



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ- ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ- ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ

ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗΣ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021



[λευκή σελίδα]



ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΜΟΥΡΑΤΙΔΟΥ
ΑΕΜ: 5726

ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗΣ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ- ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ- ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΛΑΜΠΡΙΝΗ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ



©Αλεξάνδρα Μουρατίδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας- Πετρολογίας- Κοιτασματολογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗΣ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ– *Πτυχιακή εργασία*

©Alexandra Mouratidou, School of Geology, Dept. of Mineralogy – Petrology – Economic Geology, 2021

All rights reserved.

Astrophyllite: Structure, mineral chemistry and occurrence – *Bachelor Thesis*

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.



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2. Η ΟΜΑΔΑ ΤΟΥ ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗ	10
3. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	13
4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	20
5. ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ.....	23
6. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	39
7. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	42
8. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΟΠΟΥ ΣΥΝΑΝΤΑΤΑΙ Ο ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗΣ	45
9. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αστροφυλλίτης αποτελεί ένα πολύ σπάνιο πυριτικό ορυκτό με καφέ έως χρυσό-κίτρινο χρώμα. Κύρια συστατικά του είναι ο σίδηρος, το τιτάνιο και ορισμένα αλκάλια. Ανήκει σε μία ευρύτερη ομάδα που είναι γνωστή ως «ομάδα του αστροφυλλίτη». Ο γενικός χημικός τύπος του σύμφωνα με την IMA είναι $K_2NaFe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$.

Ο αστροφυλλίτης σχηματίζει λεπίδες που παραπέμπουν στη μορφή άστρου, από όπου έχει λάβει και την ονομασία του σε συνδυασμό με τη λέξη «φύλλο».

Η λάμψη του είναι στεατώδης, μαργαριτωδής ή υπομεταλλική. Ο αστροφυλλίτης είναι βαρύς, μαλακός και εύθραυστος. Επιπλέον, η γραμμή σκόνης του αστροφυλλίτη είναι χρυσή.

Τα μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη έχουν βρεθεί σε χαλαζιακούς ή νεφελινικούς συηνίτες, σε αλκαλικούς γρανίτες και σε συνδεδεμένους με αυτούς πηγματίτες. Ο αστροφυλλίτης έχει ανευρεθεί κυρίως σε περιοχές της Γροιλανδίας, της Ρωσίας και της Νορβηγίας. Στον ελληνικό χώρο τα υπό εξέταση πετρώματα δεν συναντώνται και, κατά συνέπεια, ούτε και το εν λόγω ορυκτό.

Ο αστροφυλλίτης ενδιαφέρει κυρίως την επιστημονική έρευνα καθώς, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητάς του και του υψηλού του κόστους, σπανίως χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της διακόσμησης, αν και ενίοτε αξιοποιείται στην κοσμηματοποιία.



ABSTRACT

Astrophyllite is a very rare silicate mineral of brown to gold-yellow color. It contains iron, titanium and some alkalis. It belongs to a wider group known as the “astrophyllite group”. The general chemical formula of astrophyllite according to IMA is $K_2NaFe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$.

Astrophyllite typically forms star-shaped blades, from which its name derives in conjunction with the word "leaf".

The lustre of astrophyllite is oily, pearly or submetallic. Astrophyllite is heavy, soft and brittle. Furthermore, astrophyllite's streak is golden.

The species of the astrophyllite group occur in quartz or nepheline syenites, alkaline granites, and related rocks. Astrophyllite has been found mainly in Greenland, Russia and Norway. In Greece, these rock types do not occur and consequently, neither does astrophyllite.

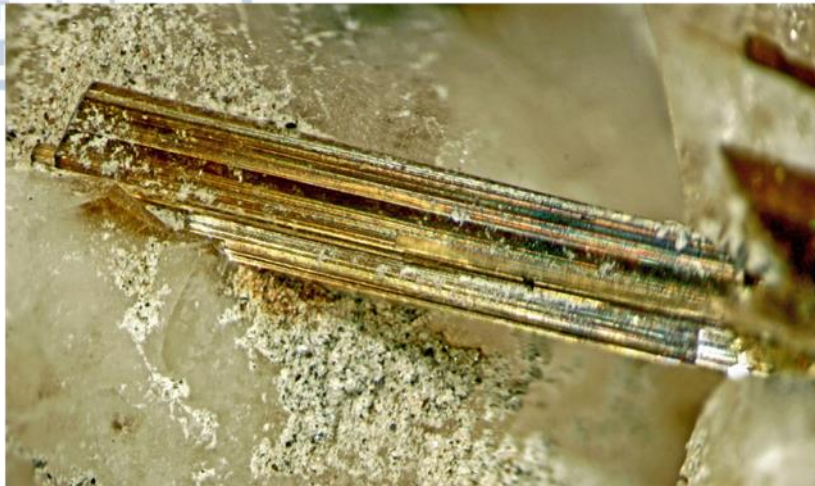
Astrophyllite is mainly of interest to scientific research as, due to its limited availability and high cost, astrophyllite is rarely used in decoration, although it is sometimes used in jewelry.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αστροφυλλίτης (εικ. 1) συνιστά ένα ιδιαίτερα σπάνιο ορυκτό του οποίου το χρώμα κυμαίνεται από το καφέ μέχρι το χρυσό ή κίτρινο. Με την αυστηρή έννοια πρόκειται για ένα πυριτικό ορυκτό στο οποίο τη σύσταση κυριαρχεί συνήθως ο σίδηρος, ενώ παράλληλα περιλαμβάνει αλκάλια και τιτάνιο. Τα ορυκτά της ομάδας του αστροφυλλίτη χαρακτηρίζονται ως ινοπυριτικά, φυλλοπυριτικά ή ενδιάμεσης μορφής. Ο αστροφυλλίτης σχηματίζει μία ισόμορφη σειρά με τον κουπλετσκίτη (kupletskite), με τον οποίον οπτικά είναι πανομοιότυπος και συχνά ταυτίζεται λανθασμένα. Κατά την επεξεργασία του, καθώς οι κρύσταλλοι του ορυκτού διαθέτουν από μόνοι τους εξαιρετικό σχισμό (ως σχισμός αναφέρεται η ιδιότητα ενός ορυκτού να σπάζει ή να σχίζεται σε συγκεκριμένα επίπεδα στα οποία η ατομική δομή του ορυκτού είναι ασθενής), συνήθως αφήνονται *in situ*, ενώ συνήθως το σύνολο του ορυκτού κόβεται σε πλάκες και γυαλίζεται. Το εν λόγω ορυκτό ενδιαφέρει κυρίως την επιστημονική έρευνα, καθώς, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητάς του και του υψηλού του κόστους, ο αστροφυλλίτης σπανίως χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της διακόσμησης. Εν τούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στην κοσμηματοποιία σε κοπές cabochon (Mindat.org).



Εικόνα 1. Δείγμα αστροφυλλίτη από τον ορεινό όγκο Khibiny στη Ρωσία (Mindat.org).



Εικόνα 2. Δείγμα αστροφυλλίτη, Κεμπέκ, Καναδάς (Mindat.org).

Ο αστροφυλλίτης ανακαλύφθηκε το 1844 σε πηγματίτη νεφελινικής συηνιτικής σύστασης στο νησί Låvenh στη νοτιοανατολική Νορβηγία και περιγράφηκε ως ένας «καφέ μαρμαρυγίας». Ακολούθως, ονομάστηκε και περιγράφηκε επίσημα από τον Scheerer το 1854 και τον Brøgger το 1890. Τα μέλη της αστροφυλλιτικής ομάδας έχουν περιγραφεί συνήθως ως «επουσιώδη» πετρογενετικά ορυκτά στους υπεραλκαλικούς νεφελινικούς συηνίτες, τους αλκαλικούς γρανίτες και τους συνδεδεμένους με αυτούς πηγματίτες. Επιπλέον, έχουν περιγραφεί ως συστατικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων, όπως ο νεφελινικός συηνιτικός γνεύσιος και ο ρειβεκιτικός γνεύσιος (Piilonen et al., 2003α).

Τα μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη έχουν εντοπιστεί σε περιορισμένες περιοχές αλκαλικών όγκων, οι οποίες περιλαμβάνουν κατά βάση τις ακόλουθες: Mont Saint-Hilaire (Κεμπέκ) (εικ. 2), Strange Lake και Seal Lake (Λαμπραντόρ), τους ορεινούς όγκους Khibiny (εικ. 3) και Lovozero στη Ρωσία, καθώς και τη χερσόνησο Kola της Ρωσίας, τα συμπλέγματα Ilmaussaq, Narssarssuk, Kangerdlugssuaq και Werner Bjerger στη Γροιλανδία και τα Mount Rosa και Pikes Peak στο Κολοράντο των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ).

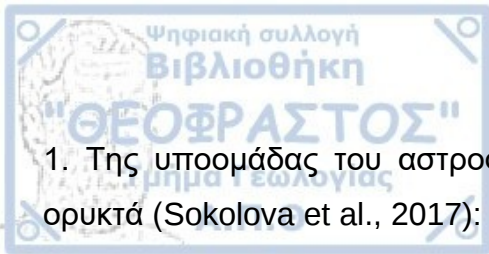
Αν και η ύπαρξη του αστροφυλλίτη είναι γνωστή από τα τέλη του 19ου αιώνα, έχει υπάρξει μία εκτενής συζήτηση που αφορά το κρυσταλλικό σχήμα, τη μέθοδο υπολογισμού του γενικού μοριακού τύπου του ορυκτού και τη σύστασή του (Piilonen et al., 2003).

2. Η ΟΜΑΔΑ ΤΟΥ ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗ

Στην ευρύτερη ομάδα του αστροφυλλίτη (astrophyllite) περιλαμβάνονται, πέραν του αστροφυλλίτη, τα εξής ορυκτά (Sokolova et al., 2017):

1. Κουπλετσκίτης-1Α (Kupletskite-1A)
2. Κουπλετσκίτης-2Μ (Kupletskite-2M)
3. Κουπλετσκίτης-(Cs) (Kupletskite-(Cs))
4. Αστροφυλλίτης μαγνησίου ή μαγνησιοαστροφυλλίτης ή λομπανοβίτης, όπως έχει ονομαστεί πρόσφατα το εν λόγω ορυκτό (Lobanovite)
5. Βουλγακίτης (Bulgakite)
6. Νιοβοφυλλίτης (Niobophyllite)
7. Ναλιφκινίτης (Nalivkinite)
8. Ζirkονοφυλλίτης (Zircophyllite)
9. Νιοβοκουπλετσκίτης (Niobokupletskite)
10. Σβαϊνμπεργκίτης (Sveinbergeite)
11. Δεβιτοΐτης (Devitoite)
12. Ταρβαγαταΐτης (Tarbagataite)

Βάσει νεότερης ταξινόμησης, τα παραπάνω ορυκτά μπορούν να διακριθούν σε τρεις υποομάδες, ήτοι (Sokolova et al., 2017):



1. Της υποομάδας του αστροφυλλίτη (astrophyllite), που περιλαμβάνει τα ακόλουθα ορυκτά (Sokolova et al., 2017):

α. Τον αστροφυλλίτη

β. Τον νιοβοφυλλίτη

γ. Τον ζirkονοφυλλίτη

δ. Τον ταρβαγαταΐτη

ε. Τον ναλιφκινίτη

στ. Τον βουλγακίτη.

2. Της υποομάδας του κουπλετσκίτη (kupletskite), που περιλαμβάνει τα ακόλουθα ορυκτά (Sokolova et al., 2017):

α. Τον κουπλετσκίτη-1A

β. Τον κουπλετσκίτη-2M

γ. Τον νιοβοκουπλετσκίτη

δ. Τον κουπλετσκίτη-(Cs)

3. Της υποομάδας του δεβιτοΐτη (devitoite), που περιλαμβάνει τα ακόλουθα ορυκτά (Sokolova et al., 2017):

α. Τον δεβιτοΐτη

β. Τον σβαϊνμπεργκίτη

γ. Τον λομπανοβίτη.



Εικόνα 3. Δείγμα αστροφυλλίτη, ορεινός όγκος Khibiny, Ρωσία (Mindat.org).

3. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Έπειτα από την επίσημη περιγραφή του υπό εξέταση ορυκτού από τον Brøgger το 1890 έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά λίγες λεπτομερείς κρυσταλλογραφικές και χημικές έρευνες στην ομάδα των αστροφυλλιτών. Η κρυσταλλική δομή του μαγνησιούχου αστροφυλλίτη ανιχνεύτηκε πρώτη φορά από τους Peng & Ma (1963), ενώ η δομή του τρικλινούς αστροφυλλίτη προσδιορίστηκε από τον Woodrow (1967), ο οποίος την περιέγραψε ως μία στρωματώδη τιτανιοπυριτική δομή με μεγάλη συνάφεια με τον βιοτίτη. Μέχρι πρόσφατα οι περισσότερες χημικές συστάσεις που προτάθηκαν στη βιβλιογραφία για τον αστροφυλλίτη λάμβαναν χώρα στο πλαίσιο ευρύτερων μελετών επί της πετρογένεσης των αλκαλικών συμπλεγμάτων στα οποία εντοπίζεται το εν λόγω ορυκτό.

Οι Ganzeyev et al. (1969) ήταν από τους πρώτους ερευνητές που διερεύνησαν την ισόμορφη αντικατάσταση κατιόντων αλκαλίων στα ενδοστρωματικά επίπεδα (συγκεκριμένα, την αντικατάσταση ατόμων ρουβιδίου, καϊσίου και λιθίου με άτομα καλίου). Ο Chelishchev (1972) υλοποίησε την μόνη γνωστή πειραματική εργασία που αφορά την ιοντική ανταλλαγή του καλίου με το νάτριο, το ρουβίδιο και το καΐσιο σε υδατικό περιβάλλον υπό υπερκρίσιμες συνθήκες (400-600°C). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας έδειξαν αυξημένο βαθμό αντικατάστασης νατρίου από κάλιο με αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες (600°C) ευνοούν την αντικατάσταση των ατόμων ρουβιδίου και καϊσίου με άτομα καλίου.

Οι Macdonald & Saunders (1973) παρήγαγαν την πρώτη ευρεία συλλογή χημικών δεδομένων για τα ορυκτά της ομάδας του αστροφυλλίτη και επιχείρησαν να συσχετίσουν τη χημική τους σύσταση με την παραγένεση. Τα ορυκτά που προέρχονταν από υποκορεσμένα πετρώματα φάνηκε ότι χαρακτηρίζονταν από υψηλότερη περιεκτικότητα σε αργίλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, υδροξύλια, σίδηρο, κάλιο, νάτριο και ζirkόνιο σε σχέση με τα υπερκορεσμένα πετρώματα. Δεν πραγματοποιήθηκε, ωστόσο, κάποια προσπάθεια διαχωρισμού μεταξύ των μελών στα οποία κυριαρχεί ο σίδηρος και εκείνων στα οποία κυριαρχεί το μαγγάνιο και που παρουσιάζουν έντονη αντίθεση ως προς τα χημικά τους χαρακτηριστικά στο ίδιο πετρογενετικό περιβάλλον.

Οι Layne et al. (1982) πραγματοποίησαν αναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή (Electron-Microprobe Analysis, EMPA) σε δείγματα αστροφυλλίτη από υπερκορεσμένες σε πυρίτιο και υποκορεσμένες πηγματιτικές τάφρους στην ανατολική Γροιλανδία (Bagnaasset and Kramers Island, Kangerdlugssuaq). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές ήταν οι πρώτοι που τεκμηρίωσαν συσχετίσεις μεταξύ της χημικής σύστασης, του κρυσταλλικού σχήματος και της παραγένεσης του ορυκτού. Οι πινακοειδείς κρύσταλλοι αστροφυλλίτη από υπερκορεσμένες τάφρους βρέθηκαν να είναι πλούσιοι σε πυρίτιο, τιτάνιο, σίδηρο, κάλιο και νάτριο, σε αντίθεση με τους πρισματικούς βελονοειδείς κρυστάλλους αστροφυλλίτη από υποκορεσμένες τάφρους.

Ο Abdel-Raman (1992) μελέτησε δείγματα αστροφυλλίτη από υπεραλκαλικούς γρανίτες και σχετικά μετασματοποιημένα πετρώματα στο όρος Gharib της Αιγύπτου και διαπίστωσε ότι ο αστροφυλλίτης αποτελεί το προϊόν μίας μετασωματικής αντίδρασης η οποία διαφορετικά θα οδηγούσε σε παραγωγή αρφβεδσονίτη.

Οι Christiansen et al. (1998) διερεύνησαν τις χημικές μεταβολές σε ορισμένα ορυκτά της ομάδας του αστροφυλλίτη των οποίων τα δείγματα προέρχονταν από διάφορες τοποθεσίες της Γροιλανδίας και πραγματοποίησαν κρυσταλλογραφία μονοκρυστάλλου ακτίνων Χ στη δομή κουπλετσκίτη (kupletskite) από το Kangerdlugssuaq.

Οι Piilonen et al. (2003α) διερεύνησαν τη σύσταση 135 δειγμάτων των ορυκτών της γενικής κατηγορίας του αστροφυλλίτη από 15 περιοχές. Για τον σκοπό αυτό εφάρμοσαν EMPA, φασματομετρία ατομικής εκπομπής σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, ICA-AES), φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR), θερμοσταθμική ανάλυση (Thermogravimetric Analysis, TGA), τεχνική θερμικής αποσύνθεσης, ανάλυση υλικών με πυρηνικές αντιδράσεις (Nuclear Reaction Analysis, NRA) και φασματοσκοπία Mössbauer. Οι ερευνητές ανέπτυξαν έναν γενικό τύπο της μορφής $A_2BC_7D_2T_8O_{26}(OH)_4X_{0-1}$, όπου A = άτομο καλίου, ρουβιδίου, καισίου, υδροξόνιο H_3O^{+-} , μόριο νερού, άτομο νατρίου ή κενό, B = άτομο νατρίου ή καισίου, C = άτομο μαγγανίου, κατιόν δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου, άτομο νατρίου, μαγγανίου ή ψευδαργύρου, D = άτομο τιτανίου, νιοβίου ή ζirkονίου, T = άτομο πυριτίου

ή αργιλίου και $X = \phi$ = άτομο φθορίου, υδροξύλιο, άτομο οξυγόνου ή κενό. Σε αυτή τη βάση, αναθεωρήθηκαν οι τύποι των οκτώ ορυκτών που περιλαμβάνονταν τότε (2003) στην ομάδα του αστροφυλλίτη. Τα αποτελέσματα της φασματοσκοπίας Mössbauer έδειξαν ότι ο λόγος $Fe^{3+}/Fe_{ολ.}$ κυμαίνεται από 0.01 έως 0.21, ήτοι 0.05-0.56 apfu Fe^{3+} , γεγονός που επιβεβαιώνει ότι ο δισθενής σίδηρος αποτελεί την κυρίαρχη μορφή σιδήρου στα υπό εξέταση ορυκτά. Συμπεραίνεται ότι τα ορυκτά από υπερκορεσμένα και υποκορεσμένα σε πυρίτιο αλκαλικά πετρώματα διαφοροποιούνται ως προς τη χημική τους σύσταση. Στα υπερκορεσμένα πετρώματα το μέλος της ομάδας του αστροφυλλίτη που κυριαρχεί είναι ο sensu stricto αστροφυλλίτης, που εμφανίζεται ως μία ύστερη μεταμαγματική φάση πλούσια σε ρουβίδιο, δισθενή σίδηρο, τιτάνιο, πυρίτιο και φθόριο. Αντίθετα, υποκορεσμένα πετρώματα (πιο συγκεκριμένα, πετρώματα του Mont Saint-Hilaire στο Κεμπέκ του Καναδά) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ποικιλία σε ό,τι αφορά τα υφιστάμενα μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη, αλλά και τη χημική σύσταση. Αυτά περιέχουν ορυκτά τόσο της υποομάδας του κουπλετσκίτη, όσο και της υποομάδας του αστροφυλλίτη. Τα δείγματα ορυκτών της υποομάδας του κουπλετσκίτη είναι πλούσια σε νάτριο, μαγγάνιο, τρισθενή σίδηρο, ψευδάργυρο, νιόβιο και ζirkόνιο, ενώ, από την άλλη, τα δείγματα ορυκτών της υποομάδας του αστροφυλλίτη είναι πλούσια σε κάλιο, ασβέστιο, δισθενή σίδηρο, τιτάνιο, ζirkόνιο και αργίλιο. Ο εμπλουτισμός της πρώτης υποομάδας σε τρισθενή σίδηρο, μαγγάνιο και νιόβιο υποδεικνύει ότι η κρυστάλλωση στα συγκεκριμένα ορυκτά λαμβάνει χώρα σε περισσότερο οξειδωτικές συνθήκες σε σχέση με την κρυστάλλωση των ορυκτών της δεύτερης ομάδας.

Η ίδια ερευνητική ομάδα προέβη και σε επιπλέον μελέτη (Piilonen et al., 2003β), με στόχο τον προσδιορισμό των χημικών χαρακτηριστικών των κρυστάλλων 20 δειγμάτων από μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη που προέρχονταν από επτά γεωγραφικές θέσεις. Για τον προσδιορισμό αυτό εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός κρυσταλλογραφίας μονοκρυστάλλου ακτίνων X και ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή. Ως μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη αναδείχτηκαν τρικλινή ($P\bar{1}$) και μονοκλινή ($C2/c$ ή $A2$) ετεροφυλλοπυριτικά ορυκτά με τον γενικό τύπο $A_2BC_7D_2T_8O_{26}(OH)_4X_{0-1}$, όπου A = άτομο καλίου, ρουβιδίου, καισίου, νατρίου, υδροξόνιο, μόριο νερού ή κενό, B = άτομο νατρίου ή ασβεστίου, C = άτομο μαγγανίου, ιόν δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου, άτομο νατρίου, μαγνησίου ή ψευδαργύρου, D =

άτομο τιτανίου, νιοβίου ή ζirkονίου, T = άτομο πυριτίου ή αργιλίου και X = άτομο φθορίου, υδροξύλιο, άτομο οξυγόνου ή κενό. Η δομή αποτελείται από δύο σύνθετα φύλλα, ένα ετερογενές H φύλλο και ένα O φύλλο οκταέδρων που στοιβάζονται με κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό $[001]$ σε αναλογία 2:1. Αυτά τα σύνθετα στρώματα με τη συγκεκριμένη αναλογία συνδέονται διά μέσου ενός κοινού $D\phi_6$ ανιόντος μέσω ενός ενδιάμεσου στρώματος που περιέχει μία συστοιχία ατόμων καλίου και νατρίου, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μίας στρωματοποιημένης δομής HOH που παραπέμπει στη δομή TOT των φυλλοπυριτικών ορυκτών με αναλογία 2:1. Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, υφίστανται τέσσερα οκτάεδρα MO_6 που είναι διακριτά από κρυσταλλογραφική άποψη στο O φύλλο και δέχονται άτομα μαγγανίου, κατιόντα σιδήρου, καθώς και άτομα νατρίου, μαγνησίου και ψευδαργύρου. Το οκτάεδρο $M(1)$, το μεγαλύτερο και το λιγότερο παραμορφωμένο εντός του O φύλλου, δέχεται κυρίως άτομα μαγγανίου και ιόντα δισθενούς σιδήρου, αλλά και σε σημαντικό βαθμό και άτομα νατρίου (έως 0.274 apfu). Το οκτάεδρο $M(2)$ είναι παραμορφωμένο σε μεγάλο βαθμό και περιλαμβάνει κυρίως άτομα μαγγανίου και κατιόντα δισθενούς σιδήρου, ενώ τα οκτάεδρα $M(3)$ και $M(4)$ είναι τα μικρότερα και καταλαμβάνονται από άτομα μαγγανίου, ιόντα δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου, αλλά και άτομα μαγνησίου και ψευδαργύρου. Το H φύλλο αποτελείται από ανοικτής διακλάδωσης zweier απλές $[100]$ αλυσίδες $[Si_4O_{12}]^{8-}$ οι οποίες διασταυρώνονται με γωνιακά οκτάεδρα $D\phi_6$ στα τρικλινή ορυκτά και στον κουπλετσκίτη- $Ma2b2c$ και με πολύεδρα DO_5 στον μαγνησιακό αστροφυλλίτη. Η παραμόρφωση των $D\phi_6$ οκταέδρων ελαχιστοποιείται με την αντικατάσταση ατόμων νιοβίου ή ζirkονίου με άτομα τιτανίου, γεγονός που οδηγεί στη μετατόπιση του κατιόντος προς την κατεύθυνση του κέντρου του οκταέδρου. Η σύσταση των αλυσίδων $[Si_4O_{12}]^{8-}$ δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις. Επίσης, οι Piilonen et al. (2003β) ανέφεραν ότι στα δείγματα δεν βρέθηκε σημαντική ποσότητα αργιλίου, ενώ με τη φασματοσκοπία Mössbauer δεν ανιχνεύθηκε η παρουσία κατιόντων τρισθενούς σιδήρου. Επίσης, φάνηκε ότι η πλευρική τοποθέτηση των O και H φύλλων επιτυγχάνεται κυρίως διά της επιπέδωσης των οκταέδρων των O φύλλων, διά της κλίσης των τετραέδρων των H φύλλων στο κρυσταλλογραφικό επίπεδο (001) , καθώς και διά της επιμήκυνσης ή της πύκνωσης των τετραέδρων στον προσανατολισμό $[001]$.

