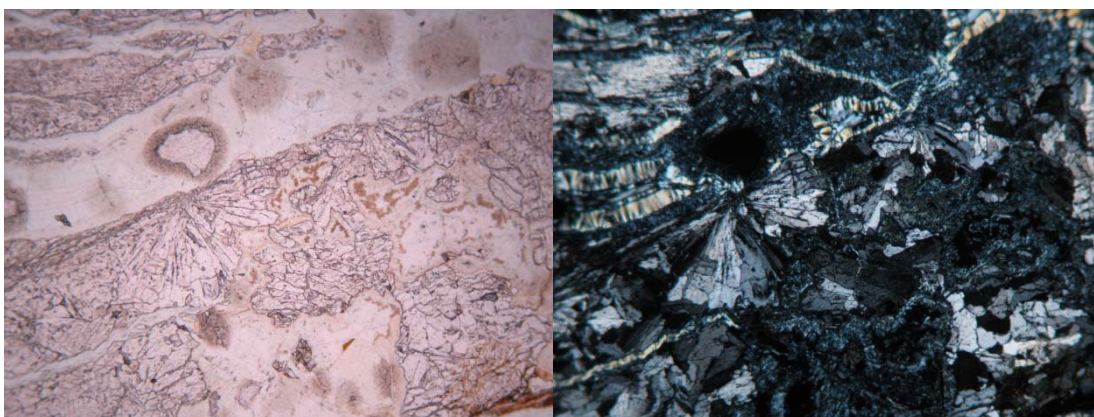
Για την οπτική παρατήρηση και τη χημική ανάλυση του υπό μελέτη ορυκτού κατασκευάστηκε λεπτή στιλπνή τομή. Στο πολωτικό μικροσκόπιο το υπό εξέταση ορυκτό παρουσιάζει ανοικτό πράσινο χρώμα με έντονο πλεοχροϊσμό και μέτριας τάξης χρώματα πόλωσης. Εμφανίζεται ως ινώδη συσσωματώματα τα οποία αναπτύσσονται κατά θέσεις σε μορφή βεντάλιας (Εικ. 14.3 και 14.5). Στην τομή παρατηρήθηκαν και άλλα ορυκτά μεταξύ των οποίων κυρίως πυρόξενοι και γρανάτες (Εικ.14.4).



Εικόνα 14.3. Εικόνα άγνωστου ορυκτού με και χωρίς αναλυτή σε πολωτικό μικροσκόπιο. Η μεγάλη διάσταση της κάθε εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



Εικόνα 14.4. Εικόνα κρυστάλλων γρανατών και πυροξένων με και χωρίς αναλυτή σε πολωτικό μικροσκόπιο. Η μεγάλη διάσταση της κάθε εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.



Εικόνα 14.5. Εικόνα άγνωστου ορυκτού με και χωρίς αναλυτή σε πολωτικό μικροσκόπιο (Μορφή βεντάλιας). Η μεγάλη διάσταση της κάθε εικόνας αντιστοιχεί σε 2cm.

14.3. Χημική Ανάλυση

Με την παρατήρηση της παραπάνω λεπτής στιλπνής τομής στο μικροσκόπιο SEM έγινε δυνατή η προσέγγιση της χημικής σύστασης του άγνωστου (Πίν.14.1) ορυκτού αλλά και των υπόλοιπων ορυκτών της τομής. Με τον εντοπισμό θείου στο χημικό τύπο του άγνωστου ορυκτού αποκλείστηκε η πιθανότητα να είναι χρυσόκολλα. Η χημική ανάλυση της χρυσόκολλας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 14.2.

Πίνακας 14.1. Χημική ανάλυση του άγνωστου ορυκτού.

Περιοχή ανάλυσης	C3 2a					C3 3a				
Spectrum	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
SiO ₂			1,15		1,77			1,03	1,62	1,65
SO ₃	16,45	17,24	16,42	16,66	14,55	17,19	17,55	15,55	17,02	15,07
CuO	72,55	71,76	71,13	72,14	71,68	71,61	71,16	71,18	71,27	71,23
Σύνολο	89,00	89,00	88,70	88,80	88,00	88,80	88,71	87,76	89,91	87,95

Πίνακας 14.2. Πρότυπη χημική ανάλυση χρυσόκολλας.

(http://www.webmineral.com/data/Chrysocolla.shtml#.Xlenh_ZuJPY)

Οξείδια	Ποσοστό
Al ₂ O ₃	3.88%
CuO	42.39%
SiO ₂	36.59%
H ₂ O	17.14%
Σύνολο	100%

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα εάν το άγνωστο ορυκτό ήταν χρυσόκολλα θα έπρεπε να περιέχει ένα μικρό ποσοστό αργιλίου στο κρυσταλλικό του πλέγμα και θα μπορούσε να εντοπιστεί με τη μέθοδο ανάλυσης SEM-EDS. Αντιθέτως, δεν εντοπίστηκε σχεδόν καθόλου αργίλιο αλλά εντοπίστηκε θείο. Επομένως πρόκειται για ένα ορυκτό που περιέχει κατά βάση θείο και χαλκό. Στον παρακάτω πίνακα 14.3 αναφέρονται τα πιθανά ορυκτά που ταιριάζουν με βάση τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης SEM-EDS. Να σημειωθεί ότι η μέθοδος ανάλυσης SEM-EDS (Εικ.14.6) δεν μπορεί να εντοπίσει τις ποσότητες νερού που μπορεί να περιέχει το άγνωστο ορυκτό.

Πίνακας 14.3. Πιθανά ορυκτά με βάση τη χημική ανάλυση SEM του άγνωστου ορυκτού.

