




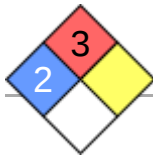
που παίζουν εξειδικευμένους ρόλους ως υψηλής αντοχής ελαφρά δομικά και πυρίμαχα υλικά. Τα γυαλικά από βοροπυριτικό γυαλί (pyrex, υαλοβάμβακας) χρησιμοποιούνται για τη μεγαλύτερη αντοχή τους, μηχανική και αντιθερμική, σε σύγκριση με το απλό γυαλί σόδας - ασβέστη. Οι βοριούχες ενώσεις χρησιμοποιήθηκαν, ακόμη, ως γεωργικά λιπάσματα και ως λευκαντικά υπερβορικού νατρίου. Σε μικρότερη (σε ποσότητα) εφαρμογές του, το βόριο είναι σημαντική πρόσμειξη σε ημιαγωγούς τύπου P<sup>[3]</sup>, ενώ βοριούχα αντιδραστήρια χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσα για τη σύνθεση σημαντικών οργανικών χημικών. Λίγα βοριούχα οργανικά φαρμακευτικά χρησιμοποιούνται ή βρίσκονται υπό έρευνα για αντίστοιχους σκοπούς.

Το φυσικό βόριο αποτελείται από δυο (2) σταθερά ισότοπα, από τα οποία το βόριο-10 (<sup>10</sup>B) έχει έναν αριθμό εφαρμογών ως μέσο σύλληψης νετρονίων.

Στη βιολογία, τα βορικά άλατα έχουν χαμηλή τοξικότητα για τα θηλαστικά, όμοια με εκείνη του μαγειρικού αλατιού, αλλά είναι πιο τοξικά για τα αρθρόποδα και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκαν ως εντομοκτόνα. Το βορικό οξύ (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) είναι ήπιο αντιμικροβιακό και υπάρχει ένα γνωστό οργανικό βοριούχο αντιβιοτικό<sup>[4]</sup>. Το βόριο είναι απαραίτητο για τη ζωή. Μικρές ποσότητες βοριούχων ενώσεων παίζουν ενισχυτικό ρόλο στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών, και αυτό κάνει το βόριο απαραίτητο για τα καλλιεργήσιμα εδάφη, αν και όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος γίνεται τοξικό<sup>[5]</sup>. Πειράματα έδειξαν ότι το βόριο έχει ρόλο υπεριχνοστοιχείου και στα ζώα, αλλά είναι άγνωστη η φυσιολογία του σε αυτά.

## Ιστορία

Η λέξη «βόριο» προήρθε από την ονομασία του «βάρακα», λέξη που με τη σειρά της φαίνεται να προέρχεται από την περσική λέξη *burah*<sup>[6]</sup>, που είναι το περσικό όνομα του ορυκτού<sup>[7]</sup>. Η κατάληξη «-ον» στην αγγλόφωνη ονομασία *boron* προήλθε από αναλογία με την ονομασία *carbon* που χρησιμοποιείται για τον άνθρακα, στοιχείο που γειτονεύει με το βόριο στον Περιοδικό Πίνακα.

Ατομικές ιδιότητες	
Ατομική ακτίνα	98 pm
Ομοιοπολική ακτίνα	82 pm (sp <sup>2</sup> )
Ηλεκτραρνητικότητα	2,04
Κυριότεροι αριθμοί οξείδωσης	±3
Ενέργειες ιονισμού	1η:800,6 kJ/mol (B <sub>(g)</sub> → B <sup>+</sup> <sub>(g)</sub> + e <sup>-</sup> ) 2η:2.427,1 kJ/mol (B <sup>+</sup> <sub>(g)</sub> → B <sup>2+</sup> <sub>(g)</sub> + e <sup>-</sup> ) 3η:3.659,7 kJ/mol (B <sup>2+</sup> <sub>(g)</sub> → B <sup>3+</sup> <sub>(g)</sub> + e <sup>-</sup> )
Φυσικά χαρακτηριστικά	
Σημείο τήξης	2,076 °C (2.349,16 K)
Σημείο βρασμού	3.927 °C (4.200,16 K)
Πυκνότητα	2.34 g/cm <sup>3</sup>
Ενθαλπία τήξης	50.2 kJ·mol <sup>-1</sup>
Ενθαλπία εξάτμισης	480 kJ·mol <sup>-1</sup>
Ειδική θερμοχωρητικότητα (20°)	11.087 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Μαγνητική συμπεριφορά	διαμαγνητικό
Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (20 °C)	1,5 10 <sup>-6</sup> Ω <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>
Ειδική θερμική αγωγιμότητα	27,4 W/(m·K)(27 °C)
Σκληρότητα Mohs	~9.5
Ταχύτητα του ήχου	16.200 m/s (20 °C)
Επικινδυνότητα	
	
Φράσεις κινδύνου	11, 20, 21, 22, 36, 37, 38
Κίνδυνοι κατά NFPA 704	
Η κατάσταση αναφοράς είναι η πρότυπη κατάσταση (25°C, 1 Atm) εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά	

Το βόριο βρίσκεται κυρίως σε ορυκτά όπου σχηματίζονται κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης του νερού και υδροθερμικών μεταβολών των πετρωμάτων. Οι ενώσεις του βορίου ήταν γνωστές από τα αρχαία χρόνια όπου χρησιμοποιούνταν κυρίως για την κατασκευή γυάλινων αντικειμένων.



Σασολίτης

Υαλώματα βόρακα χρησιμοποιούνταν στην Κίνα από το 300, και κάποια κομμάτια ακατέργαστου βόρακα έφθασαν στη Δύση, όπου ο Πέρσης αλχημιστής Jābir ibn Ḥayyān φαίνεται να τον αναφέρει το 700. Ο Μάρκο Πόλο έφερε κάποια υαλώματα βόρακα μαζί του στην Ιταλία, κατά το 13<sup>ο</sup> αιώνα.

Ακόμη, στη Μεσαιωνική Ιαπωνία χρησιμοποιούνταν σε κράματα χάλυβα για την κατασκευή των ξιφών (όπως τα διάσημα κατάνα) των σαμουράι.

Ο Αγκρικόλα, γύρω στο 1600, ανέφερε τη χρήση του βόρακα ως έναν ρευστοποιητή στη μεταλλουργία. Το 1777 αναγνωρίστηκε το βορικό οξύ ( $H_3BO_3$ ) σε θερμές πηγές κοντά στη Φλωρεντία της Ιταλίας, και έγινε γνωστό ως *sal sedativum*, με ιατρικές, κυρίως, εφαρμογές. Το σπάνιο αυτό ορυκτό ονομάζονταν σασολίτης, επειδή είχε βρεθεί στο Σάσο της Ιταλίας. Το Σάσο ήταν η κύρια ευρωπαϊκή πηγή για τον βόρακα από το 1827 έως το 1872, οπότε Αμερικανικές πηγές την αντικατέστησαν<sup>[8][9]</sup>.

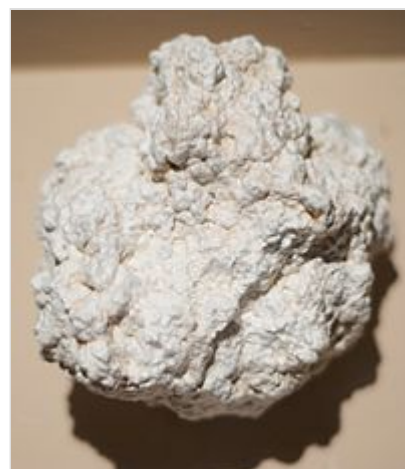
Σποραδικές έρευνες κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα οδήγησαν τελικά στην απομόνωση ακάθαρτου βορίου (~50%) στα 1808 από τους Σερ Χάμφρι Ντέιβι (*Sir Humphry Davy*), Ζοζέφ Λουί Γκαι-Λυσάκ (*Joseph-Louis Gay-Lussac*) και Λουί Ζακ Τενάρ (*Louis Jaques Thénard*), με αναγωγή βορικού οξέος με νάτριο ή μαγνήσιο. Στη συνέχεια, στα 1892, ο Ανρί Μουασάν (*Henri Moissan*) κατάφερε να παραλάβει δείγματα του στοιχείου με καθαρότητα 95-98%, με αναγωγή οξειδίου του βορίου με μαγνήσιο. Τέλος, στα 1909, ο Αμερικανός χημικός Γουάιντραουμπ (*W. Weintraub*) ήταν ο πρώτος που παρέλαβε βόριο υψηλής καθαρότητας (>99%).

Οι ενώσεις του βορίου ήταν σχετικά σπάνια χρησιμοποιούμενα χημικά μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1800, οπότε η *Francis Marion Smith's Pacific Coast Borax Company* για πρώτη φορά τις έκανε λαοφιλείς, κάνοντάς τις οικονομικά προσιτές, με οικονομία κλίμακος<sup>[10]</sup>.