Οι Zhitova et al. (2017) εξέτασαν τη συμπεριφορά του αστροφυλλίτη σε υψηλές θερμοκρασίες διά μέσου της εφαρμογής συνδυασμού της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ και της φασματοσκοπίας Mössbauer. Η περιθλασιμετρική ανάλυση των δειγμάτων στους 600 και 700°C ανέδειξε την ύπαρξη μετασχηματισμού φάσης λόγω της θερμικής οξειδωσης του σιδήρου σε συνδυασμό με αποπρωτονίωση και αποφθορίωση. Ο μετασχηματισμός φάσης λαμβάνει χώρα στους 500°C, είναι μη αντιστρεπτός και χωρίς μεταβολή της συμμετρίας. Το ορυκτό αποσυντίθεται στους 775°C. Τόσο ο καθαυτό αστροφυλλίτης και η τροποποιημένη αφυδροξυλιωμένη του μορφή σε υψηλές θερμοκρασίες είναι τρικλινείς (P-1̄). Σύμφωνα με τις ερευνήτριες, οι παράμετροι της μοναδιαίας κυψελίδας του καθατού αστροφυλλίτη είναι:

$$a = 5.3752 \text{ \AA}$$

$$b = 11.8956 \text{ \AA}$$

$$c = 11.6554 \text{ \AA}$$

$$\alpha = 113.157^\circ$$

$$\beta = 94.531^\circ$$

$$\gamma = 103.112^\circ.$$

Οι αντίστοιχες παράμετροι για τον αστροφυλλίτη σε υψηλή θερμοκρασία είναι:

$$a = 5.3287 \text{ \AA}$$

$$b = 11.790 \text{ \AA}$$

$$c = 11.4332 \text{ \AA}$$

$$\alpha = 112.530^\circ$$

$$\beta = 94.539^\circ$$

$$\gamma = 103.683^\circ.$$

Η Sokolova (2012) και οι Sokolova et al. (2017) έχουν διενεργήσει την πλέον πρόσφατη εις βάθος μελέτη των χημικών και κρυσταλλογραφικών χαρακτηριστικών του αστροφυλλίτη και των μελών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη. Η διάταξη HOH αποτελεί την κύρια δομική μονάδα στο σύνολο των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη. Η εν λόγω διάταξη συνίσταται σε τρία $H-O-H$ φύλλα, όπου οι αστροφυλλιτικές T_4O_{12} «κορδέλες» περιλαμβάνονται στα H φύλλα. Σε κάθε δομή τα συσσωματώματα HOH εναλλάσσονται με ενδιάμεσα συσσωματώματα (I) στον προσανατολισμό [001]. Τα δώδεκα ορυκτά που εντάσσονται στη γενική ομάδα του αστροφυλλίτη κατατάχθηκαν στις τρεις υφιστάμενες υποομάδες (του αστροφυλλίτη, του κουμπλετσκίτη και του δεβιτοΐτη) που διέκριναν οι Sokolova (2012) και οι Sokolova et al. (2017) βάσει:

1. Του τύπου της αυτο-σύνδεσης των συσσωματωμάτων HOH , δηλαδή διακρίνονται οι εξής δομές:

α. Δομές στις οποίες τα HOH συσσωματώματα συνδέονται άμεσα με τα σημεία στα οποία διαμοιράζονται κοινές κορυφές με τα D οκτάεδρα.

β. Δομές στις οποίες τα HOH συσσωματώματα δεν συνδέονται άμεσα με τα σημεία στα οποία διαμοιράζονται κοινές κορυφές με τα D οκτάεδρα.

2. Του κυρίαρχου κατιόντος του O φύλλου.

Στην υποομάδα του αστροφυλλίτη (όπου τα συσσωματώματα HOH συνδέονται διά μέσου γεφυρών $D-X^P_D-D$ και τα κατιόντα δισθενούς σιδήρου κυριαρχούν στις θέσεις C_7 του γενικού τύπου) εντάχθηκαν, βάσει της παραπάνω ταξινόμησης, ο *stricto sensu* αστροφυλλίτης (astrophyllite), ο νιοβοφυλλίτης (niobophyllite), ο ζirkονοφυλλίτης (zircophyllite), το ταρβαγαταΐτης (tarbagataite), ο ναλιφκινίτης (nalivkinite) και ο βουλγακίτης (bulgakite). Στην υποομάδα του κουμπλετσκίτη (όπου τα συσσωματώματα HOH συνδέονται διά μέσου γεφυρών $D-X^P_D-D$ και τα κατιόντα δισθενούς μαγγανίου κυριαρχούν στις θέσεις C_7 του γενικού τύπου) εντάχθηκαν ο κουμπλετσκίτης (kupletskite), ο νιοβοκουμπλετσκίτης (niobokupletskite) και ο κουμπλετσκίτης-(Cs) (kupletskite-(Cs)). Στην υποομάδα του δεβιτοΐτη (όπου τα συσσωματώματα HOH δεν συνδέονται διά μέσου γεφυρών $D-X^P_D-D$) εντάχθηκαν ο δεβιτοΐτης (devitoite) , ο

σβαϊνμπεργκίτης (sveinbergeite) και ο λομπανοβίτης (lobanovite). Σύμφωνα με τις ερευνήτριες, ο γενικός τύπος για τα ορυκτά της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη είναι ο $A_{2p}BrC_7D_2(T_4O_{12})IX^O_{D2}X^O_{A4}X^P_{Dn}WA_2$, όπου C (κατιόν στις θέσεις $M(1-4)$ των O φύλλων) είναι ιόν δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου, άτομο μαγγανίου, νατρίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου, ασβεστίου, ζirkονίου ή λιθίου, D (κατιόν των H φύλλων) είναι άτομο τιτανίου, νιοβίου, ζirkονίου ή ιόν τετρασθενούς κασσιτέρου ή τρισθενούς σιδήρου ή άτομο μαγνησίου ή αργιλίου. Επίσης, T = άτομο πυριτίου ή, δευτερευόντως, άτομο αργιλίου. Στην ενδιάμεση διάταξη $A_{2p}BrIW_{A2}$ (I) $p = 1,2$ $r = 1,2$, A = άτομο καλίου, καισίου, βαρίου, μόριο νερού, άτομο λιθίου, ρουβιδίου, κατιόν δισθενούς μολύβδου, άτομο νατρίου ή κενό και B = άτομο νατρίου, ασβεστίου ή βαρίου, μόριο νερού ή κενό. Το I αντιπροσωπεύει τη σύσταση του κεντρικού τμήματος του συσσωματώματος I , εξαιρουμένων των περιφερειακών στρωμάτων της μορφής $A_{2p}BrWA_2$. Επί παραδείγματι: $(PO_4)_2(CO_3)$ (δεβιτοΐτης). Επίσης, X^O_D = άτομο οξυγόνου, X^O_A = υδροξύλιο ή άτομο φθορίου, X^P_D = άτομο φθορίου ή οξυγόνου, υδροξύλιο, μόριο νερού ή κενό, όπου $n = 0, 1, 2$ για $(X^P_D)_n$, ενώ W_A = μόριο νερού ή κενό.

Ο γενικός χημικός τύπος του αστροφυλλίτη σύμφωνα με τη Διεθνή Ορυκτολογική Ένωση (International Mineralogical Association, IMA) είναι $K_2NaFe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$. Συνήθεις προσμείξεις του ορυκτού περιλαμβάνουν άτομα νιοβίου, τανταλίου, ζirkονίου, αργιλίου, μαγνησίου και ασβεστίου. Στον πίνακα 4.1 δίνεται η χημική σύσταση (ως % κ.β. περιεκτικότητα σε οξείδια) του αστροφυλλίτη βάσει των Priem et al. (1966) και Piilonen et al. (2003). Η δε ταξινόμηση του υπό εξέταση ορυκτού κατά Nickel-Strunz (10η έκδοση) αντιστοιχεί στον κωδικό 9.DC.05 (με τον αριθμό 9 χαρακτηρίζονται τα πυριτικά ορυκτά, ενώ το γράμμα D αντιστοιχεί στα ινοπυριτικά ορυκτά και το C στα ινοπυριτικά με διακλαδισμένες 2-περιοδικές απλές αλυσίδες $Si_2O_6 + 2SiO_3Si_4O_{12}$). Βάσει της ταξινόμησης κατά Dana (8η έκδοση) ο αστροφυλλίτης λαμβάνει τον κωδικό 69.1.1.1, με τον αριθμό 69 να αντιστοιχεί σε ινοπυριτικά ορυκτά τα οποία διαθέτουν αλυσίδες με πλευρικές διακλαδώσεις ή βρόχους και τον αριθμό 1 να αντιστοιχεί σε αλυσίδες με πλευρικές διακλαδώσεις ή βρόχους με $P = 2$ και $N = 4$, 2 διακλαδώσεις. Επίσης, ο Χημικός Δείκτης Ορυκτών του Hey είναι ο 14.9.29 (14: πυριτικά ορυκτά που δεν περιέχουν αργίλιο, 9: ορυκτά που περιέχουν τιτάνιο).

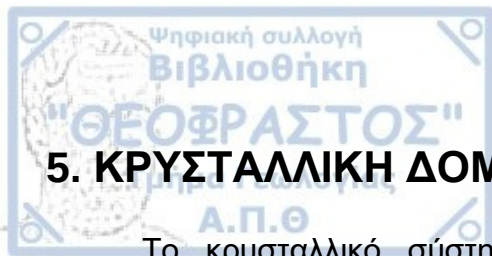
Πίνακας 4.1. Χημική σύσταση αστροφυλλίτη (Priem et al., 1966; Piilonen et al., 2003).

Συστατικό	Περιεκτικότητα (% κ.β.)
Na ₂ O	2.68 %
K ₂ O	5.21 %
Rb ₂ O	1.05 %
Cs ₂ O	1.35 %
CaO	1.00 %
SrO	0.10 %
MgO	1.11 %
MnO	13.99 %
FeO	18.45 %
ZnO	0.49 %
Al ₂ O ₃	1.01 %
Ce ₂ O ₃	0.31 %
TiO ₂	9.20 %
SnO ₃	0.23 %
ZrO ₂	1.69 %
Nb ₂ O ₅	2.81 %
SiO ₂	33.98 %
F	1.38 %
H ₂ O	2.65 %
O=F	-0.58 %
Σύνολο	98.11 %

Οι Sokolova et al. (2017) προσδιόρισαν τους γενικούς τύπους των ορυκτών που εμπίπτουν στη γενική ομάδα του αστροφυλλίτη οι οποίοι δίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Γενικοί τύποι των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη (Sokolova et al., 2017).