(www.mindat.org.com & www.webmineral.com)

Πιθανά Ορυκτά	CuO	H ₂ O	SO ₃	ZnO	CoO	MnO	CaO	MgO	FeO
Antlerite	67.27	10.16	22.57						
Bonattite	37.23	25.30	37.47						
Boothite	22.39	41.27	26.20	9.32	1.47	0.23		0.25	
Brochantite	70.35	11.95	17.70						
Chalcanthite	31.86	36.08	32.07						
Heterobrochanite	67.27	10.16	22.57						
Kobayashevite	44.57	16.82	24.92				8.73		
Langite	65.16	18.45	16.40						
Montetrisaite	72.09	16.41	11.30	0.37					
Poitevinite	27.20	10.27	45.62	4.64					12.28
Posnjakite	67.65	15.32	17.02						
Ramsbeckite	48.99	16.77	17.53	16.71					
Redgillite	71.68	16.24	12.07						
Udokanite	67.27	10.16	22.57						
Vernadskite	67.27	10.16	22.57						
Wroewolfeite	65.16	18.45	16.40						
Chalcocyanite	49.84		50.16						
Dolerophanite	66.52		33.48						

Στην τομή παρατηρήθηκαν και αναλύθηκαν γρανάτες και πυρόξеноι. Στους παρακάτω πίνακες (14.4 & 14.5) δίνονται οι χημικές συστάσεις των γρανάτων και των πυροξένων μετά από την επεξεργασία των δεδομένων της μικροανάλυσης. Στην εικόνα 14.6 δίνονται οι

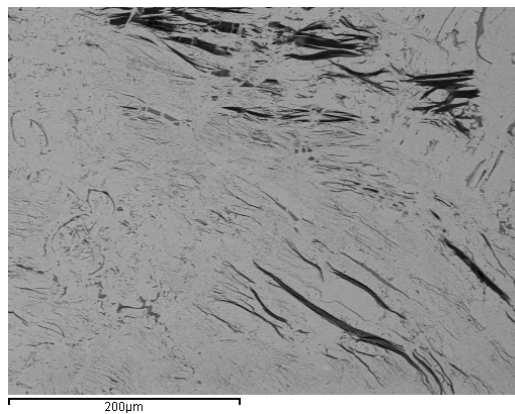
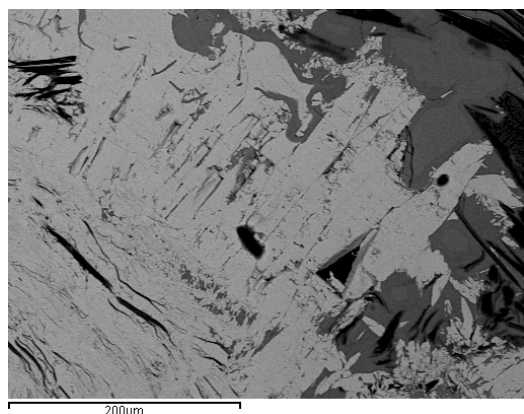
οπισθοσκεδαζόμενες μικροφωτογραφίες του άγνωστου ορυκτού από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

Πίνακας 14.4. Χημικές αναλύσεις και υπολογισμός του χημικού τύπου των γρανατών του δείγματος μπροχαντίτη.

Ανάλυση (%κ.β.)	C2 3a						C2 4a		
Οξείδια	4	5	6	7	8	9	1	2	3
SiO ₂	38,38	38,81	37,88	36,79	36,63	36,91	36,85	36,62	36,65
TiO ₂	1,54	1,48	2,10		0,14	0,25	0,01		
Al ₂ O ₃	12,88	12,36	12,85	1,30	0,23	2,55		0,21	0,04
Cr ₂ O ₃	0,16	0,01	0,03						
FeO / FeO _{tot}	10,72	11,55	11,11	28,03	29,10	25,73	29,20	29,59	29,32
MnO	0,31	0,65	0,33	0,19	0,26	0,32	0,35	0,62	0,46
MgO	0,20	0,10	0,04			0,33	0,06		0,15
CaO	35,86	35,01	35,54	33,40	34,04	33,87	33,92	32,92	33,53
Na ₂ O	0,05	0,10	0,08			0,22		0,13	
Σύνολο	100,10	100,08	99,96	99,71	100,39	100,18	100,39	100,09	100,16
Επαναυπολογισμός									
Τελικό FeO	0,42	1,57	0,87	1,01	0,05	0,00	0,15	0,39	0,11
Τελικό Fe ₂ O ₃	11,44	11,08	11,38	30,02	32,28	28,60	32,29	32,45	32,46
Τελικό MnO	0,31	0,65	0,33	0,19	0,26	0,00	0,35	0,62	0,46
Τελικό Mn ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	101,24	101,18	101,10	102,71	103,62	103,08	103,63	103,34	103,41
Ακραία Μέλη									
<i>Schorlomite-Al</i>	0,79%		2,17%		0,42%	0,76%			
<i>Morimotoite</i>	2,76%	8,71%	5,67%				0,06%		
<i>NaTi garnet</i>	0,39%		0,62%						
<i>Morimotoite-Mg</i>	2,27%		0,48%						
<i>Majorite</i>							0,01%		
<i>Uvarovite</i>	0,51%	0,03%	0,10%						
<i>Spessartine</i>	0,68%	1,43%	0,73%	0,43%	0,57%			1,00%	0,13%
<i>Pyrope</i>		0,40%				1,20%			
<i>Almandine</i>		0,13%		1,90%					
<i>Grossular</i>	57,53%	54,84%	56,21%	3,94%		9,90%			
<i>Andradite</i>	33,48%	32,52%	33,43%	92,49%	98,79%	86,86%	98,82%	96,33%	98,00%
<i>Calderite</i>					0,03%		0,37%	0,43%	0,94%
<i>Skiagite</i>					0,12%			0,89%	0,26%
<i>Khoharite</i>									0,63%
Υπόλοιπο	1,60%	1,93%	0,60%	1,24%	0,08%	1,28%	0,74%	1,35%	0,04%
Σύνολο%	100,01	99,99	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00