Το βόριο δεν αναγνωρίστηκε ως χημικό στοιχείο μέχρι που απομονώθηκε από τον Σερ Χάμφρι Ντέιβι<sup>[11]</sup> (*Sir Humphry Davy*) και από τους Ζοζέφ Λουί Γκαι-Λυσάκ (*Joseph Louis Gay-Lussac*) και Λουί Ζακ Τενάρ (*Louis Jacques Thénard*)<sup>[12]</sup>. Συγκεκριμένα, το 1808 ο Ντέιβι παρατήρησε ότι όταν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα διαμέσου διαλύματος βορικών παράγεται ένα καφετί ίζημα σε ένα από τα ηλεκτρόδια. Σε επόμενα πειράματά του χρησιμοποίησε μεταλλικό κάλιο (K) για την αναγωγή βορικού οξέος, αντί για ηλεκτρόλυση. Όταν παρήγαγε αρκετό (στοιχειακό) βόριο, επιβεβαίωσε ότι ήταν ένα νέο (για τότε) χημικό στοιχείο και το ονόμασε *boracium*<sup>[11]</sup>. Οι Γκαι-Λυσάκ και Τενάρ χρησιμοποίησαν μεταλλικό σίδηρο (Fe) και υψηλή θερμοκρασία για την αναγωγή βορικού οξέος. Οξειδώνοντας το παραγόμενο βόριο με ατμοσφαιρικό αέρα έδειξαν ότι το βορικό οξύ είναι ένα προϊόν οξείδωσης του βορίου<sup>[12][13]</sup>. Ο Γιονς Γιάκομπ Μπερζέλιους (*Jöns Jakob Berzelius*) ταυτοποίησε το βόριο ως χημικό στοιχείο το 1824<sup>[14]</sup>. Καθαρό βόριο αναμφισβήτητα πρωτοπαράχθηκε από τον Αμερικανό χημικό Εζεκιέλ Γουάιντραουμπ (*Ezekiel Weintraub*) το 1909<sup>[15][16][17]</sup>.

## Προέλευση και παραγωγή

Το βόριο δε βρίσκεται ελεύθερο στη φύση. Έτσι, οι βασικές πηγές από τις οποίες μπορούμε να το παραλάβουμε είναι από ορυκτά, που περιέχουν βόριο ενωμένο με άλλα χημικά στοιχεία, όπως ο βόρακας, ο κολεμανίτης, ο ουλεξίτης και ο κερνίτης. Οι πιο σημαντικές ποσότητες αυτών των βορικών ορυκτών βρίσκονται σε περιοχές με προηγούμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα και φαίνεται ότι σχετίζονται με τα νερά πρώην θερμών πηγών. Το ορυκτό που κρυσταλλώνεται αρχικά σε αυτές τις περιοχές είναι ο ουλεξίτης  $\{NaCa[B_5O_6(OH)_6] \cdot 5H_2O\}$ , συνήθως σε μείγμα με μικρότερες ποσότητες βόρακα  $\{Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O\}$ . Με το πέρασμα του χρόνου, η έκθεση των ορυκτών στα καιρικά φαινόμενα έχει ως αποτέλεσμα το ξέπλυμα από τα επιφανειακά νερά και την απομάκρυνση των πιο διαλυτών συστατικών, αφήνοντας ως υπόλειμμα ένα κοίτασμα του λιγότερο διαλυτού ορυκτού, του κολεμανίτη  $\{Ca[B_3O_4(OH)_3] \cdot H_2O\}$ . Ο βόρακας που απομακρύνθηκε πολλές φορές συσσωρεύεται και, αφού υποστεί κάποιες αλλαγές, δημιουργεί κοίτασμα ενός δευτερογενούς, εμπορικά σημαντικού ορυκτού, του κερνίτη,  $\{Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 2H_2O\}$ .



Ουλεξίτης

Τα παγκόσμια εμπορικά αποθέματα βορίου εκτιμούνται στους  $10^7$  τόνους βορίου<sup>[18][19]</sup>.

Η Τουρκία, που έχει περίπου το 72% των παγκόσμιων εμπορικών αποθεμάτων βορίου, και οι ΗΠΑ είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί βορίου παγκοσμίως<sup>[20][21][22]</sup>.

Ο ουλεξίτης είναι ένα βοριούχο ορυκτό που έχει από τη φύση του ιδιότητες οπτικών ινών.

Οικονομικά σημαντικές πηγές είναι τα κοιτάσματα ρασορίτη (κερνίτης) και τίνκαλ (ορυκτό βόρακα) που βρίσκονται στην Έρημο Μοζάβας στην Καλιφόρνια. Το μεγαλύτερο κοίτασμα βόρακα βρίσκεται στην Κεντρική και Δυτική Μικρά Ασία<sup>[23][24][25]</sup>.

Το χημικά καθαρό στοιχειακό βόριο δεν είναι εύκολο να παραχθεί. Για την παραγωγή στοιχειακού βορίου χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι που διαφέρουν ως προς τον βαθμό καθαρότητας που επιτυγχάνουν:

1. Αναγωγή του οξειδίου του βορίου από μέταλλα (συνήθως μαγνήσιο) σε υψηλές θερμοκρασίες. Άλλα στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι το Li, Na, K, Be, Ca, Al, Fe. Το προϊόν είναι άμορφο και περιέχει τα αντίστοιχα μεταλλικά βορίδια ως προσμίξεις. Η καθαρότητα του κυμαίνεται από 95-98%.
2. Αναγωγή αλογονούχων πτητικών αλογονιδίων του βορίου, όπως το τριχλωριούχο βόριο ( $BCl_3$ ) και το τριβρωμιούχο βόριο ( $BBr_3$ ) με διυδρογόνο ( $H_2$ ). Η μέθοδος αυτή, που εφαρμόζεται από το 1922, θεωρείται σήμερα από τις αποτελεσματικότερες στην παραγωγή βορίου υψηλής καθαρότητας (>99,9%). Σε θερμοκρασίες κάτω από 1000 °C παράγεται άμορφο βόριο ενώ από 1000-1200 °C κρυσταλλικό με α- και β-ρομβοεδρική διάταξη. Πάνω από 1.200 °C παράγονται κρύσταλλοι με τετραγωνική διάταξη.
3. Με θερμική αποσύνθεση (συνήθως) διβορανίου(6) παράγεται πολύ υψηλής καθαρότητας βόριο για χρήση στη βιομηχανία των ημιαγωγών. Αν χρειάζεται, το βόριο καθαρίζεται



περισσότερο με τη χρήση της μεθόδου της τήξης ζώνης (zone melting) ή τη διεργασία Τσοχράλσκι (Czochralski processes)<sup>[26]</sup>.

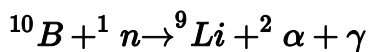
Η παραγωγή βοριούχων ενώσεων δεν περιλαμβάνει τον σχηματισμό στοιχειακού βορίου, αλλά εκμεταλλεύεται τη βολική διαθεσιμότητα των βορικών ενώσεων.

## Τα ισότοπα του βορίου

Το βόριο στη φύση έχει δύο σταθερά ισότοπα, το βόριο-11 που εμφανίζεται με αναλογία ατόμων 80,1% και το βόριο-10 με αναλογία ατόμων 19,9%. Υπάρχουν επίσης άλλα 13 γνωστά ισότοπα του βορίου σε ελάχιστη αναλογία. Από αυτά το ισότοπο με τον μικρότερο χρόνο ημιζωής είναι το βόριο-7 με χρόνο ημιζωής μόλις  $3.5 \times 10^{-22}$  s. Τα δύο σταθερά ισότοπα του βορίου διαχωρίζονται μεταξύ τους με ελεγχόμενες αντιδράσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται οι ενώσεις  $B(OH)_3$  και  $B(OH)_4$ .

### Το «εμπλουτισμένο» βόριο (βόριο-10)

Το ισότοπο βόριο-10 έχει την ιδιότητα να απορροφά θερμικά νετρόνια σύμφωνα με την πιο κάτω πυρηνική αντίδραση:



Τα προϊόντα των αντιδράσεων αυτών είναι λίθιο-9, -γ (φωτόνια) και -α σωματίδια σημαντικής ενέργειας.

Το βόριο-10 εξαιτίας αυτής του της ιδιότητας χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων που λειτουργούν με θερμικά νετρόνια, στα συστήματα επείγουσας σβέσης αυτών των πυρηνικών αντιδραστήρων αλλά και ως θωράκιση για προστασία από πεδία θερμικών νετρονίων, αλλά και για ιατρικούς θεραπευτικούς σκοπούς. Το βόριο-10 χρησιμοποιείται στους αντιδραστήρες ως στερεό με τη μορφή βοριοπυριτικών ράβδων ελέγχου ή ως διάλυμα βορικού οξέος. Στους αντιδραστήρες τύπου πεπιεσμένου ύδατος, εισάγεται με τη μορφή βορικού οξέος στο ψυκτικό του αντιδραστήρα όταν ο αντιδραστήρας είναι κλειστός για ανεφοδιασμό. Μετά την έναρξη της λειτουργίας φιλτράρεται σταδιακά προς τα έξω, καθώς το σχάσιμο υλικό που χρησιμοποιείται σταδιακά γίνεται ολοένα και λιγότερο με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερα θερμικά νετρόνια για τη σχάση του. Εκτός από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και την τεχνολογία θωράκισης έναντι νετρονίων το εμπλουτισμένο βόριο χρησιμοποιείται και για ραδιοθεραπεία με νετρόνια. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο ραδιοθεραπείας μια ένωση που περιέχει βόριο-10 εισάγεται με κατάλληλο τρόπο σε καρκινικούς όγκους οι οποίοι δεν επιδέχονται άλλη προσφορότερη θεραπεία (π.χ. σε εγκεφαλικούς όγκους). Στη συνέχεια ο ασθενής εκτίθεται σε μία δέσμη θερμικών νετρονίων κατάλληλης χαμηλής έντασης η οποία προσβάλλει την περιοχή των όγκων. Η πυρηνική αντίδραση αυτών των νετρονίων με τους πυρήνες του βορίου-10 που παρατέθηκε πιο πάνω παράγει ακτινοβολία α (μικρής εμβέλειας και μεγάλης ενέργειας) που βομβαρδίζει και καταστρέφει τον όγκο.<sup>[27][28][29]</sup>

Λόγω της ιδιαίτερης χρήσης του βορίου-10 σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, σε ρόλο απορροφητή θερμικών νετρονίων, έχουν αναπτυχθεί αρκετά βιομηχανοποιημένες διεργασίες παραγωγής του. Πρόκειται για διεργασίες που διαχωρίζουν κατά το δυνατόν το φυσικό βόριο σε βόριο-10 και βόριο-11. Παρόλο που υπάρχουν και πολλές άλλες μέθοδοι για το ίδιο αποτέλεσμα, οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι κυρίως δύο: η κλασματική απόσταξη του παραγώγου του βορίου DME-BF<sub>3</sub> (διμεθυλαιθεροτριφθοροβόριο) και η χρωματογραφία στήλης βοριούχων ενώσεων<sup>[30]</sup> και

ονομάζονται διεργασίες «ισοτοπικού εμπλουτισμού βορίου»». Το προϊόν των διεργασιών που περιέχει σχεδόν καθαρό βόριο-10 ονομάζεται «εμπλουτισμένο» βόριο, ενώ το υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό βόριο-11 και ονομάζεται «απεμπλουτισμένο» βόριο.