Ορυκτό	Γενικός τύπος
Υποομάδα αστροφυλλίτη	
Αστροφυλλίτης (stricto sensu)	$K_2NaFe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$
Νιοβοφυλλίτης	$K_2NaFe^{2+}_7(Nb,Ti)(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4(O,F)$
Ζirkονοφυλλίτης	$K_2NaFe^{2+}_7Zr_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$
Ταρβαγαταΐτης	$(K\Box)CaFe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_5$
Ναλιφκινίτης	$Li_2NaFe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F(H_2O)_2$
Βουλγακίτης	$Li_2(Ca,Na)Fe^{2+}_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4(O,F)(H_2O)_2$
Υποομάδα κουπλετσκίτη	
Κουπλετσκίτης-1A	$K_2NaMn_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$
Κουπλετσκίτης-2M	$K_2NaMn_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$
Νιοβοκουπλετσκίτης	$K_2NaMn_7(Nb,Ti)(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4(O,F)$
Κουπλετσκίτης-(Cs)	$Cs_2NaMn_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$
Υποομάδα δεβιτοΐτη	
Δεβιτοΐτης	$Ba_6Fe^{2+}_7Fe^{3+}_2(Si_4O_{12})_2(PO_4)_2(CO_3)O_2(OH)_4$
Σβαϊνμπεργκίτης	$(H_2O)_2[Ca(H_2O)](Fe^{2+}_6Fe^{3+})Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4$ $[OH(H_2O)]$
Λομπανοβίτης	$K_2Na(Fe^{2+}_4Mg_2Na)Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4$



5. ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ

Το κρυσταλλικό σύστημα στο οποίο οργανώνεται ο αστροφυλλίτης είναι τρικλινές, ενώ η τάξη του είναι $\bar{1}$ – πινακοειδής και ανήκει στην κατηγορία διαστήματος (space group) $P\bar{1}$. Οι παράμετροι της μοναδιαίας κυψελίδας έχουν ως εξής:

$$a = 11.76 \text{ \AA}$$

$$b = 5.36 \text{ \AA}$$

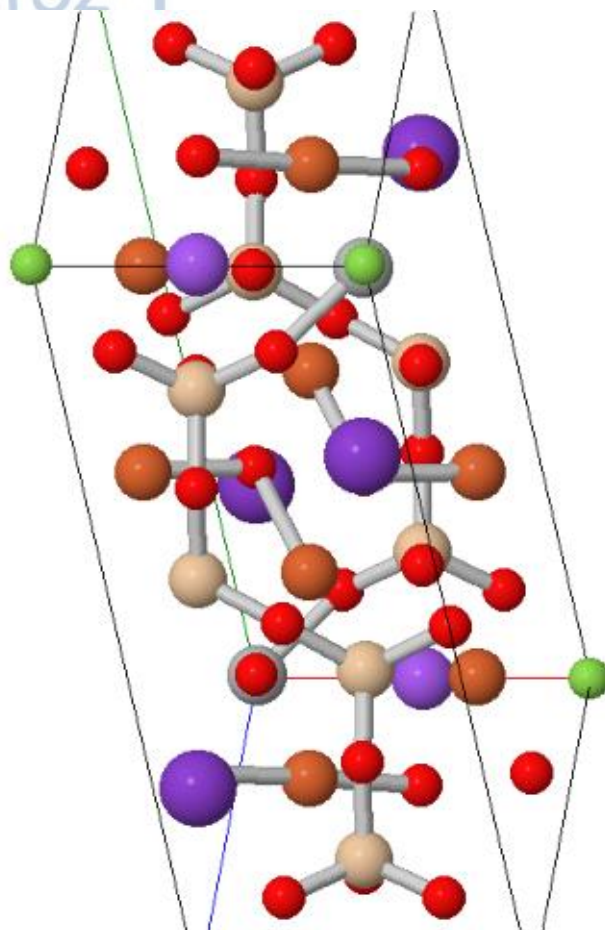
$$c = 21.08 \text{ \AA}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

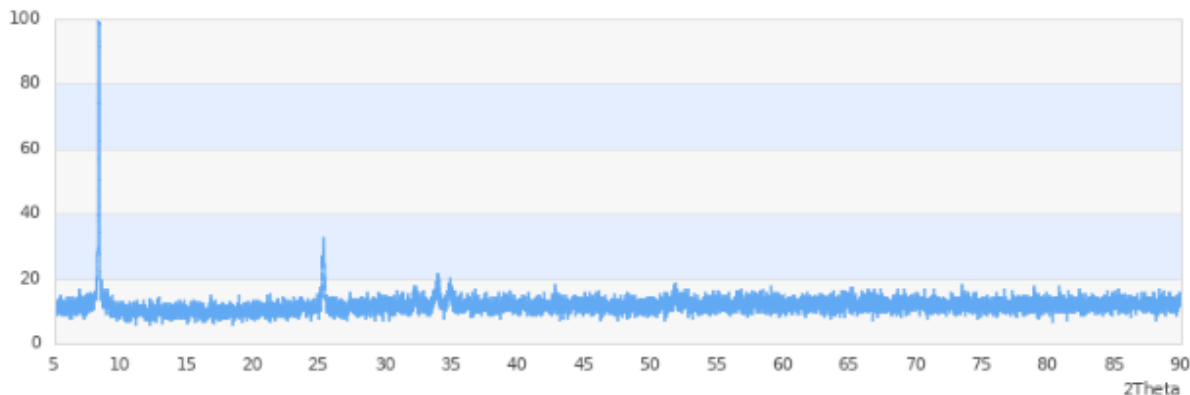
$$\beta = 94^\circ$$

$$\gamma = 90^\circ.$$

Επομένως, η αναλογία $a:b:c$ είναι 2.194: 1: 3.933 και ο όγκος της μοναδιαίας κυψελίδας του ορυκτού είναι $1,326 \text{ \AA}^3$. Απεικόνιση της μοναδιαίας κυψελίδας παρατίθεται στο σχήμα 5.1. Φάσμα που προέκυψε από εξέταση δείγματος αστροφυλλίτη από το Κεμπέκ με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ δίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.1. Απεικόνιση της μοναδιαίας κυψελίδας του αστροφυλλίτη, κόκκινη σφαίρα: ιόν οξυγόνου (O), καφέ σφαίρα: ιόν Σιδήρου (Fe), μπεζ σφαίρα: ιόν Πυριτίου (Si), γκρι σφαίρα: ιόν Τιτανίου (Ti), μωβ σφαίρα: ιόν Νατρίου (Na), σκούρο μωβ σφαίρα: ιόν Καλίου (K) και πράσινη σφαίρα: ιόν Φθορίου (F) (Mindat.org) .



Σχήμα 5.2. Φάσμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ δείγματος αστροφυλλίτη από το Κεμπέκ (Mindat.org).

Οι Ferraris et al. (1996), Ferraris (1997) και Christiansen et al. (1999) έχουν χαρακτηρίσει τα ορυκτά της ομάδας του αστροφυλλίτη, καθώς και άλλα αρθρωτά τιτανιοπυριτικά ορυκτά, ετεροφυλλοπυριτικά. Τέτοια ορυκτά εμφανίζουν μία δομή *HOH*, που παραπέμπει στη δομή *TOT* φυλλοπυριτικών ορυκτών 2:1, όπου πολυέδρα TiO_5 ή TiO_6 σε ετερογενή φύλλα (*H* φύλλα) αντιπροσωπεύουν τα συνήθη τετράεδρα $(\text{Si,Al})\text{O}_4$ των φυλλοπυριτικών *T* φύλλων. Τα ορυκτά της ομάδας του αστροφυλλίτη μπορούν να θεωρηθούν ως ενδιάμεσα μέλη μίας πολυσωματικής ή ομόλογης σειράς που περιλαμβάνει στο ένα άκρο της τον περωλίτη $[\text{KBaNa}_2(\text{Mn,Fe}^{2+})_8(\text{Ti,Nb})_4\text{Si}_8\text{O}_{32}(\text{OH,F,H}_2\text{O})_7]$ και στο άλλο άκρο τριοκταεδρικές μαρμαρυγίες. Μία σύγκριση μεταξύ αυτών των ορυκτών δείχνει ότι:

1. Όλα τους εμφανίζουν μία δομή *HOH*.
2. Το αξονικό τους μήκος *a* είναι περίπου 5.4 Å, αντίστοιχο της τιμής *a* των μαρμαρυγιών
3. Η απόσταση d_{001} είναι περίπου 10.9 Å.

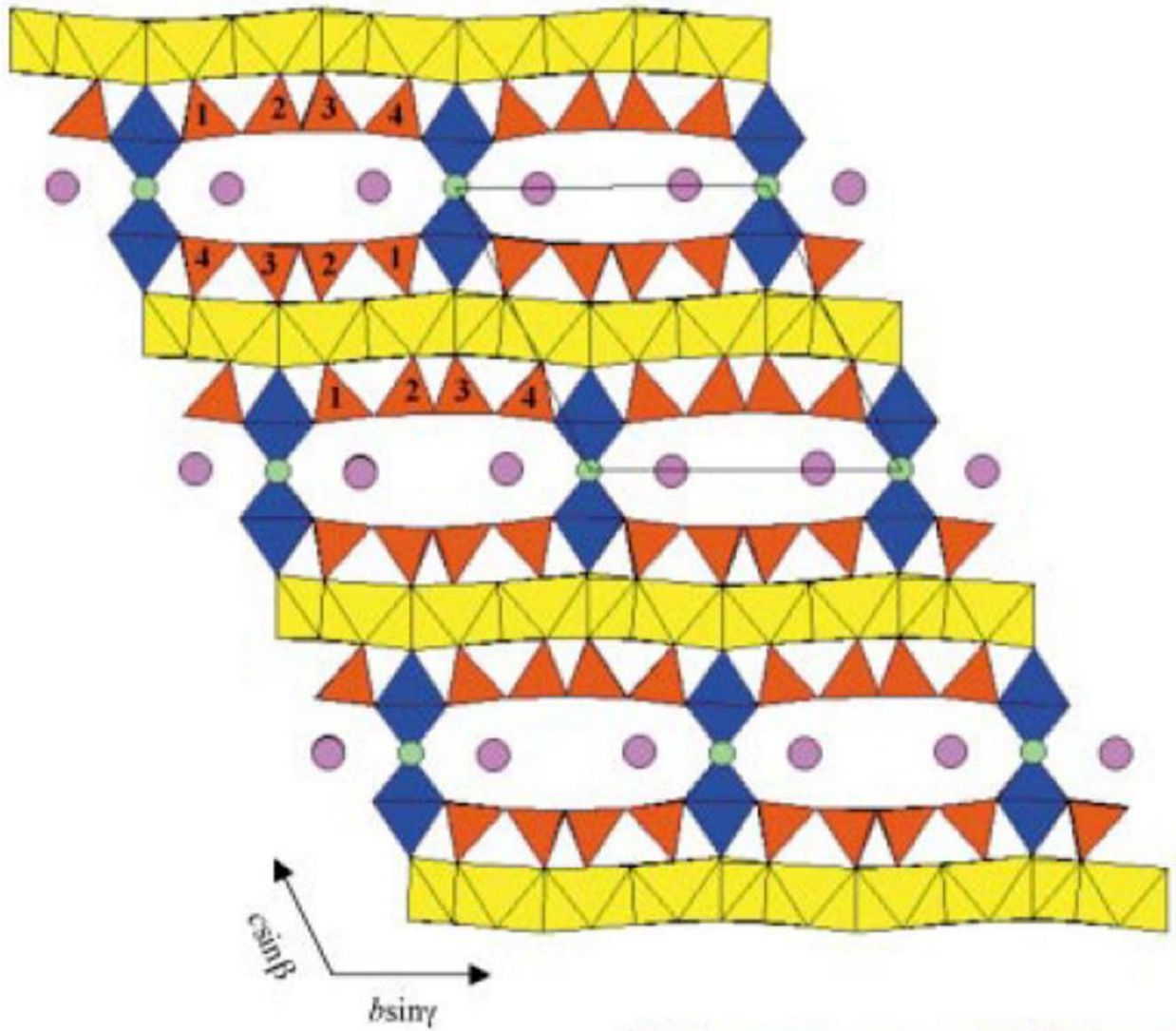
Τα μέλη των ομόλογων σειρών μπορούν να ταξινομηθούν επί τη βάσει του αριθμού των διορθοπυριτικών ομάδων (*n*) που διαχωρίζουν σειρές *D* οκταέδρων. Έτσι, ισχύει *n* = 1 για τον περωλίτη και τον μπαφερτισίτη, *n* = 2 για τα ορυκτά της ομάδας του

αστροφυλλίτη, $n = 3$ για τον ναφερτισίτη και $n \rightarrow \infty$ για τις μαρμαρυγίες (Ferraris et al., 1996; Christiansen et al., 1999).