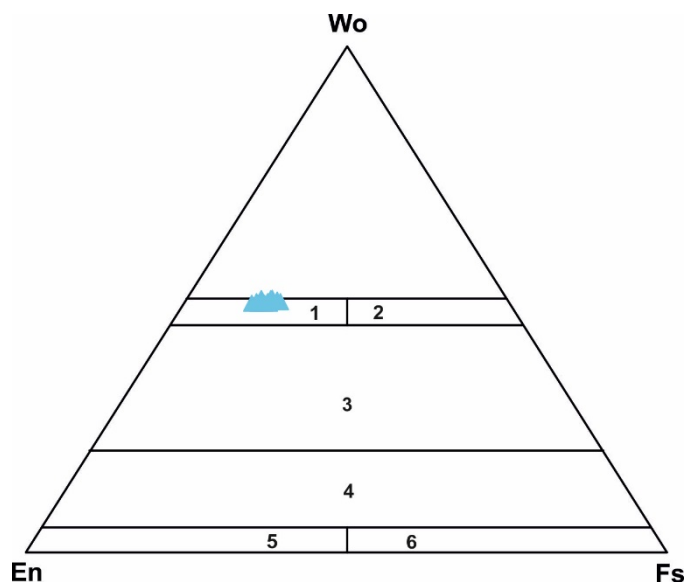
Πίνακας 14.5. Χημικές αναλύσεις και υπολογισμός του χημικού τύπου των πυροξένων του δείγματος μπροχαντίτη.

Περιοχή ανάλυσης	C1 2a					C1 3a					C2 1a					C2 3a		
Κωδικός ανάλυσης	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	11	4	5	6	1	2	3	
Ανάλυση οξειδίων																		
SiO2	52,94	53,37	53,54	53,38	53,33	53,25	53,51	53,58	53,76	53,82	53,54	53,37	53,49	53,50	52,88	53,44	52,74	
TiO2					0,05	0,09		0,05					0,05		0,20			
Al2O3	0,36	0,27	0,10		0,46	0,06	0,18	0,17		0,05	0,19	0,05	0,15		0,24	0,14		
FeO	6,93	6,98	4,85	6,65	6,42	6,70	6,80	6,26	5,56	5,84	6,69	7,78	6,46	7,20	7,52	6,76	7,21	
MnO	1,44	1,70	1,95	0,93	1,02	1,81	1,52	1,51	1,58	1,65	1,57	1,65	1,53	1,81	1,65	1,69	1,33	
MgO	12,87	13,30	14,58	14,13	13,70	12,95	13,11	13,68	14,20	14,08	13,37	12,55	13,69	12,88	12,84	13,15	13,53	
CaO	24,72	24,69	24,71	24,84	25,02	24,57	24,75	24,63	24,74	24,55	24,67	24,23	24,58	24,91	24,49	24,47	24,69	
Na2O				0,14		0,08	0,11	0,07	0,01	0,18		0,29			0,05	0,23	0,13	
K2O			0,02	0,03	0,04	0,09		0,02	0,06		0,12	0,05			0,14			
Cr2O3			0,27	0,01		0,12	0,03	0,07	0,10	0,02			0,21		0,11	0,13	0,04	
NiO	0,34		0,10			0,05	0,06		0,04			0,17	0,01	0,05		0,07		
Total	99,59	100,30	100,11	100,12	100,03	99,79	100,07	100,05	100,06	100,19	100,15	100,14	100,18	100,35	100,12	100,08	99,68	
Site allocations (6 o)																		
Si	1,992	1,991	1,985	1,982	1,986	1,999	1,999	1,996	1,998	1,997	1,998	2,000	1,993	2,000	1,982	1,996	1,975	
Al	0,008	0,009	0,004	0,000	0,014	0,001	0,001	0,004	0,000	0,002	0,002	0,000	0,006	0,000	0,011	0,004	0,000	
Fe3	0,000	0,000	0,011	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,025	
T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Al	0,008	0,003	0,000	0,000	0,006	0,001	0,007	0,004	0,000	0,000	0,006	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	
Fe3	0,000	0,006	0,008	0,029	0,007	0,002	0,001	0,001	0,003	0,015	0,002	0,022	0,000	0,000	0,014	0,016	0,034	
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,000	0,000	
Cr	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,004	0,001	0,002	0,003	0,001	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,004	0,001	
Ni	0,010	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	
Mg	0,722	0,739	0,806	0,782	0,760	0,724	0,730	0,760	0,787	0,779	0,744	0,701	0,761	0,718	0,717	0,732	0,755	
Fe2	0,218	0,211	0,131	0,159	0,193	0,209	0,211	0,194	0,168	0,165	0,207	0,221	0,201	0,225	0,214	0,195	0,167	
Mn	0,042	0,040	0,044	0,029	0,032	0,056	0,047	0,037	0,039	0,040	0,041	0,048	0,030	0,055	0,046	0,050	0,042	
M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Mn	0,004	0,013	0,017	0,000	0,000	0,001	0,001	0,010	0,011	0,011	0,008	0,004	0,018	0,002	0,007	0,004	0,000	
Ca	0,996	0,987	0,982	0,988	0,998	0,988	0,991	0,983	0,985	0,976	0,986	0,972	0,981	0,998	0,983	0,979	0,991	
Na	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,006	0,008	0,005	0,001	0,013	0,000	0,021	0,000	0,000	0,004	0,017	0,010	
K	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,004	0,000	0,001	0,003	0,000	0,006	0,002	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	
M2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
En	36,4	37,0	40,3	39,0	38,2	36,6	36,9	38,3	39,4	39,2	37,4	35,6	38,2	35,9	36,1	37,0	37,5	
Fs	13,3	13,6	10,6	11,8	11,7	13,5	13,1	12,2	11,2	11,7	13,0	15,0	12,5	14,1	14,5	13,4	13,3	
Wo	50,3	49,4	49,1	49,3	50,1	49,9	50,0	49,5	49,4	49,1	49,6	49,4	49,3	49,9	49,4	49,6	49,2	