## Το «απεμπλουτισμένο βόριο» (βόριο-11)

Αντίθετα από το βόριο-10, το βόριο-11 δεν απορροφά νετρόνια και γι' αυτό χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία ημιαγωγών σε συστήματα που πρέπει να αντέχουν σε προσβολή από ακτινοβολία νετρονίων. Επιπλέον το βόριο-11 έχει προταθεί ως πυρηνικό καύσιμο διότι όταν προσβάλλεται από πρωτόνιο κινητικής ενέργειας περίπου 500 keV παράγει 3 σωματίδια  $\alpha$  και 8,7 MeV ενέργειας. Οι περισσότερες άλλες αντίστοιχες πυρηνικές αντιδράσεις παράγουν και ταχέα νετρόνια που είναι καταστρεπτικά, τόσο για τον ίδιο τον αντιδραστήρα, αλλά και βλαβερά για το προσωπικό που τυχόν εκτίθεται σε αυτά. Με τη χρήση του βορίου-11 η κινητική ενέργεια των σωματιδίων  $\alpha$  μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ τυχόν άλλες ραδιενεργές ακτινοβολίες παύουν σύντομα όταν κλείσει ο σχετικός αντιδραστήρας.<sup>[31]</sup>

## Το βόριο και η φασματοσκοπία NMR

Και τα δύο σταθερά ισότοπα του βορίου, το βόριο-10 και το βόριο-11 έχουν πυρηνικό σπιν. Το πυρηνικό σπιν του βορίου-10 είναι 3 και αυτό του βορίου-11 είναι 3/2. Γι' αυτό τα ισότοπα αυτά είναι εντοπίσιμα από τη φασματοσκοπία NMR, και φασματόμετρα που μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να τα ανιχνεύουν κυκλοφορούν στο εμπόριο.

## Χαρακτηριστικά

### Αλλομορφές του βορίου

Το βόριο έχει παρόμοια με τον άνθρακα ικανότητα αλυσσοποίησης, δηλαδή να σχηματίζει σταθερούς ομοιοπολικούς δεσμούς και σύνθετες μοριακές δομές. Επίσης, το βόριο χρησιμοποιήθηκε σε θερμοάντοχα κράματα. Αν και η αναμενόμενη και συνηθισμένη οξειδωτική του κατάσταση είναι  $\pm 3$ , σχηματίζει, επίσης, ενώσεις και με άλλες, όπως π.χ.  $B^{II}$  στο τετραφθοριούχο διβόριο ( $B_2F_4$ )<sup>[33]</sup>. Ακόμη και το λεγόμενο άμορφο βόριο, είναι προϊόν αρκετών χημικών αντιδράσεων, έχει δομή κανονικών εικοσιέδρων, που είναι, ωστόσο, τυχαία συνδεδεμένα μεταξύ τους, χωρίς μεγάλης κλίμακας τάξη<sup>[34][35]</sup>. Το κρυσταλλικό βόριο είναι ένα πολύ σκληρό, μαύρο υλικό, με πολύ υψηλή θερμοκρασία τήξης, πάνω από 2.000 °C. Υπάρχει σε τέσσερα (4) κύρια πολύμορφα:  $\alpha$  και  $\beta$  ρομβοεδρικές ( $\alpha$ -R και  $\beta$ -R),  $\gamma$  και  $\beta$  τετραγωνικές ( $\gamma$ -T και  $\beta$ -T), ενώ υπάρχει επίσης και η  $\alpha$  τετραγωνική ( $\alpha$ -T), αλλά είναι πολύ δύσκολο να παραχθεί χωρίς σημαντικές προσμείξεις. Ενώ οι  $\alpha$ ,  $\beta$  και T φάσεις βασίζονται σε

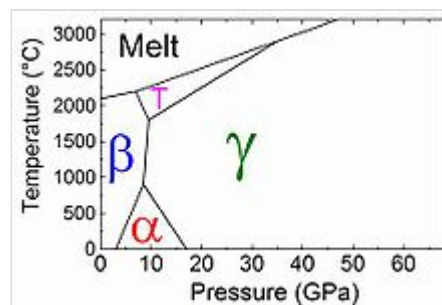


β-ρομβοεδρικό βόριο (η πιο σταθερή θερμοδυναμικά αλλομορφή του στοιχείου).



Κομμάτια βορίου.

εικοσάεδρα μοριακού τύπου  $B_{12}$ , γ φάση μπορεί να περιγραφεί ως τύπου ορυκτού άλατος διάταξη εικοσάεδρων και ατομικών ζευγών  $B_2$ <sup>[36]</sup>. Μπορεί να παραχθεί με συμπίεση άλλων φάσεων του βορίου υπό πιέσεις 12-20 GPa και θέρμανση σε θερμοκρασίες 1.500–1.800 °C. Παραμένει σταθερή μετά την αποκατάσταση θερμοκρασίας και πίεσης στα φυσιολογικά επίπεδα. Η φάση T για να παραχθεί απαιτεί παρόμοιες πιέσεις, αλλά ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες 1.800–2.200 °C. Οι φάσεις α και β συνυπάρχουν σε συνθήκες περιβάλλοντος, με τη φάση β να είναι σταθερότερη<sup>[36][37][38]</sup>.



Διάγραμμα φάσεων του βορίου<sup>[32]</sup>

Συμπιέζοντας βόριο υπό πιέσεις πάνω από 160 GPa παράγεται μια φάση βορίου με άγνωστη προς το παρόν δομή, αλλά είναι υπεραγώγιμη σε θερμοκρασίες 6 - 12 K.<sup>[39]</sup> Βοροσφερένια, με μόρια παρόμοια με αυτά των φουλερενίων και μοριακό τύπο  $B_{40}$ , καθώς και βοροφένια, με δομή παρόμοια με αυτήν του γραφίτη, έχουν περιγραφεί το 2014.

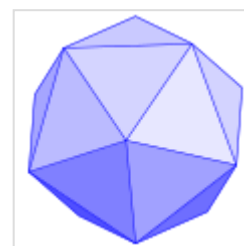
Φάση βορίου	α-R	β-R	γ	β-T
<b>Συμμετρία</b>	Ρομβοεδρική	Ρομβοεδρική	Ορθορομβική	Τετραγωνική
<b>Άτομα/μονάδα</b> <sup>[32]</sup>	12	~105	28	
<b>Πυκνότητα (g/cm<sup>3</sup>)</b> <sup>[40]</sup>		2,35	2,52	2,36
<b>Σκληρότητα (GPa)</b> <sup>[41]</sup>	42	45	50-58	
<b>Bulk modulus (GPa)</b> <sup>[42]</sup>	185	224	227	
<b>Bandgap (eV)</b> <sup>[43]</sup>	2	1,6	2,1	

Βοριούχες ενώσεις, όπως το τριχλωριούχο βόριο ( $BCl_3$ ), συμπεριφέρονται σαν ηλεκτρονιόφιλα ή οξέα κατά Lewis. Το βόριο είναι, ακόμη, το αμέταλλο με την ελάχιστη ηλεκταρνητικότητα.

## Κρυσταλλική δομή

Η κρυσταλλική δομή του βορίου είναι από τις πιο περίπλοκες ανάμεσα στα χημικά στοιχεία. Αυτό οφείλεται στην ποικιλία των τρόπων με τους οποίους το άτομο προσπαθεί να λύσει το πρόβλημα του ηλεκτρονιακού ελλείμματος. Συνήθως, τα στοιχεία σε αυτή την κατάσταση ακολουθούν τη δομή των μεταλλικών δεσμών κάτι όμως που δεν συμβαίνει με το βόριο το οποίο προτιμάει τους ομοιοπολικούς δεσμούς, λόγω του μικρού του μεγέθους και της υψηλής ενέργειας ιονισμού.

Η δομή που κυριαρχεί είναι αυτή του εικοσάεδρου  $B_{12}$ , η οποία επίσης παρατηρείται στις δομές πολλών μεταλλικών βοριδίων και βορανίων. Η δομή αυτή αφήνει μεγάλα κενά ανάμεσα στα άτομα, ικανά να φιλοξενήσουν επιπλέον άτομα βορίου ή μετάλλων. Ακόμα και στην πυκνότερη δομή, την α-ρομβοεδρική, το ποσοστό του χώρου που είναι κατειλημμένο είναι μόλις 37% (σε σχέση με το μέγιστο 74% για σφαίρες). Η α-ρομβοεδρική περιλαμβάνει κανονικά εικοσάεδρα  $B_{12}$  τοποθετημένα σε μια ελαφρώς παραμορφωμένη κυβική δομή μέγιστης πυκνότητας. Η πιο θερμοδυναμικά σταθερή δομή είναι η β-ρομβοεδρική, αρκετά πιο περίπλοκη και αποτελούμενη από 105 άτομα βορίου. Τέλος, η πρώτη



κρυσταλλική δομή του εικοσάεδρου είναι η πιο συνηθισμένη για το άτομο του βορίου

κρυσταλλική δομή που παρασκευάστηκε (1943) ονομάστηκε α-τετραγωνική βορίου και περιέχει 50 άτομα ( $4B_{12} + 2B$ ). Στη συνέχεια (1974) όμως ανακαλύφθηκε ότι αυτή η μορφή εμφανίζεται μόνο παρουσία άνθρακα ή αζώτου ως πρόσμιξη, με αποτέλεσμα στην πραγματικότητα να είναι  $B_{50}C_2$  ή  $B_{50}N_2$ .

