

Στοιχεία συμμετρίας

Ως συμμετρία εννοείται η κανονική επανάληψη ενός προτύπου μέσα στη τρισδιάστατη δομή ενός αντικειμένου και αποτελεί ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό αυτού του αντικειμένου. Εάν το εν λόγω αντικείμενο είναι η φυσική αναπαράσταση στον τρισδιάστατο χώρο ενός μορίου, τότε έχουμε να κάνουμε με την συμμετρία του συγκεκριμένου μορίου.

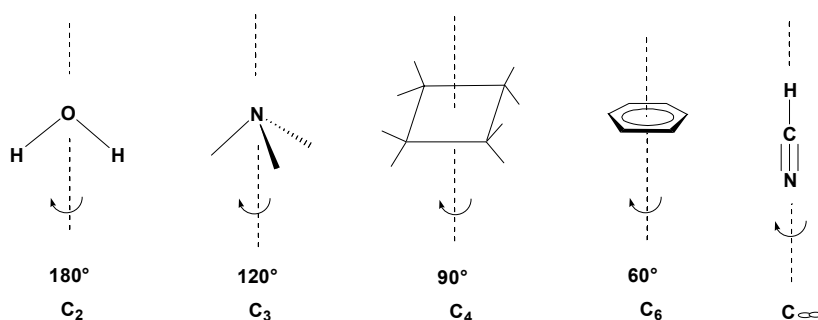
Τα χαρακτηριστικά συμμετρίας των γεωμετρικών μορφών έχουν μελετηθεί και συγκροτηθεί σε συγκεκριμένο μαθηματικό εργαλείο που είναι απαραίτητο σε αρκετούς τομείς της επιστήμης, κρυσταλλογραφία, φασματοσκοπία, κβαντομηχανική κ.λ.π. Για την κατανόηση και επεξεργασία των εννοιών της στερεοχημείας και τη διερεύνηση των δομών των μορίων είναι επίσης απαραίτητη η στοιχειώδης εξοικείωση με τις βασικές αρχές της θεωρίας και τις εφαρμογές τους.

Οι σχέσεις συμμετρίας ενός μορίου εξετάζονται στο τρισδιάστατο μοντέλο του, είτε στο προοπτικό σχέδιο του στο χαρτί. Στερεοχημικοί τύποι με πλήρεις και σικτούς δεσμούς δείχνουν παραστατικά τη θέση του κάθε δεσμού στο σύστημα παρατηρητής- επίπεδο σχεδίασης (χαρτί) και διευκολύνουν την αναζήτηση των στοιχείων συμμετρίας. Οι προβολικές απεικονίσεις μορίων (Fischer, Newman, Haworth, Massamune, Mills) είναι πιο δύσχρηστες καθώς το σχέδιο (που είναι αναγκαστικά δισδιάστατο) “περιέχει” την τρίτη διάσταση υπό τη μορφή “κανόνος προβολής”. Στη προβολή Fischer π.χ. το τετράεδρο τοποθετείται για προβολή με τους οριζόντιους υποκαταστάτες να κατευθύνονται προς τον παρατηρητή. Χωρίς αυτή τη πρόσθετη πληροφορία είναι αδύνατη η διαφορική απεικόνιση δυο εναντιομερών μορφών. Οι σχέσεις συμμετρίας λοιπόν ιδανικά εξετάζονται σε άκαμπτα τρισδιάστατα μοντέλα των μορίων.