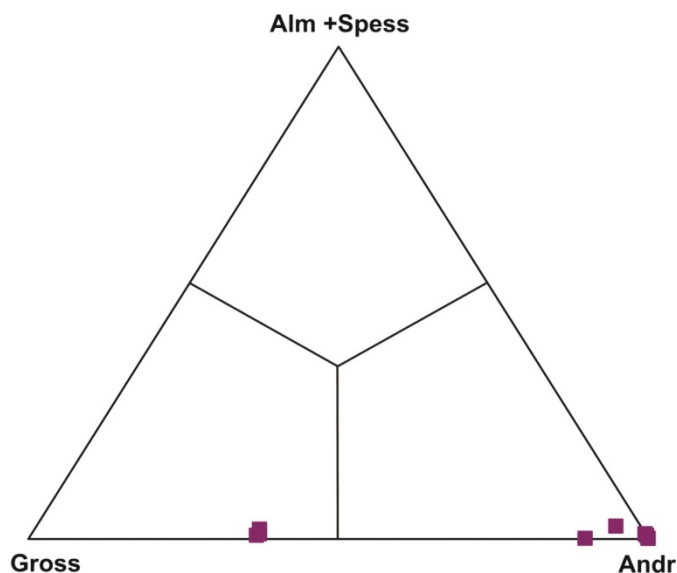


Εικόνα 14.6. Οπισθοσκηδζόμενες μικροφωτογραφίες του άγνωστου ορυκτού από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

Η ταξινόμηση των πυροξένων σε τριγωνικό διάγραμμα κατά Morimoto έδειξε ότι οι πυρόξενοι του άγνωστου δείγματος έχουν σύσταση διοψιδίου (Σχ.14.1). Αντίστοιχο τριγωνικό διάγραμμα κατασκευάστηκε για τους γρανάτες του άγνωστου δείγματος (Σχ.14.2). Όπως φαίνεται και από τους πίνακες, οι γρανάτες έχουν σύσταση γροσσουλάριου - ανδραδίτη. Ο γρανάτης εμφανίζει ζώνωση. Ο πυρήνας έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γροσσουλάριο (54,84%-57,53%), ενώ στην περιφέρεια το ποσοστό του γροσσουλάριου μειώνεται και αυξάνει το ποσοστό του ανδραδίτη το οποίο φτάνει το 98,82%.



Σχήμα 14.1. Διάγραμμα ταξινόμησης των πυροξένων κατά Morimoto (1989). Wo=βολλαστονίτης, En=ενστατίτης, Fs=φερροσυλίτης. Πεδίο 1=διοψίδιος, 2=εδενβεργίτης, 3=αυγίτης, 4=πιζονίτης, 5=ενστατίτης, 6=φερροσυλλίτης.



Σχήμα 14.2. Διάγραμμα ταξινόμησης των γρανάτων με βάση το εκατοστιαίο ποσοστό των ακραίων μελών τους. Gross=γροσσουλάριος, Alm+Spess=αλμανδίνης+σπεσσαρτίνης, Andr=ανδραδίτης.

14.4. Ανάλυση με φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR).

Για τον προσδιορισμό του άγνωστου δείγματος χρησιμοποιήθηκε η φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR).. Το δείγμα αρχικά κονιοποιήθηκε μέχρι το σημείο αναφούς κόνεως σε αχάτινο γουδί. Στη συνέχεια αναμείχθηκε με καθαρό KBr (απαλλαγμένου υγρασίας). Στο τελικό στάδιο κατασκευάστηκε δισκίο του παραπάνω μίγματος μέσω φορέα διαμέτρου 13 mm και ασκήθηκε πίεση 7t σε υδραυλικό πιεστήριο χειρός. Το φάσμα απορρόφησης που λήφθηκε από το φασματοσκόπιο υπερύθρου δίνεται στην εικόνα 14.9.

Για την τεχνική λήψης του φάσματος :