## Ποσοτική ανάλυση βορίου

---

Για την ποσοτική ανάλυση του περιεχομένου σε βόριο ενός δείγματος, συνήθως από τρόφιμα, χρησιμοποιείται η χρωμομετρική μέθοδος με κουρκουμίνη: Το περιεχόμενο βόριο μετατρέπεται σε βορικό οξύ ή βορικό άλας, οπότε με την επίδραση της κουρκουμίνης σε όξινο περιβάλλον σχηματίζει ένα κόκκινο χημικό σύμπλοκο, από το οποίο υπολογίζεται η συγκέντρωση του βορίου χρωματομετρικά.

## Ιδιότητες

---

Το βόριο απαντάται στη φύση σε δύο σταθερά ισότοπα, το  $^{10}B$  και  $^{11}B$ , σε αναλογία περίπου 20% και 80% αντίστοιχα. Αυτά τα ισότοπα και η ποικιλία στην αναλογία τους σε σχέση με το κοίτασμα από το οποίο προέρχονται, εμποδίζει τον προσδιορισμό του ατομικού του βάρους με μεγαλύτερη ακρίβεια ( $^{10}B=10,012939$  και  $^{11}B=11,009305$ ). Παρόμοια προβλήματα στον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του προκαλούν και οι πολλές και διαφορετικές φυσικές μορφές με τις οποίες εμφανίζεται αλλά και το γεγονός ότι συνήθως περιέχει προσμίξεις ιδιαίτερα δύσκολο να απομακρυνθούν.

Το βόριο σε καθαρή μορφή είναι σκούρο καφέ ή μαύρο στερεό, συνήθως άμορφο (σκόνη) αλλά και κρυσταλλικό. Είναι εξαιρετικά σκληρό και πυρίμαχο στερεό με υψηλό σημείο τήξεως και σχετικά χαμηλή πυκνότητα. Είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού υπό κανονικές συνθήκες αλλά μετατρέπεται σε καλό αγωγό σε υψηλές θερμοκρασίες.

## Χημικές ιδιότητες και ενώσεις βορίου

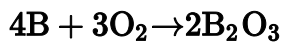
Οι χημικές ιδιότητές του βορίου καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το μικρό (ατομικό) του μέγεθος και την υψηλή ενέργεια ιονισμού. Το βόριο, όπως και οι γείτονές του στον περιοδικό πίνακα άνθρακας και πυρίτιο, παρουσιάζει μια σημαντική προτίμηση στη δημιουργία κυρίως ομοιοπολικών δεσμών. Σε αντίθεση, όμως, με αυτούς, παρουσιάζει “ηλεκτρονιακό έλλειμμα”, δηλαδή διαθέτει ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο σθένους (3), τα οποία συνεισφέρουν στη δημιουργία των ομοιοπολικών δεσμών, από ότι τροχιακά σθένους ( $s$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ ). Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι να λειτουργεί ως δέκτης ηλεκτρονίων (ηλεκτρονιόφιλο) και οι διάφορες ενώσεις του να συμπεριφέρονται ως οξέα κατά Lewis. Επίσης, η πολύ μικρή ηλεκτραρνητικότητα του (έχει τη μικρότερη τιμή στα αμέταλλα - 2,04) έχει ως αποτέλεσμα να οξειδώνεται πολύ εύκολα. Η τιμή αυτή είναι μικρότερη τόσο από την τιμή τόσο του υδρογόνου (2,1) όσο και από του άνθρακα (2,5) με αποτέλεσμα ο δεσμός B-H να έχει αντίθετη πολικότητα από αυτή του C-H, γεγονός αρκετά σημαντικό στις αντιδράσεις υδροβοριώσεως.

Το στοιχειακό βόριο είναι σπάνιο και φτωχά μελετημένο, επειδή το υλικό αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο να παραχθεί σε χημικά καθαρή μορφή. Οι περισσότερες μελέτες πάνω στο βόριο περιλαμβάνουν δείγματα βορίου που περιείχαν μικρές ποσότητες άνθρακα. Χημικά, το βόριο παρουσιάζει περισσότερες ομοιότητες με το πυρίτιο, παρά με το αργίλιο. Το κρυσταλλικό βόριο είναι χημικά αδρανές και αντιστέκεται στην προσβολή από βραστό υδροφθορικό (HF) ή υδροχλωρικό οξύ (HCl). Όταν τελικά

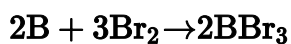


διασπαστεί, μπορεί να προσβληθεί, με αργό ρυθμό, από θερμό υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), από θερμό και πυκνό νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ), από θερμό θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), σκέτο ή σε μείγμα και με χρωμικό οξύ ( $\text{HCrO}_3$ )<sup>[16]</sup>.

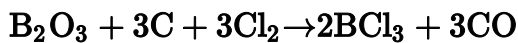
Ο ρυθμός της οξειδωσης και (γενικότερα) η χημική δραστηριότητα του βορίου εξαρτάται από την κρυσταλλικότητα της αλλομορφής που βρίσκεται, το (μέσο) μέγεθος των σωματίων και την καθαρότητα του εξεταζόμενου δείγματος, καθώς και από τη θερμοκρασία. Έτσι, σε θερμοκρασία δωματίου ( $20^\circ\text{C}$ ) αντιδρά με το φθόριο και προσβάλλεται επιφανειακά από το (χημικά καθαρό) οξυγόνο, αλλά όχι με αυτό στον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, το βόριο αντιδρά με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, σχηματίζοντας τριοξείδιο του βορίου ( $\text{B}_2\text{O}_3$ )<sup>[44]</sup>:



Το βόριο αντιδρά με το βρώμιο, σχηματίζοντας τριβρωμιούχο βόριο ( $\text{BBr}_3$ ):



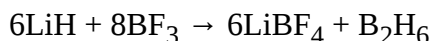
Το τριχλωριούχο βόριο ( $\text{BCl}_3$ ), όμως, συνήθως παράγεται μέσω του τριοξειδίου του βορίου<sup>[44]</sup>:



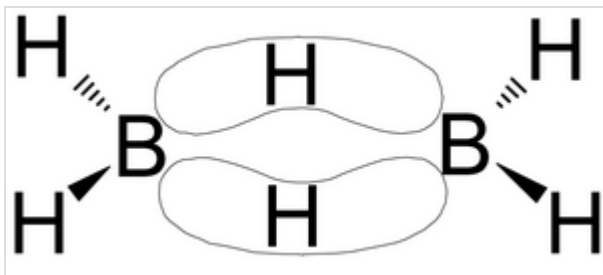
Επίσης, το βόριο αντιδρά ταχύτατα σχεδόν με όλα τα μέταλλα με εξαίρεση τα βαρύτερα στοιχεία των ομάδων 11 – 15 του περιοδικού πίνακα.

Από τις ενώσεις που σχηματίζει μπορούμε να ξεχωρίσουμε κάποιες χαρακτηριστικές ομάδες με βάση το είδος των δεσμών:

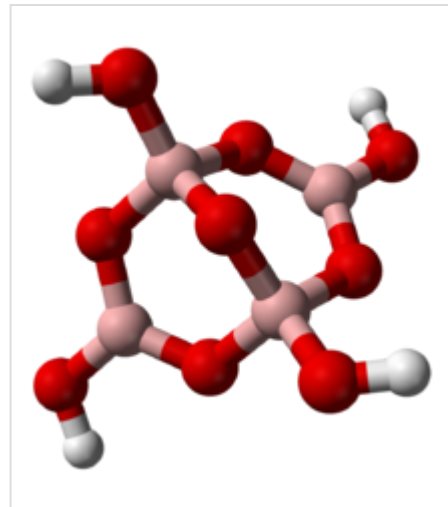
- Τα βορίδια των μετάλλων, τα οποία μπορεί να κυμαίνονται από  $\text{M}_5\text{B}$  μέχρι  $\text{MB}_{66}$ . Τα πλούσια σε μέταλλα βορίδια είναι εξαιρετικά σκληρά, χημικώς αδρανή, μη-πτητικά και πυρίμαχα υλικά. Έχουν σημείο τήξεως και ηλεκτρική αγωγιμότητα συχνά πολύ υψηλότερη από τα “πατρικά” μέταλλα. Έτσι, τα διβορίδια του Zr, Hf, Nb και Ta έχουν σημείο τήξεως πάνω από  $3000^\circ\text{C}$  ενώ το  $\text{TiB}_2$  (σ.τ. =  $2980^\circ\text{C}$ ) έχει αγωγιμότητα πέντε φορές μεγαλύτερη από αυτή του Ti.
- Τα βοράνια ή υδρίδια του βορίου, μια σειρά πτητικών ενώσεων με το υδρογόνο, με γενικό τύπο  $\text{B}_n\text{H}_{n+4}$  ή  $\text{B}_n\text{H}_{n+8}$ . Το διβοράνιο(6),  $\text{B}_2\text{H}_6$ , είναι το απλούστερο (σταθερό) και παρασκευάζεται με την παρακάτω αντίδραση:



Στην ένωση αυτή τα άτομα του βορίου και 4 από τα 6 άτομα υδρογόνου βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Τα υπόλοιπα δύο άτομα υδρογόνου καταλαμβάνουν θέσεις με μορφή γέφυρας μεταξύ των δύο ατόμων του βορίου και ο δεσμός τους καθορίζεται ως δεσμός τριών κέντρων με ένα ζεύγος ηλεκτρονίων. Οι δεσμοί του τύπου αυτού ονομάζονται και δεσμοί “ηλεκτρονιακού ελλείμματος”.