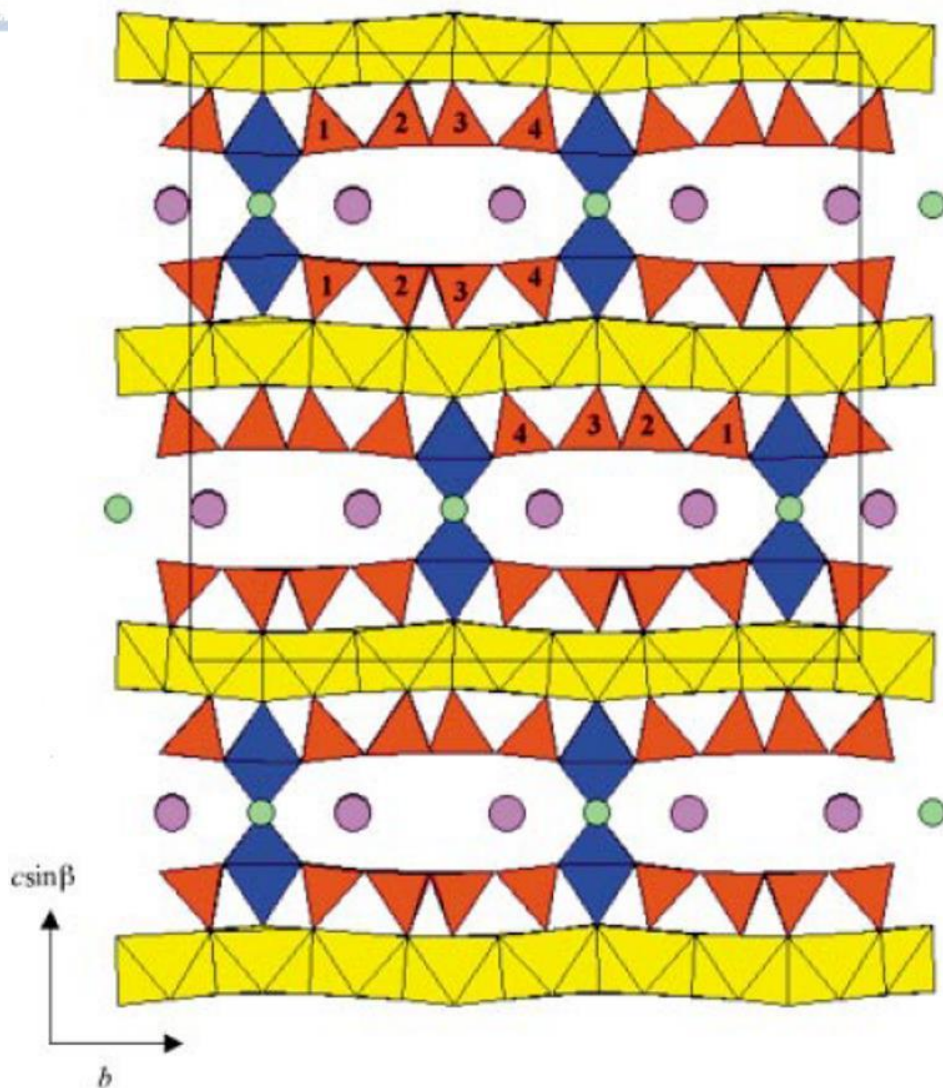
Σύμφωνα με τους Piilonen et al. (2003β), η δομή του αστροφυλλίτη μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύρια σύνθετα φύλλα τα οποία στοιβάζονται μαζί [001] σε αναλογία 2:1. Το πρώτο είναι ένα φύλλο οκταέδρων MO_6 πυκνότητας διάταξης εκατέρωθεν των οποίων ευρίσκονται δύο H φύλλα που σχετίζονται με ένα κέντρο αναστροφής του τρικλινούς είδους και με έναν διπλάσιο άξονα παράλληλο στη διάσταση b στον κουπλετσκίτη- $Ma2b2c$. Το H φύλλο εμφανίζει την ιδανική σύσταση $[DSi_4O_{12}]^{4-}$ και αποτελείται από ανοικτής διακλάδωσης zweier [100] απλές αλυσίδες με σύσταση $[Si_4O_{12}]^{8-}$ (Liebau, 1985) που είναι διασταυρωμένες με $D\phi_6$ οκτάεδρα στα τρικλινή είδη και στον κουπλετσκίτη- $Ma2b2c$ και με DO_5 πολυέδρα στον αστροφυλλίτη μαγνησίου (Shi et al., 1998). Η αναλογία $Si:D$ που προκύπτει είναι 4:1. Μεμονωμένα $D\phi_6$ οκτάεδρα συνδέονται στο ενδοστρωματικό επίπεδο διά μέσου ενός κοινού ανιόντος της κορυφής, $\phi(16)$ (όπου ϕ είναι ένας απροσδιόριστος υποκαταστάτης). Το ανιόν $\phi(16)$ ευρίσκεται σε ένα κέντρο αναστροφής στο τρικλινές είδος στην ειδική θέση 4e στον κουπλετσκίτη- $Ma2b2c$, ενώ απουσιάζει στον αστροφυλλίτη μαγνησίου (Shi et al., 1998). Μεταξύ των φύλλων O και H υφίσταται μία «ανωμαλία» παρόμοια με αυτήν που παρατηρείται στις μαρμαρυγίες, η οποία αντισταθμίζεται με την κλίση και την περιστροφή των SiO_4 τετραέδρων και την παραμόρφωση ή την αυλάκωση του O φύλλου. Ο βαθμός στον οποίον εμφανίζεται η εν λόγω «ανωμαλία» στην κρυσταλλική δομή του αστροφυλλίτη συναρτάται με τη σύσταση του O φύλλου και, συγκεκριμένα, ο βαθμός αυτός ελαττώνεται με την αύξηση του μεγέθους των κατιόντων του O φύλλου (Woodrow, 1967; Christiansen et al., 1998; Shi et al., 1998; Piilonen et al., 2003α).

Το ενδοστρωματικό επίπεδο των τρικλινών ειδών περιλαμβάνουν δύο διακριτές, από κρυσταλλογραφική άποψη, και υψηλής πυκνότητας περιοχές: μία περιοχή με προσανατολισμό [10] (περιοχή Β) με νάτριο και ασβέστιο, και μία μεγαλύτερη, με προσανατολισμό [11] έως [13] (περιοχή Α), όπου κυριαρχεί το κάλιο, αλλά συχνά περιέχει ρουβίδιο, καίσιο, βάριο, νάτρι και κενά. Στον μονοκλίνη κουπλετσκίτη- $Ma2b2c$ υφίστανται τρεις διακριτές περιοχές του ενδοστρωματικού επιπέδου, οι Α(1), Α(2) και Β. Το στοίβαγμα των στρωμάτων HOH στον προσανατολισμό [001] έχει ως αποτέλεσμα

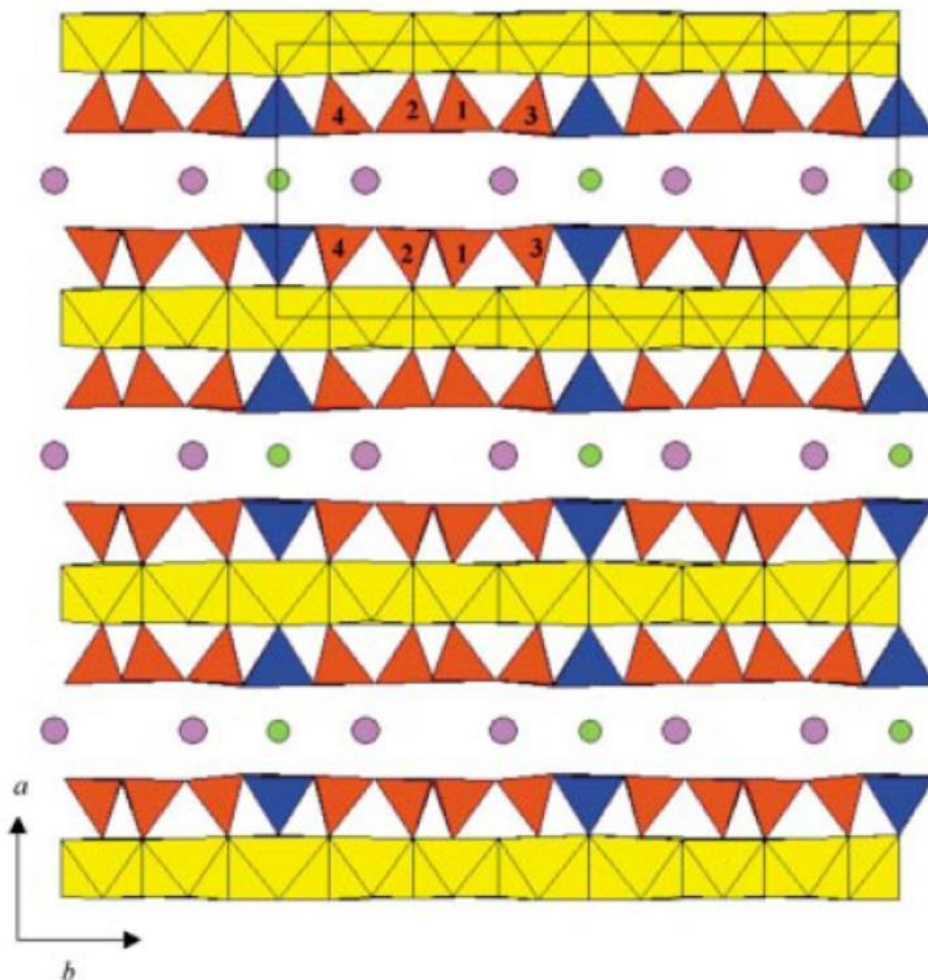
τον πολύ καλό σχισμό στο επίπεδο (001), αλλά καθιστά το ορυκτό λίγο περισσότερο ψαθυρό εν σχέσει με άλλα φυλλοπηριτικά ορυκτά, εξαιτίας της παρουσίας του ανιόντος-γέφυρας $\phi(16)$ εντός του ενδοστρωματικού επιπέδου. Οι κρυσταλλικές δομές των τρικλινών μελών της ομάδας του αστροφυλλίτη, του μονοκλινούς κουπλετσκίτη και του αστροφυλλίτη μαγνησίου παρατίθενται στα σχήματα 5.3- 5.5, σύμφωνα με τη μελέτη των Piilonen et al. (2003β).



Σχήμα 5.3. Κρυσταλλική δομή των τρικλινών μελών της ομάδας του αστροφυλλίτη με προβολή προς τα κάτω [100]. Με κίτρινο χρώμα συμβολίζεται το O φύλλο, με μπλε το D φύλλο, με κόκκινο το T φύλλο, με μωβ το A φύλλο και με πράσινο το B φύλλο (Piilonen et al., 2003).



Σχήμα 5.4. Κρυσταλλική δομή του κουπλετσκίτη (μονοκλινής, $C2/c$) με προβολή προς τα κάτω $[100]$. Με κίτρινο χρώμα συμβολίζεται το O φύλλο, με μπλε το D φύλλο, με κόκκινο το T φύλλο, με μωβ τα άτομα καλίου και με πράσινο τα άτομα νατρίου (Piilonen et al., 2003).



Σχήμα 5.5. Κρυσταλλική δομή του μαγνησιούχου αστροφυλλίτη (μονοκλινής, $A2$) με προβολή προς τα κάτω $[001]$. Με κίτρινο χρώμα συμβολίζεται το O φύλλο, με μπλε το D φύλλο, με κόκκινο το T φύλλο, με μωβ τα άτομα καλίου και με πράσινο τα άτομα νατρίου (Piilonen et al., 2003).

Σύμφωνα με τις Sokolova et al. (2017), επί πολλά έτη τα ορυκτά της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη είχαν υποδιαιρεθεί σε δύο κύριες υποομάδες επί τη βάσει της κυριαρχίας των κατιόντων του δισθενούς σιδήρου ή του δισθενούς μαγγανίου στις οκταεδρικές θέσεις του O φύλλου της δομής του ορυκτού. Τα πρώτα κατατάσσονταν στην υποομάδα του καθεαυτόν αστροφυλλίτη και τα δεύτερα στην υποομάδα του κουπλετσκίτη. Η Sokolova (2012) ανέπτυξε μία δομική ιεραρχία που αφορούσε την

ομάδα του αστροφυλλίτη. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την εν λόγω ιεραρχία, στην ομάδα του αστροφυλλίτη υφίστανται δύο τοπολογικά διακριτοί τύποι δομών οι οποίοι ταξινομούνται ανάλογα με το είδος της σύνδεσης των HOH συσσωματωμάτων. Κατά συνέπεια, όπως έχει περιγραφεί και παραπάνω, τα συσσωματώματα HOH μπορεί είτε να συνδέονται απευθείας, στα σημεία όπου μοιράζονται κοινές κορυφές με τα D οκτάεδρα, διά μέσου των γεφυρών $D-X_D^P-D$, ενώ, στον δεύτερο τύπο, τα HOH συσσωματώματα δεν συνδέονται άμεσα διά μέσου πολυέδρων των H φύλλων. Για την περιγραφή της διάταξης των ατόμων στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ γειτονικών HOH συσσωματωμάτων η Sokolova (2012) εισήγαγε το I (ενδιάμεσο) συσσωμάτωμα.