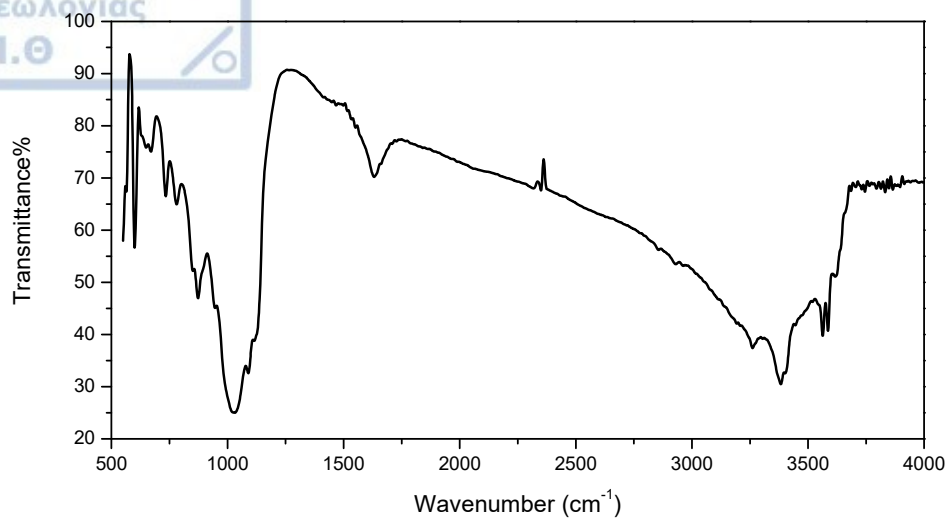
Κόκκοι του υλικού τοποθετήθηκαν πάνω σε δισκίο KBr και λήφθηκαν φάσματα διαπερατότητας, με ίριδα 50μm και 64 scans, με μικροσκόπιο υπερύθρου μοντέλο i-series της εταιρείας Perkin-Elmer.

Αποτίμηση φάσματος:

Στο φάσμα διαπερατότητας που λήφθηκε από το υλικό (Σχ.14.3) διαπιστώθηκε η ύπαρξη μιας διπλής κορυφής στα 3587 και στα 3565 cm^{-1} η οποία οφείλεται σε δόνηση έκτασης των δεσμών O-H των ελευθέρων υδροξυλίων. Η ελαφρώς ευρεία κορυφή στα 3410-3360 cm^{-1} , που εμπεριέχει κορυφές στα ~3403, 3383, 3369 cm^{-1} , αποδίδεται σε ομάδες OH που σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με διαφορετικούς ενδιάμεσους βαθμούς, ενώ η οξεία κορυφή στα 3262 cm^{-1} οφείλεται σε ομάδες OH που σχηματίζουν πολύ ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου.

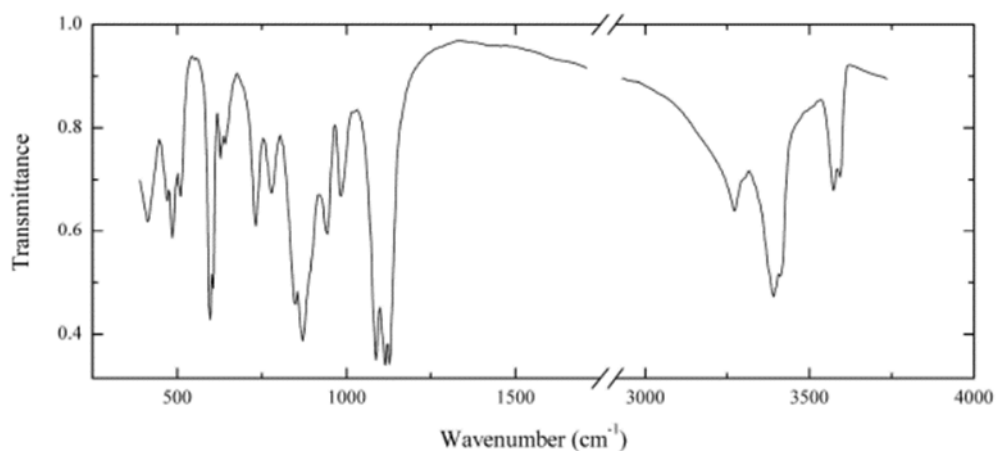
Επιπλέον κορυφές που αποδίδονται σε δονήσεις Cu-O-H εμφανίζονται στα 990 και 943 cm^{-1} (strong H-bonded OH) , 872 και 849 cm^{-1} (medium H-bonded OH) 780 και 732 cm^{-1} (free OH).

Οι κορυφές στα 1121, 1088 και 1040 cm^{-1} αποδίδονται σε δονήσεις (ν_3) της ομάδας -SO₄ , ενώ οι κορυφές 676, 644 και 602 cm^{-1} αποδίδονται σε δονήσεις (ν_4) της ομάδας -SO₄ και είναι χαρακτηριστικές για το ορυκτό μπροχαντίτη (Secco 1988, Valadas et al 2015).



Σχήμα 14.3. Φάσμα διαπερατότητας FTIR του άγνωστου ορυκτού.

Στο σχήμα 14.4 παρατίθεται για σύγκριση φάσμα διαπερατότητας του ορυκτού μπροχαντίτη από την βιβλιογραφία (Chukanov 2014).



Σχήμα 14.4. Φάσμα διαπερατότητας FTIR του μπροχαντίτη από την βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι το άγνωστο πράσινο ορυκτό είναι μπροχαντίτης.

14.5. Μπροχαντίτης

Ο μπροχαντίτης είναι ορυκτό το οποίο ανήκει στην κατηγορία των ορυκτών του χαλκού. Το όνομα του δόθηκε προς τιμήν του Γάλλου γεωλόγου-ορυκτολόγου Andre Jean Francois Marie Brochant de Villiers (1772–1840) ο οποίος πρώτος μελέτησε και προσδιόρισε το συγκεκριμένο ορυκτό. Έχει τον εξής χημικό τύπο: $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ και κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα. Μακροσκοπικά ο μπροχαντίτης έχει πράσινο χρώμα, παρόμοιο με αυτό του σμαραγδιού και είναι ημιδιαφανής. Παρουσιάζει μαργαριταρώδη λάμψη κυρίως κατά μήκος του σχισμού του. Εμφανίζεται σε πρισματικές ή επιμηκυσμένες μορφές (Εικ.14.7) συνήθως κατά τον άξονα [001] και σπανιότερα κατά τον άξονα [010]. Κάποιες φορές εμφανίζει ψευδορομβικές μορφές. Το μήκος των κρυστάλλων του συνήθως δεν ξεπερνάει τα 5cm. Εμφανίζει διδυμία κατά το επίπεδο (100) καθώς και σχισμό κατά το ίδιο επίπεδο. Η σκληρότητα του κυμαίνεται από 3,5-4 στην κλίμακα Mohs και έχει κογχώδη θραυσμό. Η χημική σύσταση του μπροχαντίτη φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 14.6).