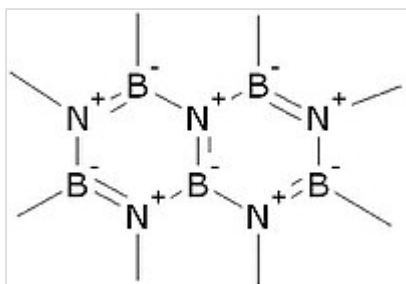


Το μόριο του διβορανίου στον χώρο



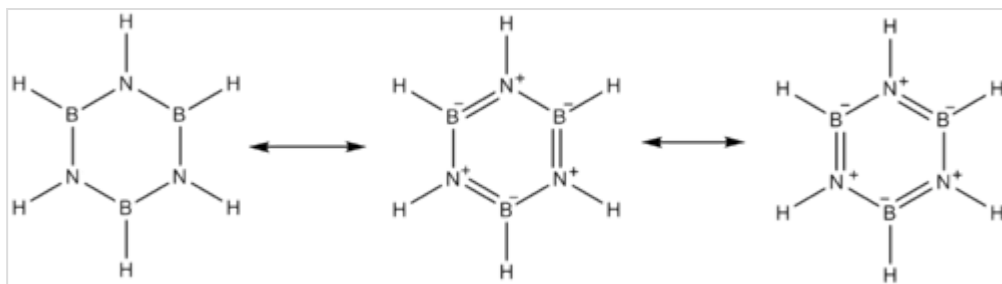
Μοντέλο με σφαίρες και μπάρες του τετραβορικού ανιόντος  $\{[B_4O_5(OH)_4]^{2-}\}$ , όπως υπάρχει στον κρυσταλλικό βόρακα  $\{Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O\}$ . Τα άτομα βορίου είναι ροζ, τα άτομα γεφυρών οξυγόνου είναι κόκκινα, και τα άτομα υδρογόνου των υδροξυλίων είναι λευκά. Σημειώστε ότι δυο άτομα βορίου είναι συνδεδεμένα τριγωνικά, με υβριδισμό  $sp^2$ , χωρίς τυπικό φορτίο, ενώ τα άλλα δύο άτομα βορίου είναι συνδεδεμένα τετραεδρικά, με υβριδισμό  $sp^3$ , με τυπικό φορτίο -1. Η βαθμίδα οξείδωσης όλων των ατόμων βορίου είναι +3. Αυτό το μείγμα των αριθμών συναρμογής των ατόμων βορίου και τα τυπικά φορτία είναι χαρακτηριστικά σε φυσικά ορυκτά του βορίου.

- Τα αλογονίδια του βορίου, από τα οποία τα τριαλογονίδια είναι τα πιο σταθερά, μπορούν να θεωρηθούν ως τα πρώτα μέλη της ομόλογης σειράς  $B_nX_{n+2}$ . Τα τριαλογονίδια είναι πτητικές και πολύ δραστικές ενώσεις, από τις οποίες τα  $BF_3$  και  $BCl_3$  είναι αέρια, το  $BBr_3$  είναι πτητικό υγρό και το  $BI_3$  είναι στερεό. Και οι 4 ενώσεις είναι επίπεδες με γωνίες  $120^\circ$  μεταξύ των δεσμών.
- Τα οξειδία του βορίου και άλλες ενώσεις του με το οξυγόνο, με το οποίο βρίσκεται συνήθως ενωμένο στη φύση. Σημαντικότερος εκπρόσωπος αυτής της ομάδας είναι το οξείδιο του βορίου,  $B_2O_3$ , το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή πυρίμαχων υάλινων αντικειμένων (Pyrex).
- Οι ενώσεις B–N οι οποίες έχουν ιδιαίτερη σημασία λόγω της ομοιότητάς τους με τις ενώσεις C–C. Τα τρία αυτά άτομα μοιάζουν τόσο από άποψη μεγέθους όσο και από άποψη ηλεκτραρνητικότητας με τον άνθρακα να βρίσκεται ανάμεσα στα άλλα δύο. Μία πολύ ενδιαφέρουσα ένωση είναι το νιτρίδιο του βορίου, BN, το οποίο σχηματίζεται σαν ένα λευκό κρυσταλλικό στερεό από την αντίδραση του αζώτου με το βόριο με θέρμανση. Είναι ένα μεγαλομόριο με δομή τύπου γραφίτη, όπου τα άτομα του βορίου και του αζώτου εναλλάσσονται στους δακτυλίους δίνοντας τη δομή:



Το Νιτρίδιο του βορίου

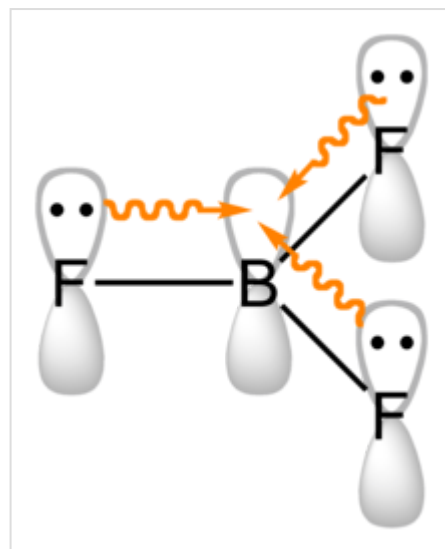
Ένα άλλο απλό δακτυλικό σύστημα του βορίου και του αζώτου είναι το βοραζόλιο,  $B_3N_3H_6$ , το ανόργανο βενζόλιο:



## Χημικές ενώσεις

Στις πιο συνηθισμένες του ενώσεις, το βόριο βρίσκεται στην τυπική βαθμίδα οξείδωσης +3. Οι ενώσεις αυτές συμπεριλαμβάνουν οξείδια, σουλφίδια, νιτρίδια και αλογονίδια<sup>[44]</sup>.

Τα μόρια στα τριαλογονίδια του βορίου υιοθετούν μια επίπεδη τριγωνική μοριακή δομή. Αυτές οι ενώσεις (δηλαδή τα τριαλογονίδια του βορίου) είναι οξέα κατά Λιούις και σχηματίζουν τάχιστα σύμπλοκα με δότες ηλεκτρονιακών ζευγών, που ονομάζονται βάσεις κατά Λιούις. Για παράδειγμα, το ανιόν φθορίου ( $F^-$ ) και το τριφθοριούχο βόριο ( $BF_3$ ) συνδυάζονται δίνοντας τετραφθοροβοριούχο ανιόν ( $[BF_4]^-$ ). Το τριφθοριούχο βόριο χρησιμοποιείται στην πετροχημική βιομηχανία ως καταλύτης. Τα τριαλογονίδια του βορίου αντιδρούν με το νερό (δηλαδή υδρολύονται), σχηματίζοντας βορικό οξύ ( $H_3BO_3$ )<sup>[44]</sup>.



Δομή τριφθοριούχου βορίου, που δείχνει τα άδεια 2p τροχιακά του βορίου να συμμετέχουν σε π ομοιοπολικούς δεσμούς συναρμογής.

Το βόριο βρίσκεται στη φύση της Γης μόνο με τη μορφή διαφόρων οξειδίων του  $B^{III}$ , συχνά συνδεδεμένο και με άλλα χημικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, υπάρχουν περισσότερα από 100 βορικά ορυκτά, που όλα τους περιέχουν το βόριο στην οξειδωτική βαθμίδα +3. Αυτά τα ορυκτά μοιάζουν, κατά κάποιον τρόπο, με τα πυριτικά ορυκτά, παρόλο που το βόριο δεν βρίσκεται μόνο σε τετραεδρικό συναρμογή με το οξυγόνο, αλλά επίσης και σε επίπεδη τριγωνική διαμόρφωση. Αντίθετα με τα πυριτικά, τα ορυκτά του βορίου ποτέ δεν περιέχουν βόριο με αριθμό συναρμογής μεγαλύτερο από 4. Ένα τυπικό μοτίβο αποτελούν, για παράδειγμα, τα τετραβορικά ανιόντα του κοινού ορυκτού βόρακα. Το τυπικό αρνητικό φορτίο των τετραεδρικών βορικών εξισορροπείται από μεταλλικά κατιόντα στα ορυκτά αυτά, όπως τα κατιόντα νατρίου ( $Na^+$ ) στον βόρακα<sup>[44]</sup>.

## Βοράνια

Τα βοράνια είναι (τυπικά) χημικές ενώσεις του βορίου και του υδρογόνου, με γενικό τύπο  $B_xH_y$ <sup>[45]</sup>. Αυτές οι ενώσεις δεν υπάρχουν στη φύση. Πολλά βοράνια οξειδώνονται τάχιστα αν έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, μερικά από αυτά, μάλιστα, οξειδώνονται βίαια. Το «μητρικό» βοράνιο ( $BH_3$ ) είναι γνωστό μόνο στην αέρια κατάσταση, γιατί διμερίζεται σχηματίζοντας διβοράνιο(6) ( $B_2H_6$ ). Τα μεγαλύτερα βοράνια αποτελούνται από πολυεδρικές υπομονάδες, κάποια από τα οποία υπάρχουν σε ισομερή. Για παράδειγμα, το εικοσιβοράνιο(26) ( $B_{20}H_{26}$ ) βασίζεται στη συμπύκνωση δύο 10ατομικές υπομονάδες.