Με βάση τα παραπάνω, η Sokolova (2012) ενέταξε στη γενική ομάδα του αστροφυλλίτη τα ορυκτά αστροφυλλίτης (*sensu stricto*), νιοβοφυλλίτης, ζirkονοφυλλίτης, ταρβαγαταΐτης, ναλιφκινίτης, κουπλετσκίτης, νιοβοκουπλετσκίτης, κουπλετσκίτης-(Cs) και λομπανοβίτης, ενώ πρότεινε τη διεύρυνση της ομάδας του αστροφυλλίτη με τέτοιο τρόπο, ώστε να περιλαμβάνει τον δεβιτοΐτη και τον σβαϊνμπεργκίτη. Επιπλέον, πρότεινε τον γενικό τύπο των ορυκτών, όπως έχει αναφερθεί, ως $A_{2p}BrC_7D_2(T_4O_{12})IX_{D_2}^OX_{A_4}^PD_nW_{A_2}$.

Σύμφωνα με τη Sokolova (2012) και τις Sokolova et al. (2017), το HOH συσσωμάτωμα συνιστά την κύρια δομική μονάδα στο σύνολο των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη. Όπως έχει περιγραφεί παραπάνω, στην κρυσταλλική δομή του καθεαυτόν αστροφυλλίτη, τα M οκτάεδρα (άτομα με τον γενικό συμβολισμό C) διαμοιράζονται πλευρές με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ενός O (οκταεδρικού) φύλλου (σχήμα 5.6a). Το βασικό χαρακτηριστικό της αστροφυλλιτικής δομής είναι η αστροφυλλιτική «κορδέλα» T_4O_{12} η οποία εκτείνεται κατά μήκος του προσανατολισμού $[100]$. Οι αστροφυλλιτικές «κορδέλες» μοιράζονται κοινές κορυφές με τα D πολυέδρα με αριθμούς ένταξης 6 και 5 προς διαμόρφωση ενός H (ετερο-πολυεδρικού) φύλλου. Δύο ομάδες T_2O_7 που οργανώνονται κάθετα προς τον προσανατολισμό $[100]$ συνιστούν την ελάχιστη επαναλαμβανόμενη μονάδα της αστροφυλλιτικής «κορδέλας», καθορίζοντας, κατά συνέπεια, την παράμετρο a της μοναδιαίας κυψελίδας περίπου ίση με $5.4 \text{ \AA}$. Τα H και O φύλλα χαρακτηρίζονται από μία ελάχιστη επίπεδη κυψελίδα με $a = 5.4 \text{ \AA}$, $b = 11.9 \text{ \AA}$ και γωνία μεταξύ a και b της τάξης των 103° . Τα HOH συσσωματώματα

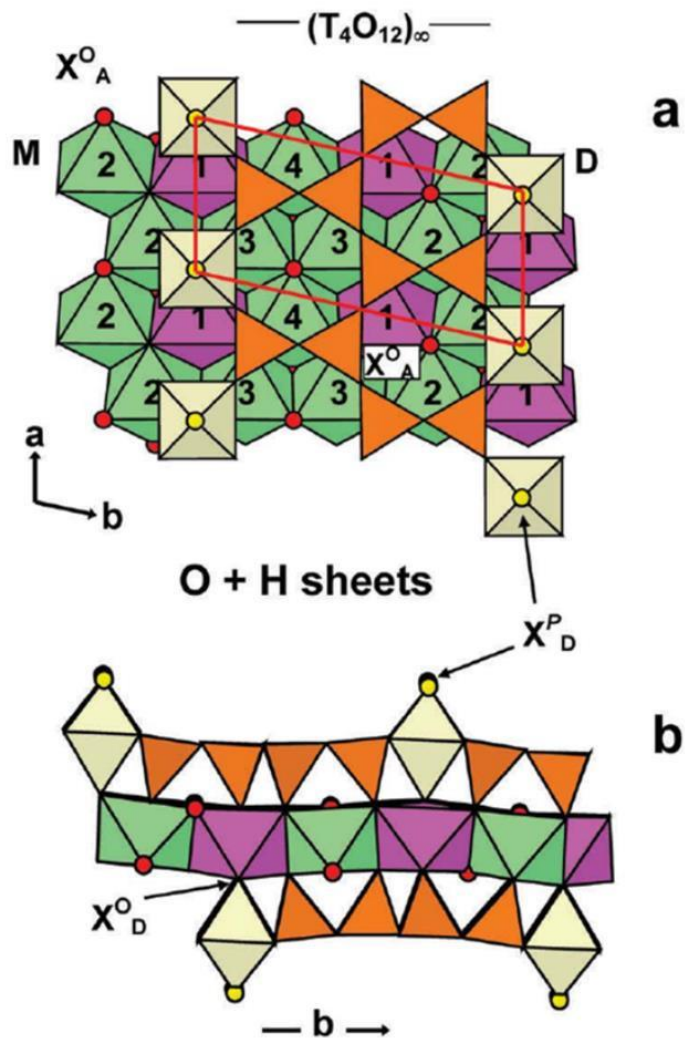
διαμορφώνονται από δύο H φύλλα και ένα κεντρικό O φύλλο (σχήμα 5.6b). Η σύνδεση μεταξύ του O φύλλου και των H φύλλων σε όλες τις δομές της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη είναι ακριβώς η ίδια, εξαιρουμένης της δομής του λομπανοβίτη (Sokolova, 2012).

Στο O φύλλο της κρυσταλλικής δομής του αστροφυλλίτη υφίστανται τέσσερις M θέσεις ανά μοναδιαία κυψελίδα ($2M(1) + 2M(2) + 2M(3) + 1M(4)$) και, επομένως, $M_7 (= C_7)$ arfu. Όπως έχει καταστεί σαφές, τα κυρίαρχα κατιόντα στις θέσεις M είναι το δικατιόν του σιδήρου και το δικατιόν του μαγγανίου. Κατιόντα άλλων στοιχείων σπανίζουν (π.χ. μαγνήσιο στη θέση $M(4)$ και νάτριο στη θέση $M(1)$ του λομπανοβίτη και ψευδάργυρος στη $M(4)$ θέση στον κουπλετσκίτη-(Cs) και στον πλούσιο σε ψευδάργυρο αστροφυλλίτη (Piilonen et al., 2006)). Στο H φύλλο ευρίσκονται τέσσερις T θέσεις που καταλαμβάνονται από το πυρίτιο και, δευτερευόντως, από το αργίλιο, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω από τους Piilonen et al. (2003β). Επίσης, υφίσταται μία D θέση η οποία δίνει D_2 arfu. Το κυρίαρχο κατιόν στη D θέση είναι κυρίως τιτανίου, νιοβίου (στον νιοβοφυλλίτη και τον νιοβοκουπλετσκίτη), ζirkονίου (στον ζirkονοφυλλίτη) και τρισθενούς σιδήρου (στον δεβιτοΐτη). Στη μοναδιαία κυψελίδα υφίσταται μία D θέση και μία ελάχιστη επαναλαμβανόμενη μονάδα της αστροφυλλιτικής «κορδέλας» (σχήμα 5.6a), ενώ η ιδανική σύσταση του H φύλλου είναι DT_4 arfu. Η ιδανική κατιονική σύσταση του HOH στρώματος είναι C_7D_2 arfu και τα T άτομα θεωρούνται ως μέρος του σύνθετου ανιόντος $(T_4O_{12})^{8-}$ στο ανιονικό τμήμα της δομής.

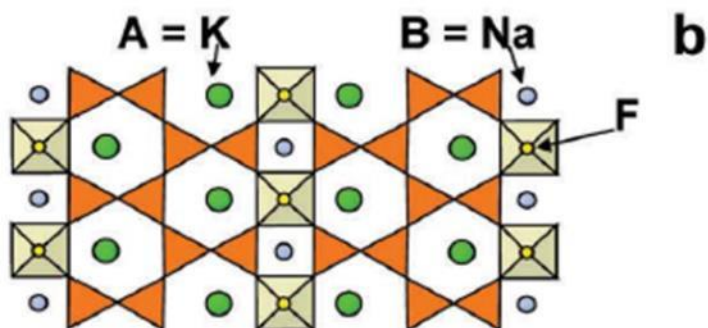
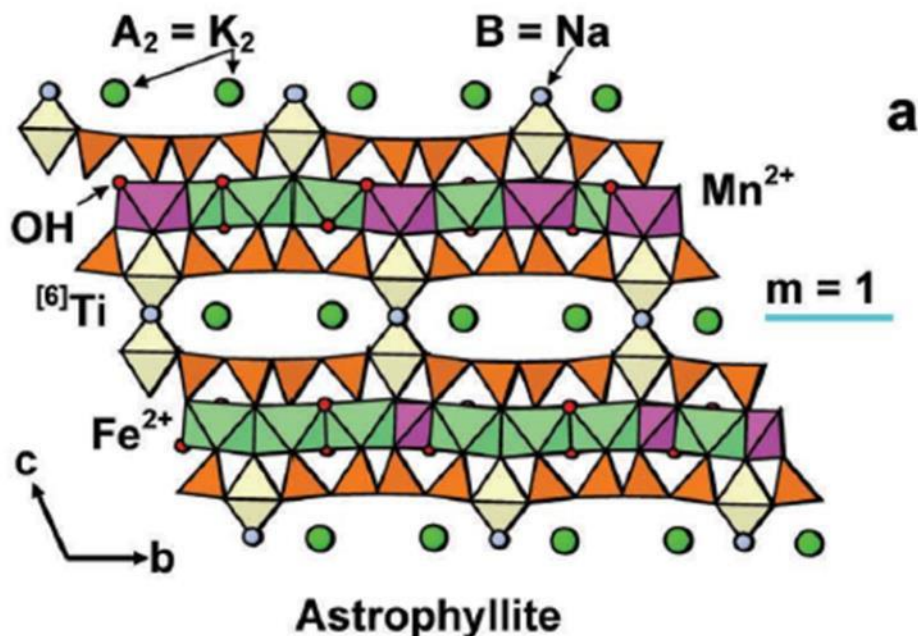
Στο HOH συσσωμάτωμα τα συνολικά οξυγόνου, που είναι συντονισμένα τετραεδρικά με T άτομα σε δύο H φύλλα, ανέρχονται σε 24 O arfu. Τα D πολυέδρα δύο H φύλλων μοιράζονται δύο X^O_D ανιόντα με M οκτάεδρα του O φύλλου (για το X^O , ο εκθέτης O παραπέμπει στο O φύλλο) (σχήμα 5.6a), ενώ η θέση X^O_D καταλαμβάνεται από ένα άτομο οξυγόνου, με αποτέλεσμα $(X^O_D)_2 = O_2$ arfu. Επιπλέον, υφίστανται τέσσερα ανιόντα rfu στις θέσεις X^O_A που είναι τοποθετημένα κάτω από τις ενδιάμεσες A θέσεις και καταλαμβάνονται από μονοσθενή ανιόντα, κυρίως υδροξύλια και, δευτερευόντως, ανιόντα φθορίου, με αποτέλεσμα στην ιδανική περίπτωση να ισχύει $(X^O_A)_4 = (OH)_4$ arfu. Η θέση X^P_D καταλαμβάνεται από ένα ανιόν στην περιφέρεια του HOH συσσωματώματος ($P = \text{peripheral}$), όπου το κατιόν D έχει αριθμό ένταξης 6. Η

θέση X^P_D καταλαμβάνεται από άτομο φθορίου, υδροξύλιο, άτομο οξυγόνου, μόριο νερού και κενό και ισχύει $X^P_D = 0, 1$ ή 2 ρfu. Η ανιονική σύσταση του HOH συσσωματώματος είναι $(T_4O_{12})_2X^O_D2X^O_{A4}X^P_{Dn}$, όπου $n = 0, 1, 2$. Ο αριθμός των ανιόντων X^P_D συναρτάται με τον αριθμό ένταξης του κατιόντος D και το είδος της σύνδεσης μεταξύ των HOH συσσωματωμάτων (Sokolova et al., 2017).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σύμφωνα με τις Sokolova et al. (2017), μία πρώτη διάκριση των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη αφορά τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ των HOH συσσωματωμάτων. Έτσι, στον καθαυτόν αστροφυλλίτη, όπως επίσης και στον νιοβοφυλλίτη, τον ζirkονοφυλλίτη, τον ταρβαγαταΐτη, τον ναλιφκινίτη, τον βουλγακίτη, τον κουπλετσκίτη, τον νιοβοκουπλετσκίτη και τον κουπλετσκίτη-(Cs) συναντώνται οι σύνδεσμοι μεταξύ των συσσωμάτων HOH διά μέσου γεφυρών $D-X^P_D-D$ (συγκεκριμένα, στον καθαυτόν αστροφυλλίτη διά μέσου γεφυρών $Ti-F-Ti$). Οι παραπάνω δομές ανήκουν είτε στην αστροφυλλιτική δομή της ομάδας $P\bar{1}$ είτε, στην περίπτωση του κουπλετσκίτη-2M, στην ομάδα $C2/c$. Στον χώρο μεταξύ δύο HOH συσσωματωμάτων τα κατιόντα των δύο ενδιάμεσων θέσεων A και B συγκροτούν ένα στρώμα της μορφής A_2B στο συσσωμάτωμα I (ενδιάμεσο). Στον αστροφυλλίτη, τον νιοβοφυλλίτη, τον κουπλετσκίτη και τον νιοβοκουπλετσκίτη τα κυρίαρχα κατιόντα των A και B θέσεων είναι το κάλιο και το νάτριο, αντιστοίχως (σχήμα 5.7). Άλλα κυρίαρχα κατιόντα είναι των στοιχείων καΐσιο, στην περίπτωση του κουπλετσκίτη-Cs, και ασβέστιο, στην περίπτωση του ταρβαγαταΐτη. Στον βουλγακίτη και τον ναλιφκινίτη η θέση A διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους θέσεις $A(1)$ και $A(2)$ που καταλαμβάνονται από τα στοιχεία κάλιο και λίθιο, αντιστοίχως.