Πίνακας 14.6. Χημική σύσταση του μπροχαντίτη (<https://www.mindat.org/>).

SO ₃	17,54	17.70
CuO	70.29	70.35
H ₂ O	11,96	11.95
Total	99.79	100,00

Ο μπροχαντίτης εμφανίζεται κυρίως μαζί με ορυκτά του χαλκού σε ξηρές περιοχές χαμηλής οξύτητας. Συνυπάρχει μαζί με μαλαχίτη, αζουρίτη, τενορίτη, χρυσόκολλα, ατακαμίτη και οξείδια του σιδήρου.



14.7. Μπροχαντίτης από το Λαύριον Αττική (<https://www.mindat.org/photo-820820.html>).

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν δύο ορυκτά από την περιοχή Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης. Το πρώτο ήταν ένας ζωνώδης αχάτης ο οποίος παρουσιάζει κυανό-ιώδες χρώμα και το δεύτερο ήταν ένα κυανό-πράσινο ορυκτό. Το χρώμα των ζωνών του αχάτη, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της ανάλυσης με SEM-EDS, πιθανόν να οφείλεται σε ιόντα Fe που υπάρχουν σε ικανή ποσότητα στο πλέγμα ή στους πόρους του ορυκτού. Το δεύτερο ορυκτό αρχικά θεωρήθηκε ως χρυσόκολλα. Όμως οι χημικές αναλύσεις με SEM-EDS έδειξαν ότι το συγκεκριμένο ορυκτό δεν μπορεί να είναι χρυσόκολλα εφόσον δεν περιέχει Si αλλά S. Με τη μέθοδο FTIR το ορυκτό χαρακτηρίστηκε ως μπροχαντίτης. Όπως προέκυψε από τη μελέτη του μπροχαντίτη, τόσο με το οπτικό όσο και με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, συναντάται σε παραγένεση με πυροξένους, συστάσεως διοψιδίου και με γρανάτες συστάσεως γροσσουλάριου-αλμανδίνη. Με βάση την παραγένεση, είναι πιθανόν ο μπροχαντίτης να συνδέεται με μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης.

Η γεωλογία παρόλο που είναι μια ιδιαίτερα εξειδικευμένη και εφαρμοσμένη επιστήμη γύρω από τους πολύτιμους λίθους, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της επιστήμης της Ορυκτολογίας - Πετρολογίας. Οι μέθοδοι έρευνας αυτής της επιστήμης ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις αντίστοιχες έρευνες της Ορυκτολογίας με τη σημαντική διαφορά ότι στη γεωλογία υπάρχει η απόλυτη ανάγκη για εφαρμογή μη καταστροφικών (non- destructive) μεθόδων, δηλαδή μέθοδοι έρευνας οι οποίες δεν απαιτούν τη μερική ή ολική καταστροφή του δείγματος που μελετάται. Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζονται αρχικά βασικές γεωλογικές έννοιες και μέθοδοι, μακροσκοπικά οπτικά φαινόμενα καθώς και κριτήρια αξιολόγησης πολύτιμων λίθων με βάση την κοπή τους, την περιεκτικότητά τους σε εγκλείσματα και τις μεταβολές χημικών στοιχείων που καθορίζουν το χρώμα και την αξία τους. Επιπλέον, αναφέρονται βασικές κατεργασίες βελτίωσης της μακροσκοπικής εμφάνισης των πολύτιμων λίθων καθώς και νέες μέθοδοι δημιουργίας συνθετικών μορφών ή είδη απομιμήσεων αυτών.

Στο δεύτερο μέρος εφαρμόζονται ορυκτολογικές αναλυτικές μέθοδοι για το χαρακτηρισμό δύο ορυκτών που προέρχονται από την περιοχή Ξάνθης-Αλεξανδρούπολης. Η πρώτη ορυκτολογική έρευνα αφορούσε την εύρεση του χημικού στοιχείου που ευθύνεται για το χρωματισμό ενός ζωνώδους αχάτη ο οποίος παρουσιάζει κυανά-ιώδη χρώματα. Με βάση τη μελέτη λεπτών στιλπνών τομών και ανάλυση του δείγματος σε σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο συνδεδεμένο με ανιχνευτή ενεργειακής διασποράς, βρέθηκε ότι ο χρωματισμός του αχάτη οφείλεται σε ιόντα σιδήρου (Fe). Η δεύτερη ορυκτολογική έρευνα αφορούσε το χαρακτηρισμό ενός ορυκτού που μακροσκοπικά και σε πολωτικό μικροσκόπιο εμφάνιζε παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά της χρυσόκολλας. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν ότι το συγκεκριμένο ορυκτό δεν είναι χρυσόκολλα, αφού τα κύρια χημικά του στοιχεία είναι ο Cu και το S. Μέσω φασματοσκοπίας υπερύθρου το άγνωστο ορυκτό ταυτοποιήθηκε ως μπροχαντίτης. Οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των ορυκτών έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη γεωλογία και για τη διεξαγωγή ερευνών γύρω από τους πολύτιμους λίθους.