Τα πιο σημαντικά βοράνια είναι το διβοράνιο(6) και δυο παράγωγα της πυρόλυσής του, το πενταβοράνιο(9) ( $B_5H_9$ ) και το δεκαβοράνιο(14) ( $B_{10}H_{14}$ ). Είναι γνωστός ένας μεγάλος αριθμός ανιονικών βοριοϋδριδίων, όπως για παράδειγμα το  $[B_{12}H_{12}]^{2-}$ .

Ο υπολογισμός των τυπικών αριθμών οξείδωσης στα βοράνια είναι θετικός για το βόριο και βασίζεται στην υπόθεση ότι ο αντίστοιχος για το υδρογόνο είναι -1, όπως συμβαίνει στα μεταλλικά υδρίδια. Ο μέσος αριθμός οξείδωσης των ατόμων βορίου αποτελεί απλά την αναλογία ατόμων υδρογόνου και βορίου στο μόριο του κάθε βοράνιου. Για παράδειγμα, στο διβοράνιο(6) ( $B_2H_6$ ) το βόριο έχει αριθμό οξείδωσης +3, αλλά στο δεκαβοράνιο(14) το βόριο έχει αριθμό οξείδωσης +1,4. Σε αυτές τις ενώσεις ο αριθμός οξείδωσης του βορίου είναι συχνά μη ακέραιος αριθμός.

## Ο βιολογικός ρόλος του βορίου

---

Ένα βοριούχο φυσικό αντιβιοτικό, η βορομυκίνη, απομονώθηκε από στρεπτομύκητα (streptomyces)<sup>[46][47]</sup>.

Το βόριο αποτελεί ιχνοστοιχείο για τα φυτά. Το χρησιμοποιούν κυρίως στη διατήρηση της ακεραιότητας των κυτταρικών τους τοιχωμάτων. Ωστόσο, οι υψηλές συγκεντρώσεις του (>1 ppm), έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξή τους. Σε ορισμένα, μάλιστα, βοριοευαίσθητα φυτά τα αρνητικά συμπτώματα αρχίζουν από τα 0,8 ppm βορίου, ενώ σε συγκεντρώσεις πάνω από 1,8 ppm αρχίζουν σαφώς τοξικές επιδράσεις. Ελάχιστα φυτά λειτουργούν καλά σε επίπεδα πάνω από 2 ppm, ενώ τα βοριοευαίσθητα σπανίως επιβιώνουν. Γενικά, όπως οι περισσότερες τοξίνες, το βόριο λειτουργεί αθροιστικά και ελάχιστα φυτά επιβιώνουν όταν η συγκέντρωση βορίου στους ιστούς τους υπερβεί τα 200 ppm.

Το βόριο λειτουργεί ως ιχνοστοιχείο και σε ορισμένα θηλαστικά, όντας απαραίτητο σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, κυρίως για την καλή κατάσταση στο τρίχωμά τους. Δεν έχει παρατηρηθεί ανάλογη επίδραση στους ανθρώπους. Γενικά, ο φυσιολογικός ρόλος του βορίου στα ζώα είναι, προς το παρόν, ελάχιστα κατανοητός<sup>[48]</sup>.

Το βόριο περιέχεται κυρίως σε φυτικής προέλευσης τροφές. Από το 1989 έγινε δεκτή η διατροφική του αξία. Πιστεύεται ότι έχει διάφορους βιοχημικούς ρόλους στα ζώα και στον άνθρωπο<sup>[49]</sup>. Στις ΗΠΑ το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης διεξήγαγε σχετικά πειράματα, κατά τα οποία χορήγησε 3 mg βορίου την ημέρα σε γυναίκες με εμμηνόπαυση. Τα πειράματα έδειξαν ότι το επιπλέον βόριο ελάττωσε την απώλεια οστικού ασβεστίου κατά 44% και ενεργοποίησε τα οιστρογόνα και τη βιταμίνη D. Πάντως, αυτά τα ευρήματα δεν θεωρήθηκαν επαρκώς τεκμηριωμένα.

Το Εθνικό Ίδρυμα Υγείας των ΗΠΑ ανακοίνωσε σχετική οδηγία: «Η προτεινόμενη ημερήσια πρόσληψη βορίου στην ανθρώπινη διαίτα είναι 2,1-4,3 mg βορίου ανά kg σωματικού βάρους»<sup>[50]</sup>.

## Χρήσεις

---

Το άμορφο βόριο χρησιμοποιείται στην κατασκευή υλικών για πυροτεχνήματα εξαιτίας της χαρακτηριστικής πράσινης-γαλάζιας φλόγας που δίνει. Επίσης, οι ίνες βορίου είναι μεγάλης αντοχής και μικρού σχετικά βάρους και χρησιμοποιούνται ως συστατικό σύνθετων ελαφρών δομικών υλικών με εφαρμογή στην αεροναυπηγική.



Οι σημαντικότερες όμως χρήσεις του αφορούν τις διάφορες ενώσεις του βορίου. Αυτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή: πυρίμαχων γυαλιών (Pyrex), γυάλινων ινών, απορρυπαντικών, σαπουνιών, καλλυντικών, συνθετικών φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων. Τέλος παλαιότερα παρασκευαζόταν από τον βόρακα το υπερβορικό νάτριο που χρησιμοποιούνταν ευρέως ως λευκαντικό στα απορρυπαντικά, ενώ το βορικό οξύ ως συντηρητικό τροφίμων και κυρίως στα ψάρια.

## Υαλουργία και κεραμική

Σχεδόν όλο το βόριο που παράγεται από τη Γη μετατρέπεται σε βορικό οξύ και βορικό νάτριο. Στις ΗΠΑ το 70% του βορίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή γυαλιού και κεραμικών. Το βοριοπυριτικό γυαλί (Pyrex) έχει μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής και γι' αυτό μεγάλη αντοχή στη θέρμανση.

## Καθαριστικά

Το υπερβορικό νάτριο λειτουργεί ως πηγή ενεργού οξυγόνου σε πολλά καθαριστικά προϊόντα, ακόμη και σε λευκαντικά δοντιών.

## Εμπορική σημασία του βορίου

Εκτιμάται ότι η παγκόσμια κατανάλωση βορίου έφτασε το επίπεδο των 1,8 MT  $B_2O_3$  το 2005, ακολουθώντας μια περίοδο έντονης αύξησης της ζήτησής του από την Ασία, την Ευρώπη και τη Νότια Αμερική. Το επίπεδο εξόρυξης και επεξεργασίας του θεωρούνταν επαρκές για να καλύψει την αναμενόμενη ζήτηση της επόμενης δεκαετίας. Η μορφή με την οποία το βόριο καταναλώνεται έχει αλλάξει τα τελευταία χρόνια. Η χρήση ορυκτών όπως ο καλαμίτης έχει φθίνουσα πορεία και το ενδιαφέρον γι' αυτόν στρέφεται ολοένα περισσότερο στο αν περιέχει αρσενικό. Οι καταναλωτές του βορίου έστρεψαν το ενδιαφέρον τους στη χρήση βοριούχων υλικών με πιο καθαρή περιεκτικότητα. Το μέσο κόστος παραγωγής του κρυσταλλικού βορίου είναι 5 \$/g<sup>[51]</sup>.

Η αυξανόμενη ζήτηση βορικού οξέος οδήγησε μεγάλο αριθμό παραγωγών να επενδύσουν σε επιπλέον παραγωγικότητα. Στην Τουρκία η παραγωγή αυξήθηκε κατά 100 kT ετησίως σε βορικό οξύ το 2003. Στις ΗΠΑ, αντίστοιχα, η παραγωγή αυξήθηκε από 260 kT ετησίως το 2003, στους 310 kT το 2005 και στους 366 kT το 2006.

Οι Κινέζοι παραγωγοί βορίου δεν είχαν προβλέψει την απότομη αύξηση στη ζήτηση υψηλής ποιότητας βορικών. Αυτό τους οδήγησε σε αυξανόμενες εισαγωγές τετραβορικού δινατρίου μεταξύ 2000 και 2005, καθώς και βορικού οξέος κατά περίπου 28% ετησίως κατά την ίδια περίοδο.

Η παγκόσμια αύξηση της ζήτησης σε βόριο οδήγησε μεταξύ άλλων στην ανάπτυξη της επεξεργασίας βοριοπυριτικών ενώσεων.

Η μέση αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης βορίου εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 3,4% το χρόνο, φθάνοντας τους 21 MT μέχρι το 2010. Η μεγαλύτερη αύξηση αναμένεται στην Ασία, περίπου 5,7% το χρόνο<sup>[52]</sup>.



Υάλινα αντικείμενα (δύο ποτήρια ζέσεως και ένας δοκιμαστικός σωλήνας) από βοριοπυριτικό γυαλί

## Ασφάλεια - Υγεία

---

Το χημικό στοιχείο βόριο είναι μη-τοξικό ενώ και οι πιο συνηθισμένες ενώσεις του έχουν χαμηλή τοξικότητα. Το ημερήσιο ανεκτό όριο πρόσληψης για το βόριο έχει οριστεί στα 0,4 mg/kg σωματικού βάρους ενώ υπολογίζεται ότι η μέση ημερήσια πρόσληψη βορίου κυμαίνεται από 1,5-1,9 mg την ημέρα, πολύ χαμηλότερα από το παραπάνω όριο. Η κύρια πηγή πρόσληψης είναι μέσω της διατροφής (1,2 mg την ημέρα) και ιδιαίτερα από τα φρούτα, λαχανικά, όσπρια και καρύδια. Αντίθετα, τα γαλακτοκομικά, τα ψάρια, το κρέας και τα δημητριακά περιέχουν πολύ λίγο βόριο.