Σχήμα 5.6. Το συσσωμάτωμα HOH της κρυσταλλικής δομής του αστροφυλλίτη: α. Τα O και H φύλλα απεικονιζόμενα κάθετα στο επίπεδο των φύλλων, β. Το HOH συσσωμάτωμα απεικονιζόμενο στον προσανατολισμό [100] (Sokolova et al., 2017).



Σχήμα 5.7. Αστροφυλλίτης: a. Μία γενική όψη της κρυσταλλικής δομής, b. Η θέση των A και B φύλλων σε σχέση με το H φύλλο (Sokolova et al., 2017).

Στους πίνακες 5.1 και 5.2 παρουσιάζονται οι παράμετροι μοναδιαίας κυψελίδας (a, b, c, α, β, γ) για το σύνολο των δώδεκα ορυκτών που περιλαμβάνονται στη γενική ομάδα του αστροφυλλίτη, σύμφωνα με τις Sokolova et al. (2017).

Πίνακας 5.1. Παράμετροι a, b και c της μοναδιαίας κυψελίδας των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη σε Ångström (Sokolova et al., 2017).

Ορυκτό	a (Å)	b (Å)	c (Å)
Υποομάδα αστροφυλλίτη			
Αστροφυλλίτης (stricto sensu)	5.3866	11.8821	11.6794
Νιοβοφυλλίτης	5.4022	11.8844	11.6717
Ζirkονοφυλλίτης	5.447	11.966	11.789
Ταρβαγαταΐτης	5.3868	11.9141	11.7171
Ναλιφκινίτης	5.374	11.948	11.676
Βουλγακίτης	5.374	11.965	11.65
Υποομάδα κουπλετσκίτη			
Κουπλετσκίτης-1A	5.3784	11.9085	11.7236
Κουπλετσκίτης-2M	5.4022	23.226	21.1782
Νιοβοκουπλετσκίτης	5.4303	11.924	11.747
Κουπλετσκίτης-(Cs)	5.3850	11.9350	11.7793
Υποομάδα δεβιτοΐτη			
Δεβιτοΐτης	5.3437	11.6727	14.680
Σβαϊνμπεργκίτης	5.329	11.803	11.822
Λομπανοβίτης	5.3327	23.1535	10.3775

Πίνακας 5.2. Παράμετροι α , β και γ της μοναδιαίας κυψελίδας των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη σε μοίρες. (Sokolova et al., 2017).

Ορυκτό	α (°)	β (°)	γ (°)
Υποομάδα αστροφυλλίτη			
Αστροφυλλίτης (stricto sensu)	113.019	94.578	103.120
Νιοβοφυλλίτης	112.990	94.588	103.166
Ζirkονοφυλλίτης	112.950	94.690	103.116
Ταρβαγαταΐτης	112.978	94.641	103.189
Ναλιφκινίτης	113.360	94.538	103.01
Βουλγακίτης	113.457	94.533	103.08
Υποομάδα κουπλετσκίτη			
Κουπλετσκίτης-1A	112.964	94.697	103.112
Κουπλετσκίτης-2M	N/A	95.246	N/A
Νιοβοκουπλετσκίτης	112.927	94.750	103.175
Κουπλετσκίτης-(Cs)	113.117	94.614	103.075
Υποομάδα δεβιτοΐτη			
Δεβιτοΐτης	91.337	96.757	103.233
Σβαϊνμπεργκίτης	101.140	98.224	102.442
Λομπανοβίτης	N/A	99.615	N/A

Επιπλέον, στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι κατιονικές και ανιονικές θέσεις στις δομές των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη, όπως αυτές ανιχνεύθηκαν από τις Sokolova et al. (2017).

Πίνακας 5.3. Κατιονικές και ανιονικές θέσεις στις δομές των ορυκτών της γενικής ομάδας του αστροφυλλίτη (Sokolova et al., 2017).

Ορυκτό C ₇ :	HOH (Ο φύλλο)					
	2M(1)	2M(2)	2M(3)	M(4)	2X ^{O_D}	4X ^{O_A}
Υποομάδα αστροφυλλίτη						
Αστροφυλλίτης (stricto sensu)	Mn ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Νιοβοφυλλίτης	Mn ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Ζιρκονοφυλλίτης	Mn ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Ταρβαγαταΐτης	Mn ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Ναλιφκινίτης	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Βουλγακίτης	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Υποομάδα κουπλετσκίτη						
Κουπλετσκίτης-1A	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Κουπλετσκίτης-2M	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Νιοβοκουπλετσκίτης	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Mn ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Κουπλετσκίτης-(Cs)	Mn ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Mn ²⁺ ₂	Zn	O ₂	(OH) ₄
Υποομάδα δεβιτοΐτη						
Δεβιτοΐτης	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺	O ₂	(OH) ₄
Σβαϊνμπεργκίτης	(-Fe ²⁺ ₆ Fe ³⁺)-				O ₂	(OH) ₄
Λομπανοβίτης	N/A	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₂	Mg ₂	O ₂	(OH) ₄

Πίνακας 5.3. (συνέχεια).

Ορυκτό	H ₂ O (2H φύλλα)		I (ενδιάμεσο συσσωμάτωμα)			
	2D	nX ^P _D	pA ₂	rB	2W _A	I
Υποομάδα αστροφυλλίτη						
Αστροφυλλίτης (stricto sensu)	Ti ₂	F	K ₂	Na		
Νιοβοφυλλίτης	(Nb,Ti) ₂	(O,F)	K ₂	Na		
Ζirkονοφυλλίτης	Ti ₂	F	K ₂	Na		
Ταρβαγαταίτης	Ti ₂	(O,F)	K□	Ca		
Ναλιφκινίτης	Ti ₂	F	Li ₂	Na	(H ₂ O) ₂	
Βουλγακίτης	Ti ₂	(O,F)	Li ₂	(Ca,Na)	(H ₂ O) ₂	
Υποομάδα κουπλετσκίτη						
Κουπλετσκίτης-1A	Ti ₂	F	K ₂	Na		
Κουπλετσκίτης-2M	Ti ₂	F	K ₂	Na		
Νιοβοκουπλετσκίτης	(Nb,Ti) ₂	(O,F)	K ₂	Na		
Κουπλετσκίτης-(Cs)	Ti ₂	F	Cs ₂	Na		
Υποομάδα δεβιτοΐτη						
Δεβιτοΐτης	Fe ³⁺ ₂	□ ₂	Ba ₂	Ba		(PO ₄)C O ₃
Σβαϊνμπεργκίτης	Ti ₂	[OH(H ₂ O)]	(H ₂ O) ₂	[Ca(H ₂ O)]		
Λομπανοβίτης	Ti ₂	□	K ₂	Na		

6. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το υπό εξέταση ορυκτό είναι βαρύ, μαλακό και εύθραυστο και τυπικά σχηματίζει λεπίδες που παραπέμπουν στη μορφή άστρου (εικ. 4), από όπου έχει λάβει και την ονομασία του σε συνδυασμό με τη λέξη «φύλλο». Η έντονη υπομεταλλική λάμψη και σκίασή του έρχονται σε μεγάλη αντίθεση με το λευκό, σαλικό μητρικό υλικό στο οποίο συνήθως εντοπίζεται. Τις περισσότερες φορές το ορυκτό είναι αδιαφανές έως ημιδιαφανές, αλλά ορισμένα λεπτά του δείγματα μπορεί να είναι διαφανή (εικ. 5).

Σε ό,τι αφορά την στιλπνότητα του αστροφυλλίτη αυτή είναι ελαιώδης (greasy), μαργαριταρώδης (pearly) ή υπομεταλλική (εικ. 6). Το χρώμα του κυμαίνεται από το καφέ έως το χρυσό ή το κίτρινο, ενώ οι ραβδώσεις του είναι χρυσές (εικ. 7).

Η σκληρότητα του αστροφυλλίτη στην κλίμακα Mohs είναι της τάξης του 3 και το ειδικό βάρος κυμαίνεται από 3.2 έως 3.4 g. Αναφορικά με την παραμόρφωση του ορυκτού πριν από τη θραύση αυτή είναι μικρή, δηλαδή πρόκειται για ένα ψαθυρό υλικό. Ο σχισμός του ορυκτού θεωρείται τέλειος στο κρυσταλλογραφικό επίπεδο (001) και φτωχός στο επίπεδο (100). Επίσης, ο θραυσμός του θεωρείται ανώμαλος/άνισος, ενώ η πυκνότητα του ορυκτού κυμαίνεται μεταξύ 3.2 και 3.4 g/cm³. Τέλος, η γραμμή σκόνης του αστροφυλλίτη είναι χρυσή.

Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1, ο αστροφυλλίτης ενδιαφέρει κυρίως την επιστημονική έρευνα, καθώς, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητάς του και του υψηλού του κόστους, ο αστροφυλλίτης σπανίως χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της διακόσμησης. Ενίοτε χρησιμοποιείται στην κοσμηματοποιία σε κοπές cabochon (Mindat.org).



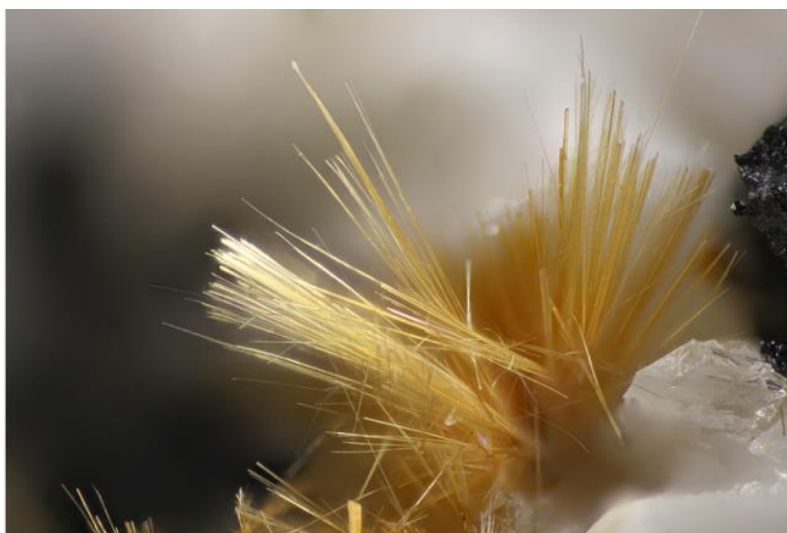
Εικόνα 4. Δείγμα αστροφυλλίτη από τον ορεινό όγκο Khibiny στο Murmansk Oblast, Ρωσία (Mindat.org) .



Εικόνα 5. Δείγμα αστροφυλλίτη (Kangerluarsuk Fjord, Σύμπλεγμα Ilimaussaq, Γροιλανδία) (Mindat.org).



Εικόνα 6. Δείγμα αστροφυλλίτη (Ηφαίστειο Agua de Pau, Sao Miguel, Αζόρες, Πορτογαλία) (Mindat.org).



Εικόνα 7. Δείγμα αστροφυλλίτη (Ηφαίστειο Aguade Pau, Sao Miguel, Αζόρες, Πορτογαλία) (Mindat.org).

7. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Ο αστροφυλλίτης είναι διάξονας (+) , δηλαδή περιέχει δύο διευθύνσεις διάδοσης του φωτός στις οποίες δεν παρατηρείται διπλή διάθλαση. Εν γένει, οι διάξονες (biaxial) κρύσταλλοι διαθέτουν δύο οπτικούς άξονες, άρα και δύο κυκλικές τομές, κατά μήκος των οποίων το φως διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα.