ABSTRACT

Gemology is an applied science specified in precious stones and is closely associated with Mineralogy. Research methods used for the characterization of precious stones are the same with those used in Mineralogy. Their basic difference is that in Gemology it is absolutely necessary to use non-destructive methods for the characterization of a sample that is under research.

The first part of this diploma thesis presents basic gemological concepts, physical properties and rare optical phenomena of gems. Moreover, cutting methods, chemical impurities and the number of inclusions may have an important impact on the colour and price of gems in the market. As a result, new treatments, synthetic and imitation methods can improve gems' appearance or even create new ones that can be flawless in most of their properties, in order to stay on demand in the jewellery market.

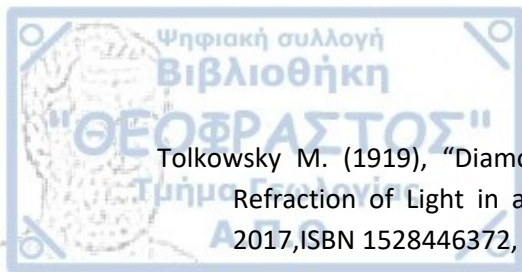
In the second part, mineralogical analytical methods are applied to two different minerals that occur in the area of Xanthi-Alexandroupoli, Greece. The first mineral is a blue laced agate. Based on observations from the optical microscope and analyses performed with a scanning electron microscope coupled with an energy dispersive spectrometer (SEM-EDS), the chemical element that causes the blue colour of the agate was determined as Fe. The second mineral was initially characterized as chrysocolla, based on macroscopic and microscopic properties. Chemical analyses revealed that the specific mineral lacked Si, but instead, contained Cu and S. Using Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) the mineral was identified as brochantite. Analytical methods used in the study of minerals are of interest to gemology and can also apply in the study of gems and precious stones.



ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson B., Payne J., Mitchell R.K. (2000), "Φασματοσκόπιο και τεχνολογία πολύτιμων λίθων" Εκδόσεις Ίλων 2000, ISBN 960-411-003-9, σελ.250
- Bauer M. (1968), "Precious stones", Volume I, Dover Publications INC. 1968, ISBN: 0-486-21910-0, p.260.
- Bauer M. (1968), "Precious stones", Volume II, Dover Publications INC. 1968, ISBN: 0-486-21911-9, p.627.
- Blodgett T., Geurts R., Gilbertson A., Lucas A., Pay D., Reinitz I., Shigley J., Yantzer K., Zink C. (2009), "Finish, Culet Size, and Girdle Thickness: Categories of the GIA Diamond Cut Grading System", Editor: Brooke Goedert, 2009 The Gemological Institute of America, pp.1-12, (https://www.gia.edu/doc/booklet_finish_culet_girdle.pdf).
- Breeding C.M. and Shigley J.E. (2009) "The type classification system of diamonds and its importance in gemology", Gems & Gemology 2009, Vol. 45, No. 2, pp. 96–111.
- Carbidwerk W., Schmetzer, Albert Gilg H.A., and Bernhardt H.-J. (2017), "Synthetic Star Sapphires and Rubies", Gems & Gemology, Fall 2017, Vol. 53, No. 3/ (<https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2017-synthetic-star-sapphires-rubies>).
- Chukanov N.V. (2014), "Infrared spectra of mineral species", Extended Library, Volume 1, Springer Geochemistry/Mineralogy, Springer Science+Business Media Dordrecht, p. 1726.
- Emmett J.L., Stone-Sundberg J., Guan Y. and Sun Z. (2017), "The role of silicon in the color of gem corundum", Gems & Gemology Spring 2017, Vol.53 No.1 pp.42-47
- Flörke, O.W., Kohler-Herbertz, B., Langer, K., and Tönges, I. (1982), "Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: agates", Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 80, p. 324-333.
- Fritsch E. and Rossinun G.R. (1988), "An update on color in gems: Part 2 Colors involving multiple atoms and color centers", Gems & Gemology Spring 1988/ (<https://www.gia.edu/doc/SP88A1.pdf>)
- Fritsch E. (2010), "The origin of color in minerals and gems", Geologica Balcanica XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23-26 September 2010 ISSN 0324-0894 pp.114-115.