Για τα φυτά, το βόριο είναι βασικό θρεπτικό συστατικό σε μικρές ποσότητες, με τη βέλτιστη ποσότητα να διαφέρει σε κάθε φυτό. Παίζει σημαντικό ρόλο στα κύτταρα των φυτών και συγκεκριμένα στην κυτταρική διαίρεση, στο μεταβολισμό και στην κυτταρική μεμβράνη. Συνήθως υπάρχει μια στενή περιοχή βέλτιστης συγκέντρωσης βορίου στα φυτά. Κάτω από αυτήν παρουσιάζονται συμπτώματα έλλειψης του στοιχείου αυτού και πάνω από αυτή γίνεται τοξικό.

Τέλος, το όριο συγκέντρωσης του βορίου στα νερά, πάνω από το οποίο γίνεται επικίνδυνο, έχει οριστεί στο 1 mg/l νερού με τα επίπεδα στο περιβάλλον να είναι γενικά κάτω από αυτό το όριο. Χαρακτηριστική μέση τιμή για την Ευρώπη είναι τα 0,6 mg/l.

## Παραπομπές και παρατηρήσεις

---

1. "Q & A: Where does the element Boron come from?". *physics.illinois.edu*. Retrieved 2011-12-04.
2. <https://www.statista.com/statistics/264981/major-countries-in-boron-production/>
3. Οι προσμίξεις στους ημιαγωγούς (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/Solids/dope.html#c4>)
4. The tartrolons, new boron-containing antibiotics from a myxobacterium, *Sorangium cellulosum*.". Retrieved 2013-01-24.
5. «Η φυσιολογία του βορίου στο φυτό» ([https://web.archive.org/web/20091207040500/http://biotech.aua.gr/EPEAEK/site\\_Biotech/gewp\\_biot/Phys\\_Elem/boron/AB\\_left.htm](https://web.archive.org/web/20091207040500/http://biotech.aua.gr/EPEAEK/site_Biotech/gewp_biot/Phys_Elem/boron/AB_left.htm)). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο ([http://biotech.aua.gr/EPEAEK/site\\_Biotech/gewp\\_biot/Phys\\_Elem/boron/AB\\_left.htm](http://biotech.aua.gr/EPEAEK/site_Biotech/gewp_biot/Phys_Elem/boron/AB_left.htm)) στις 7 Δεκεμβρίου 2009. Ανακτήθηκε στις 2 Φεβρουαρίου 2010.
6. «Etymology of Elements» (<https://web.archive.org/web/20090922221916/http://www.innvista.com/science/chemistry/elements/etymolo.htm>). innvista. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.innvista.com/science/chemistry/elements/etymolo.htm>) στις 22 Σεπτεμβρίου 2009. Ανακτήθηκε στις 6 Ιουνίου 2009.
7. "borax". *Oxford English Dictionary* (3rd ed.). Oxford University Press. September 2005.
8. Garrett, Donald E. (1998). *Borates: handbook of deposits, processing, properties, and use*. Academic Press. pp. 102; 385–386. ISBN 0-12-276060-3.
9. Calvert, J. B. "Boron". *University of Denver*. Retrieved 2009-05-05.
10. Hildebrand, G. H. (1982) "Borax Pioneer: Francis Marion Smith." San Diego: Howell-North Books. p. 267 ISBN 0-8310-7148-6

11. Davy H (1809). "An account of some new analytical researches on the nature of certain bodies, particularly the alkalies, phosphorus, sulphur, carbonaceous matter, and the acids hitherto undecomposed: with some general observations on chemical theory". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **99**: 33–104.
12. Gay Lussac, J.L. and Thenard, L.J. (1808). "Sur la décomposition et la recombinaison de l'acide boracique". *Annales de chimie* **68**: 169–174.
13. Weeks, Mary Elvira (1933). "XII. Other Elements Isolated with the Aid of Potassium and Sodium: Beryllium, Boron, Silicon and Aluminum". *The Discovery of the Elements*. Easton, PA: Journal of Chemical Education. p. 156. ISBN 0-7661-3872-0.
14. Berzelius produced boron by reducing a borofluoride salt; specifically, by heating potassium borofluoride with potassium metal. See: Berzelius, J. (1824) "Undersökning af flusspatssyran och dess märkvärdigaste föreningar" (Part 2) (Investigation of hydrofluoric acid and of its most noteworthy compounds), *Kongliga Vetenskaps-Academiens Handlingar* (Proceedings of the Royal Science Academy), vol. 12, pp. 46–98; see especially pp. 88ff. Reprinted in German as: Berzelius, J. J. (1824) "Untersuchungen über die Flußspathsäure und deren merkwürdigste Verbindungen", Poggendorff's *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 78, pages 113–150.
15. Weintraub, Ezekiel (1910). "Preparation and properties of pure boron". *Transactions of the American Electrochemical Society* **16**: 165–184.
16. Laubengayer, A. W.; Hurd, D. T.; Newkirk, A. E.; Hoard, J. L. (1943). "Boron. I. Preparation and Properties of Pure Crystalline Boron". *Journal of the American Chemical Society* **65** (10): 1924–1931. doi:10.1021/ja01250a036.
17. Borchert, W.; Dietz, W.; Koelker, H. (1970). "Crystal Growth of Beta–Rhombohedrical Boron". *Zeitschrift für Angewandte Physik* **29**: 277. OSTI 4098583.
18. Argust, Peter (1998). «Distribution of boron in the environment». *Biological Trace Element Research* **66** (1-3): 131–143. doi:10.1007/BF02783133 (<https://dx.doi.org/10.1007%2FBF02783133>).
19. Woods, William G. (1994). «An Introduction to Boron: History, Sources, Uses, and Chemistry» (<http://www.ehponline.org/realfiles/members/1994/Suppl-7/woods-full.html>). *Environmental Health Perspectives* **102**, Supplement 7. <http://www.ehponline.org/realfiles/members/1994/Suppl-7/woods-full.html>. Ανακτήθηκε στις 2008-09-20.
20. Kostick, Dennis S. (2006). «Mineral Yearbook: Boron» (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron/myb1-2006-boron.pdf>) (PDF). United States Geological Survey. Ανακτήθηκε στις 20 Σεπτεμβρίου 2008.
21. «Mineral Commodity Summaries: Boron» (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron/mcs-2008-boron.pdf>) (PDF). United States Geological Survey. 2008. Ανακτήθηκε στις 20 Σεπτεμβρίου 2008.
22. «Developments in the Economic Sector (of Turkey)» (<https://web.archive.org/web/20071219043858/http://www.byegm.gov.tr/YAYINLARIMIZ/kitaplar/turkiye2006/english/302-303.htm>). Turkish government. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.byegm.gov.tr/YAYINLARIMIZ/kitaplar/turkiye2006/english/302-303.htm>) στις 19 Δεκεμβρίου 2007. Ανακτήθηκε στις 21 Δεκεμβρίου 2007.
23. Kistler, R. B.; Helvacı, C. (1994). «Boron and Borates» (<https://web.archive.org/web/20160604063540/http://kisi.deu.edu.tr/cahit.helvaci/Boron.pdf>). *Industrial Minerals and Rocks* (Donald D. Carr editor) 6<sup>th</sup> Edition (Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.): 171–186. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://kisi.deu.edu.tr/cahit.helvaci/Boron.pdf>) στις 2016-06-04. <https://web.archive.org/web/20160604063540/http://kisi.deu.edu.tr/cahit.helvaci/Boron.pdf>. Ανακτήθηκε στις 2009-05-06.