Επιπροσθέτως, για τον αστροφυλλίτη οι τιμές των δεικτών διάθλασης έχουν ως ακολούθως (Mindat.org):

1. $n_\alpha = 1.680$
2. $n_\beta = 1.700$
3. $n_\gamma = 1.730$.

Η γωνία μεταξύ των δύο οπτικών αξόνων (2V) του αστροφυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ 70° έως 90°, βάσει μετρήσεων, και, σύμφωνα με υπολογισμούς, ανέρχεται στις 80°. Επιπλέον, η διπλοθλαστικότητα του αστροφυλλίτη, ήτοι η οπτική ιδιότητα που αφορά την εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από την πόλωση και τη διεύθυνση διάδοσης του φωτός, είναι $\delta = 0.050$ και απεικονίζεται στο σχήμα 7.1.



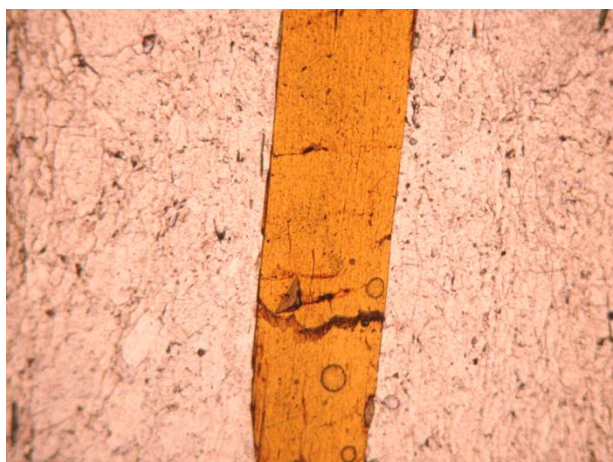
Σχήμα 7.1. Η εικόνα δείχνει το εύρος χρώματος της διπλοθλαστικής παρεμβολής (σε πάχος 30 μm) και δεν λαμβάνει υπόψιν την απόχρωση του ορυκτού (Mindat.org).

Επιπλέον, το ανάγλυφο της επιφάνειας (surface relief) του υπό εξέταση ορυκτού είναι υψηλό, η διασπορά του φωτός μηδενική και ο πλεοχροϊσμός, δηλαδή η ιδιότητα των κρυστάλλων να μεταβάλλουν το χρώμα τους όταν παρατηρούνται σε μικροσκόπιο του οποίου η οπτική τράπεζα περιστρέφεται, είναι έντονος (Mindat.org). Εμφανίζει ψηλά χρώματα πόλωσης και ορθή κατάσβεση.

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες δειγμάτων αστροφυλλίτη από το μικροσκόπιο (εικ. 8 και 9).



(α)



(β)

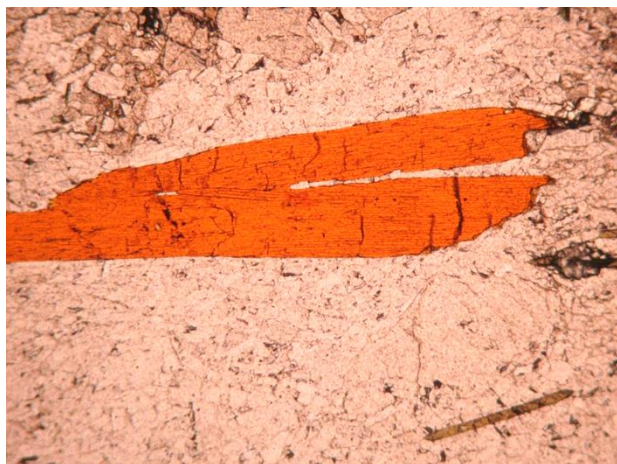


(γ)

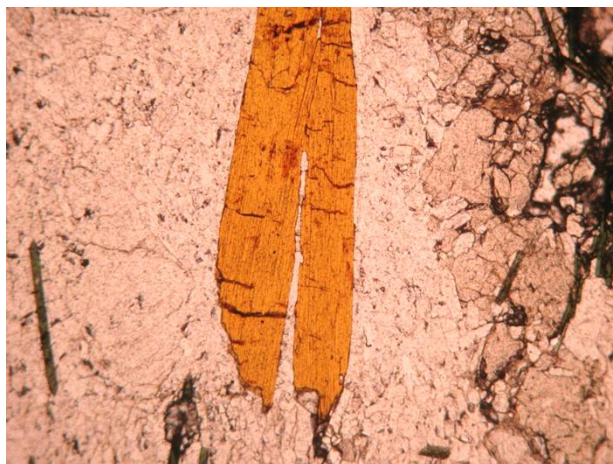


(δ)

Εικόνα 8. Φωτογραφίες τομής αστροφυλλίτη κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός. α) διακρίνεται το καστανό-χρυσό χρώμα του ορυκτού (N-), β) με στροφή της τράπεζας όπου διακρίνεται ο πλεοχροϊσμός του (N-), γ) διακρίνονται τα ψηλά χρώματα πόλωσης (N+) , δ) διακρίνεται η ορθή κατάσβεση.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 9. Φωτογραφίες τομής αστροφυλλίτη κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός. α) διακρίνεται το καστανό-χρυσό χρώμα του ορυκτού (N-), β) με στροφή της τράπεζας όπου διακρίνεται ο πλεοχροϊσμός του (N-), γ) διακρίνονται τα ψηλά χρώματα πόλωσης (N+) , δ) διακρίνεται η ορθή κατάσβεση.

8. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΟΠΟΥ ΣΥΝΑΝΤΑΤΑΙ Ο ΑΣΤΡΟΦΥΛΛΙΤΗΣ

Τα μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη προέρχονται από αλκαλικές διεισδύσεις, ενώ έχουν περιγραφεί συνήθως ως «επουσιώδη» πετρογενετικά ορυκτά στους υπεραλκαλικούς ή νεφελινικούς συηνίτες, τους αλκαλικούς γρανίτες και τους συνδεδεμένους με αυτούς πηγματίτες. Επιπλέον, τα ορυκτά της ομάδας του αστροφυλλίτη έχουν περιγραφεί ως συστατικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων, όπως ο νεφελινικός συηνιτικός γνεύσιος και ο ρειβεκιτικός γνεύσιος. Ο συηνίτης περιέχει ως βασικό ορυκτό αστριοειδή και δευτερευόντως μαρμαρυγία, κεροστίλβη, χαλαζία, αμφίβολο και συχνά νεφελίνη. Τα πετρώματα αυτά απουσιάζουν από τον ελληνικό χώρο και κατ' επέκταση και τα ορυκτά από τα οποία αποτελούνται. Κατά συνέπεια, τα μέλη της ομάδας του αστροφυλλίτη έχουν εντοπιστεί σε περιορισμένες περιοχές αλκαλικών όγκων (Piilonen et al., 2003α) με την πλήρη απουσία τους από τον ελληνικό χώρο.

9. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ

Ο αστροφυλλίτης έχει ανευρεθεί σε απομονωμένες περιοχές, όπως οι παρακάτω (Mineral Data Publishing, 2001):

1. Στη Νορβηγία: Νήσος Låven και Brevik, Langesundsfjord.
2. Στη Γροιλανδία: Narsaarssuk, Ilimaussaq κ.ά.
3. Στην Ισπανία: Νοτίως της La Guia και Monte Galineiro, Vigo, Pontevedra.
4. Στις ΗΠΑ: Στο Colorado: St. Peter's Dome, Pikes Peak, El Paso Co., στο Maine: κοντά στο Biddleford, York Co.
5. Στον Καναδά: Mont Saint-Hilaire, Κεμπέκ και στο σύμπλεγμα Red Wine, Labrador, Newfoundland.

6. Στη Γουινέα: Rouma Isle, Los Islands.

7. Στη Νότια Αφρική: Pilansberg, Transvaal.

8. Στη Μογγολία: Γρανιτικός όγκος Khan-Bogdinskii, Gobi.

9. Στη Ρωσία: Όρη Yukspor και Eveslogchorr του ορεινού όγκου Khibiny, στον ορεινό όγκο Lonozero, στη χερσόνησο Kola και σε άλλες τοποθεσίες που δεν είναι καλά προσδιορισμένες από γεωγραφική άποψη.

Ενδεικτικός χάρτης με τα μέρη που έχει ανευρεθεί αστροφυλλίτης παρατίθεται στο σχήμα 9.1.



Σχήμα 9.1. Ενδεικτικές γεωγραφικές θέσεις όπου έχει ανευρεθεί αστροφυλλίτης (Mindat.org).



Abdel-Rahman, A. F. M. (1992). Mineral chemistry and paragenesis of astrophyllite from Egypt. *Mineral. Mag.*, 56, 17-26.

Chelishchev, N. F. (1972). Ion exchange properties of astrophyllites under supercritical conditions. *Geochem.*, 7, 856-860.

Christiansen, C. C., Johnsen, O. & Stahl, K. (1998). Crystal structure of kupletskite from the Kangerdlugssuaq intrusion, East Greenland. *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.*, 6, 253-264.

Christiansen, C. C., Makovicky, E. & Johnsen, O. (1999). Homology and typism in heterophyllosilicates: an alternative approach. *Neues Jahrb. Mineral., Abh.*, 175, 153-189.

Ferraris, G. (1997). Polysomatism as a tool for correlating properties and structure. Στο S. Merlino (επιμ.), *EMU Notes on Mineralogy*, Vol. 1: Modal Aspects of Minerals, Notes in Mineralogy (σσ. 275-295). Budapest: Eötvös University Press.

Ganzeyev, A. A., Yefimov, A. F. & Semenova, N. G. (1969). Isomorphism of the alkali metals in minerals of the astrophyllite-group. *Geochem. Int.*, 6, 295-300.

Layne, G. D., Rucklidge, J. C. & Brooks, C. K. (1982). Astrophyllite from Kangerdlugssuaq, East Greenland. *Mineral. Mag.*, 45, 149-156.

Macdonald, R. & Saunders, M. J. (1973). Chemical variation in minerals of the astrophyllite-group. *Mineral. Mag.*, 39, 97-111.

Mineral Data Publishing (2001). *Astrophyllite*. Ανακτήθηκε από <http://www.handbookofmineralogy.com/pdfs/astrophyllite.pdf>

Nielsen, T. F. D. (1978). The Tertiary dike swarms of the Kangerdlugssuaq area. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 67, 63-78.

Peng, C. C. & Ma, C. S. (1963). [Crystal structure of astrophyllite and a new type of band silicate radical]. *Sci. Sinica*, 12, 272-276 [στην κινεζική].

Piilonen, P. C., Lalonde, A. E., McDonald, A. M. & Gault, R. A. (2000). Niobokupletskite, a new astrophyllite-group mineral from Mont Saint-Hilaire, Québec: description and crystal structure. *Can. Mineral.*, 38, 627-639.

Piilonen, P. C., LaLonde, A. E., McDonald, A.M., Gault, R. A. & Larsen, A.O. (2003α). Insights into astrophyllite-group minerals. I. Nomenclature, composition and development of a standardized general formula. *The Canadian Mineralogist*, 41, 1–26.

Piilonen, P. C., Pekov, I. V., Back, M., Steede, T. & Gault, R. A. (2006). Crystal-structure refinement of a Zn-rich kupletskite from Mont Saint-Hilaire, Quebec, with contributions to the geochemistry of zinc in peralkaline environments. *Mineralogical Magazine*, 70, 565–578.

Piilonen, P.C., McDonald, A.M. and LaLonde, A.E. (2003β). Insights into astrophyllite-group minerals. II. Crystal chemistry. *The Canadian Mineralogist*, 41, 27–54.

Sokolova, E. (2012). Further developments in the structure topology of the astrophyllite-group 310 minerals. *Mineralogical Magazine*, 76, 863–882.

Sokolova, E., Cámara, F., Hawthorne, F. C., & Ciriotti, M. E. (2017). The astrophyllite supergroup: nomenclature and classification. *Mineralogical Magazine*, 81(1), 143-153.

Woodrow, P. J. (1967). The crystal structure of astrophyllite. *Acta Crystallographica*, 22(5), 673-678.

Zhitova, E. S., Krivovichev, S. V., Hawthorne, F. C., Krzhizhanovskaya, M. G., Zolotarev, A. A., Abdu, Y. A., Yakovenchuk, V. N., Pakhomovsky, Y. A. & Goncharov, A. G. (2017). High-temperature behaviour of astrophyllite, $K_2NaFe_{72}Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4F$: a combined X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopic study. *Physics and Chemistry of Minerals*, 44, 595-613.

Mindat.org. Astrophyllite. Ανακτήθηκε από <https://www.mindat.org/min-405.html>