- Gilbertson A. (2016), "Value Factors, Design, and Cut Quality of Colored Gemstones (Non-Diamond)", Gem Market News, The Gem Guide, January/February 2016.
- Hurlbut C.S Jr., and Kammerling R.C. (1991), "Gemology", Second edition, Wiley Interscience Publications 1991, ISBN:0-471-52667-3, p.336.
- Götze J., Tichomirowa M., Fuchs H., Pilot J., and Sharp, Z.D. (2001), "Geochemistry of agates; a trace element and stable isotope study", Chemical Geology, v. 175, no.3-4, p.523-541.
- Harder, H. (1993), "Agates-formation as a multi component colloid chemical precipitation at low temperature", Neues Jahrbuch fur Mineralogie, H.1, p. 31-48.
- Hurlbut C.S Jr. and Kammerling R.C. (1991), "Gemology", Second edition, Wiley Interscience Publications 1991, ISBN:0-471-52667-3, p.336.
- Lentz, G. (1999), "Die Entstehung der Farben in Achaten [The origin of color in agates]", der Aufschluss, v. 50, p. 343-348.
- McClure S.F., Smith C.P., Wang W. and Hall M. (2006), "Identification and durability of lead glass filled rubies", Gems & Gemology Spring 2006, Vol.42, No. 1, pp.22-34.
- Michalski T.C. and Foord E.E. (2005), "Seven Causes of Color in Banded Agates" Symposium on Agate and Cryptocrystalline Quartz, September 10 – 13, 2005, Sponsored by Friends of Mineralogy, Colorado Chapter, Colorado School of Mines Geology Museum, and U.S. Geological Survey, pp. 60-66.
- Moxon T.J. (1996)a, "The co-precipitation of Fe³⁺ and SiO₂ and its role in agate genesis", Neues Jahrbuch fur Mineralogie H.1, p. 21-36
- Moxon, T.J. (1996)b, "Agate – Microstructure and Possible Origin", Terra Publications, Auckley, 106 p.
- Nassau K. (1981), "Artificially induced color in amethyst-citrine quartz", Gems & Gemology Summer 1981, pp.37-39.
- Peters N. (2011), "Diamond Inclusions", American Institute of diamond cutting INC. 2011, ISBN: 9780966585476, p.208.
- Rossmann G.R. (1981), "Color in gems: The new techniques", Gems & Gemology Summer 1981, pp.60-71.
- Rossmann G.R. (2009), "The Geochemistry of Gems and Its Relevance to Gemology: Different Traces, Different Prices", DOI: 10.2113/gselements.5.3.159/Elements, Vol. 5, pp. 159–162
- Secco E.A. (1988), "Spectroscopic properties of SO₄ (and OH) in different molecular and crystalline environments. I. Infrared spectra of Cu₄(OH)₆SO₄, Cu₄(OH)₄OSO₄ and Cu₃(OH)₄SO₄." Can. J. Chem. 66, p.329
- Thompson D.B., Bayens C.J., Morgan M.B., Myrick T.J., and Sims N.E. (2017), "Photoluminescence spectra of emeralds from Colombia Afghanistan and Zambia", Gems & Gemology, Fall 2017, Vol. 53, No. 3.



Tolkowsky M. (1919), "Diamond Design: A Study of the Reflection and Refraction and Refraction of Light in a Diamond", Original edition: 1919, Publisher: Fb&c Limited 2017, ISBN 1528446372, 9781528446372, p.115

Valadas S., Freire R.V., Cardoso A., Mirão J., Dias C.B., Vandenabeele P. and Candeias A. (2015): "On the Use of the Unusual Green Pigment Brochantite ($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$) in the 16th-Century Portuguese-Flemish Paintings Attributed to The Master Frei Carlos Workshop", Microscopy Society of America, Microsc. Microanal. 21, pp. 518–525.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαλαβανίδης Αθ. Π. (2006), "Φασματοσκοπία οργανικών ενώσεων", Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας.

Δέσσου Ν. (2016) "Επίδραση των ιόντων στροντίου (Sr) στη βιοενεργή συμπεριφορά βιοκεραμικών υλικών του τριαδικού συστήματος $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO}$ ", Πτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής.

Δήμου Ε. Κ. (2013). "Σύνθεση και μελέτη του ρυθμού βιοαποικοδόμησης ασβεστοπυριτικών ημικρυσταλλικών υλικών." Πτυχιακή εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής.

Θεοδωρίκας Σ.Σ (2013), "Ορυκτολογία-Πετρολογία", Εκδόσεις: Γραφικές τέχνες Μέλισσα, 4^η έκδοση, Θεσσαλονίκη 2013, ISBN:978-960-89904-6-3, σελ.928.

Θεοδωρίκας Σ.Σ. (2013), "Γεωχημεία", 5^η έκδοση, Θεσσαλονίκη 2013, Εκδόσεις: Γραφικές τέχνες Μέλισσα, ISBN:978-960-89904-5-6, σελ.784.

Παλαιολόγου Μ.Χ. (2017), "Μελέτη και χαρακτηρισμός βιοορυκτών με ορυκτολογικές μεθόδους έρευνας", Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας.

Σαπουντζής Η.Σ. και Χριστοφίδης Γ.Θ. (1985), "Ορυκτοδιαγνωστική", University Studio Press 1985, ISBN: 960-12-0149-1, σελ. 239.

Χρυσανθάκη Ι.Α. (2005), "Μακροσκοπικά & οπτικά χαρακτηριστικά πολύτιμων και ημιπολύτιμων λίθων", Εκδόσεις Ίων 2005, ISBN:960-411-533-2, σελ. 110

ΙΣΤΟΛΟΓΙΟ

<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/>

<https://ringspo.com/diamond-cut/>

<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/cut?track=NavEduDiaCut>



<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-carat>

<https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2018-cultured-pearls-from-lake-kasumigaura-production-and-gemological-characteristics>

An Introduction to Gem Treatments/ Robert Weldon 2016/ (<https://www.gia.edu/gem-treatment>)

<https://www.gia.edu/gia-about-4cs-color>

http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_C/lessons/Lesson_04.pdf

<https://www.bluenile.com/gr/education/diamonds/shape?track=SideNav>

(http://ph277.edu.physics.uoc.gr/files/Electron_Microscopy_Notes_VBinas2.pdf), Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική Μικροσκοπία/ Καθ. Γεώργιος Κυριακίδης Δρ. Βασίλειος Μπίνας /Ηράκλειο 2014

<https://www.gia.edu/gia-about/4cs-clarity>

<https://www.gia.edu/gem-imitation#item-1>

http://www.webmineral.com/data/Chrysocolla.shtml#.Xlenh_ZuJPY

www.mindat.org.com

www.webmineral.com

<https://www.mindat.org/photo-820820.html>

(<http://www.jewelpedia.com/lex202-tartarouga-tortoise-shell.html>)

Diamond essentials course de02 2002 GIA

Colored Stones essentials course cs06 1999 GIA