24. G. Zbayolu, K. Poslu (1992). «Mining and Processing of Borates in Turkey». *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* **9** (1–4): 245–254. doi:10.1080/08827509208952709 (<https://dx.doi.org/10.1080%2F08827509208952709>).
25. Kar, Y.; et al. (2006). «Boron Minerals in Turkey, Their Application Areas and Importance for the Country's Economy». *Minerals & Energy - Raw Materials Report* **20** (3-4): 2–10. doi:10.1080/14041040500504293 (<https://dx.doi.org/10.1080%2F14041040500504293>).
26. Berger, L. I. (1996). *Semiconductor materials*. CRC Press. pp. 37–43. ISBN 0-8493-8912-7.
27. Barth, Rolf F. (2003). «A Critical Assessment of Boron Neutron Capture Therapy: An Overview». *Journal of Neuro-Oncology* **62** (1): 1–5. doi:10.1023/A:1023262817500 (<https://dx.doi.org/10.1023%2FA%3A1023262817500>).
28. Coderre1, Jeffrey A.; Morris, Gerard M. (1999). «The Radiation Biology of Boron Neutron Capture Therapy». *Radiation Research* **151** (1): 1–18. doi:10.2307/3579742 (<https://dx.doi.org/10.2307%2F3579742>).
29. Barth, Rolf F.; Soloway, Albert H.; Fairchild, Ralph G. (15 Feb 1990). «Boron Neutron Capture Therapy of Cancer» (<http://cancerres.aacrjournals.org/cgi/content/citation/50/4/1061>). *Cancer Research* **50** (4): 1061–1070. PMID 2404588 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2404588>). <http://cancerres.aacrjournals.org/cgi/content/citation/50/4/1061>.
30. «Commissioning of Boron Enrichment Plant» (<https://web.archive.org/web/20081208114410/http://library.igcar.gov.in/html/Contents/IGCNewsletter/nl48/A2.htm>). Indira Gandhi Centre for Atomic Research. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://library.igcar.gov.in/html/Contents/IGCNewsletter/nl48/A2.htm>) στις 8 Δεκεμβρίου 2008. Ανακτήθηκε στις 21 Σεπτεμβρίου 2008.
31. Nevins, W. M. (1998). «A Review of Confinement Requirements for Advanced Fuels». *Journal of Fusion Energy* **17** (1): 25–32. doi:10.1023/A:1022513215080 (<https://dx.doi.org/10.1023%2FA%3A1022513215080>).
32. Oganov A.R., Chen J., Gatti C., Ma Y.-M., Yu T., Liu Z., Glass C.W., Ma Y.-Z., Kurakevych O.O., Solozhenko V.L. (2009). «Ionic high-pressure form of elemental boron» (<http://mysbfiles.stonybrook.edu/~aoganov/files/Boron-Nature-2009.pdf>). *Nature* **457**: 863–867 (free download). doi:10.1038/nature07736 (<https://dx.doi.org/10.1038%2Fnature07736>). <http://mysbfiles.stonybrook.edu/~aoganov/files/Boron-Nature-2009.pdf>.
33. «Compound Descriptions: B<sub>2</sub>F<sub>4</sub>» (<https://web.archive.org/web/20211029152101/https://lb.chemie.uni-hamburg.de/search/index.php?content=166/dGp23678>). Landol Börnstein Substance/Property Index. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://lb.chemie.uni-hamburg.de/search/index.php?content=166/dGp23678>) στις 29 Οκτωβρίου 2021. Ανακτήθηκε στις 10 Δεκεμβρίου 2007.
34. Delaplane, R.G.; Dahlborg, U; Graneli, B; Fischer, P; Lundstrom, T (1988). "A neutron diffraction study of amorphous boron". *Journal of Non-Crystalline Solids* **104** (2–3): 249. Bibcode:1988JNCS..104..249D. doi:10.1016/0022-3093(88)90395-X.
35. R.G. Delaplane; Dahlborg, U; Howells, W; Lundstrom, T (1988). "A neutron diffraction study of amorphous boron using a pulsed source". *Journal of Non-Crystalline Solids* **106**: 66. Bibcode:1988JNCS..106...66D. doi:10.1016/0022-3093(88)90229-3.
36. Oganov, A.R.; Chen J.; Gatti C.; Ma Y.-M.; Yu T.; Liu Z.; Glass C.W.; Ma Y.-Z.; Kurakevych O.O.; Solozhenko V.L. (2009). "Ionic high-pressure form of elemental boron". *Nature* **457** (7231): 863–867. arXiv:0911.3192. Bibcode:2009Natur.457..863O. doi:10.1038/nature07736. PMID 19182772.
37. van Setten M.J.; Uijtewaald M.A.; de Wijs G.A.; de Groot R.A. (2007). "Thermodynamic stability of boron: The role of defects and zero point motion". *J. Am. Chem. Soc.* **129** (9): 2458–2465. doi:10.1021/ja0631246. PMID 17295480.



38. Widom M.; Mihalkovic M. (2008). "Symmetry-broken crystal structure of elemental boron at low temperature". *Phys. Rev. B* **77** (6): 064113. arXiv:0712.0530. Bibcode:2008PhRvB..77f4113W. doi:10.1103/PhysRevB.77.064113.
39. Eremets, M. I.; Struzhkin, VV; Mao, H; Hemley, RJ (2001). "Superconductivity in Boron". *Science* **293** (5528): 272–4. Bibcode:2001Sci...293..272E. doi:10.1126/science.1062286. PMID 11452118.
40. J. L. Hoard, D. B. Sullenger, C. H. L. Kennard, R. E. Hughes (1970). «The structure analysis of  $\beta$ -rhombohedral boron». *J. Solid State Chem.* **1**: 268-277. doi:10.1016/0022-4596(70)90022-8 (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0022-4596%2870%2990022-8>).
41. Solozhenko, V. L.; Kurakevych O. O.; Oganov A. R. (2008). «On the hardness of a new boron phase, orthorhombic  $\gamma$ -B<sub>28</sub>». *Journal of Superhard Materials* **30**: 428–429. doi:10.3103/S1063457608060117 (<https://dx.doi.org/10.3103%2FS1063457608060117>).
42. R. J. Nelmes et al. (1993). «Neutron- and x-ray-diffraction measurements of the bulk modulus of boron». *Phys. Rev. B* **47**: 7668. doi:10.1103/PhysRevB.47.7668 (<https://dx.doi.org/10.1103%2FPhysRevB.47.7668>).
43. ed. O. Madelung (1983). *Landolt-Bornstein, New Series*. **17e**. Springer-Verlag, Berlin.
44. Holleman, Arnold F.; Wiberg, Egon; Wiberg, Nils (1985). "Bor". *Lehrbuch der Anorganischen Chemie* (in German) (91–100 ed.). Walter de Gruyter. pp. 814–864. ISBN 3-11-007511-3.
45. Σημείωση: Ο τύπος ισχύει για τα μη υποκατεστημένα βοράνια. Ο γενικότερος τύπος είναι B<sub>x</sub>R<sub>y</sub>, όπου τα όχι υποχρεωτικά ίδια R μπορεί να είναι υδρογόνο, αλογόνα και διάφορες ανόργανες ή και οργανικές μονοσθενείς ρίζες. Ένας αριθμός R μπορεί να εκπροσωπούν δισθενείς ή τρισθενείς ομάδες, καθώς υπάρχουν και (ετερο)κυκλικά βοράνια. Οι παρακάτω αναφορές ισχύουν για τα μη υποκατεστημένα βοράνια.
46. R. Hütter, W. Keller-Schien, F. Knüsel, V. Prelog, G. C. Rodgers jr., P. Suter, G. Vogel, W. Voser, H. Zähler (1967). «Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen. 57. Mitteilung. Boromycin». *Helvetica Chimica Acta* **50**: 1533–1539. doi:10.1002/hlca.19670500612 (<https://dx.doi.org/10.1002%2Fhlca.19670500612>).
47. J. D. Dunitz, D. M. Hawley, D. Miklo, D. N. J. White, Yu. Berlin, R. Marui, V. Prelog (1971). «Structure of boromycin». *Helvetica Chimica Acta* **54**: 1709–1713. doi:10.1002/hlca.19710540624 (<https://dx.doi.org/10.1002%2Fhlca.19710540624>).
48. Nielsen, Forrest H. (1998). «Ultratrace elements in nutrition: Current knowledge and speculation». *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* **11** (2–3): 251–274. doi:10.1002/(SICI)1520-670X(1998)11:2/3<251::AID-JTRA15>3.0.CO;2-Q (<https://dx.doi.org/10.1002%2F%28SICI%291520-670X%281998%2911%3A2%2F3%3C251%3A%3AAID-JTRA15%3E3.0.CO%3B2-Q>).
49. «Boron» ([http://www.pdrhealth.com/drug\\_info/nmdrugprofiles/nutsupdrugs/bor\\_0040.shtml](http://www.pdrhealth.com/drug_info/nmdrugprofiles/nutsupdrugs/bor_0040.shtml)). PDRhealth. Ανακτήθηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 2008.
50. Zook EG and Lehman J. (1965). «Total boron». *J. Assoc. Off Agric. Chem* **48**: 850.
51. «Boron Properties» ([https://web.archive.org/web/20180926224305/http://www.rareearth.org/boron\\_properties.htm](https://web.archive.org/web/20180926224305/http://www.rareearth.org/boron_properties.htm)). Rare-Earth Magnets. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο ([http://www.rareearth.org/boron\\_properties.htm](http://www.rareearth.org/boron_properties.htm)) στις 26 Σεπτεμβρίου 2018. Ανακτήθηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 2008. Source: Los Alamos National Laboratory
52. «Roskill reports: boron» (<https://web.archive.org/web/20031004160834/http://www.roskill.com/reports/boron>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.roskill.com/reports/boron>) στις 4 Οκτωβρίου 2003. Ανακτήθηκε στις 13 Μαΐου 2009.



## Πηγές

---

- Greenwood N.N. and Earnshaw A., "Chemistry of the elements", 2nd ed., Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1997.
- Sargent-Welch Scientific Company.
- Πληροφορίες για βόριο από τη μη-κερδοσκοπική οργάνωση GreenFacts. (<http://www.greenfacts.org/en/boron/boron-1.htm#1>)
- Ιστοσελίδα με πληροφορίες για το βόριο. (<http://mysite.du.edu/~jcalvert/phys/boron.htm>)
- Χημικές ιδιότητες και επιπτώσεις στην υγεία από την LennTech. (<https://web.archive.org/web/20080111214635/http://www.lenntech.com/Periodic-chart-elements/b-en.htm>)
- Χημικές και Φυσικές ιδιότητες του βορίου. (<https://web.archive.org/web/20140630215830/http://www.chemicool.com/elements/boron.html>)
- Ιδιότητες και άλλα χαρακτηριστικά του βορίου. (<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/B.html>)
- [<https://web.archive.org/web/20080115063652/http://www.geo.auth.gr/106/index.htm> Αρχειοθετήθηκε (<http://www.geo.auth.gr/106/index.htm>) 2008-01-15 στο [Wayback Machine](#). Πληροφορίες σχετικά με τα ορυκτά γενικά και τα βορικά συγκεκριμένα.]

## Εξωτερικοί σύνδεσμοι

---

-  Πολυμέσα σχετικά με το θέμα [Boron](#) στο Wikimedia Commons
-  Λεξιλογικός ορισμός του [βόριο](#) στο Βικιλεξικό

---

Ανακτήθηκε από "<https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=Βόριο&oldid=10960509>"