Είναι γνωστό όμως ότι τα μόρια συνήθως έχουν τη δυνατότητα να υιοθετούν διάφορες διατάξεις στο χώρο των συστατικών τους ατόμων που όλες έχουν τους ίδιους δεσμούς και γωνίες δεσμών (περίπου) αλλά διαφέρουν στις δίεδρες γωνίες μεταξύ διαφόρων δεσμών (διαμορφώσεις) και αλληλομετατρέπονται με περιστροφή των μερών περί τους απλούς δεσμούς που τα συνδέουν. Έτσι λοιπόν οι σχέσεις συμμετρίας αναφέρονται αναγκαστικά σε μια συγκεκριμένη διαμόρφωση του μορίου (συγκεκριμένη γεωμετρία). Άλλες διαμορφώσεις του ίδιου μορίου είναι δυνατόν να έχουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά συμμετρίας. Αρκετά συχνά αποδίδονται χαρακτηριστικά συμμετρίας σε μοριακές δομές που δεν είναι πραγματικές απεικονίσεις αλλά συμβολικές. Π.χ. το κυκλοβουτάνιο μπορεί να γράφεται ως επίπεδος τετραμελής δακτύλιος με υψηλή τετραγωνική συμμετρία D_{4h} , στην πραγματικότητα όμως το μόριο είναι πτυχωτό (1 άνθρακας εκτός επιπέδου) και πρέπει να του αποδοθεί συμμετρία C_{2v} . Η επίπεδη δομή όμως είναι αποδεκτή γιατί αποτελεί ακριβώς τον “μέσο όρο” των δυο πτυχωτών δομών που αλληλομετατρέπονται ταχύτατα.

Στοιχεία συμμετρίας είναι οι γεωμετρικές πράξεις (ή γεωμετρικοί μετασχηματισμοί) οι οποίες παράγουν την επανάληψη του προτύπου συμμετρίας και είναι η στροφή περί άξονα, η ανάκλαση ως προς επίπεδο και η συνδυασμένη ανάκλαση και περιστροφή περί άξονα κάθετο στο επίπεδο της ανάκλασης.

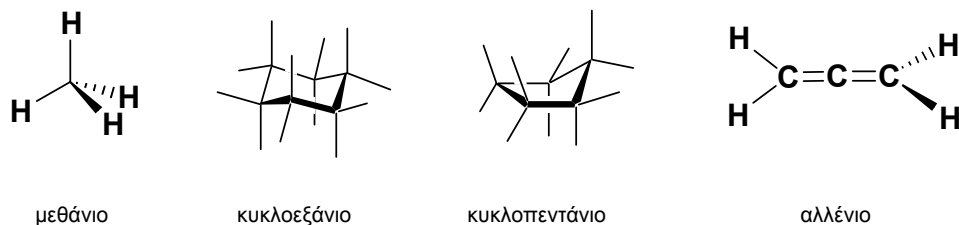
Ο απλός άξονας συμμετρίας (C_n), είναι ο άξονας περί τον οποίο περιστρεφόμενο το αντικείμενο (ή μοριακό μοντέλο) κατά $1/n$ κλάσμα της πλήρους στροφής έρχεται σε νέα θέση η οποία όμως ταυτίζεται απόλυτα με την αρχική (σύμπτωση όλων των ομόλογων σημείων).



Σχήμα 1. Άξονες συμμετρίας C_n

Τέτοιοι άξονες C_n λέγονται και καθαροί ή πραγματικοί άξονες επειδή η λειτουργία τους φέρνει σε σύμπτωση πραγματικά υλικά σημεία, δηλαδή είναι μια πράξη πραγματοποιήσιμη, με φυσικό αντίκρισμα.

Το επίπεδο συμμετρίας (σ) είναι ένα επίπεδο ανάκλασης η οποία φέρει σε σύμπτωση κάθε σημείο του αντικειμένου (κάθε άτομο) με αντίστοιχο σημείο που βρίσκεται σε άλλο μέρος του αντικειμένου (ή μορίου). Το επίπεδο συμμετρίας δηλαδή είναι μεσοκάθετο των ευθύγραμμων τμημάτων που ενώνουν τα αντίστοιχα σημεία του αντικειμένου.



Σχήμα 2. Το επίπεδο του χαρτιού είναι ένα επίπεδο συμμετρίας για τα εικονιζόμενα μόρια.

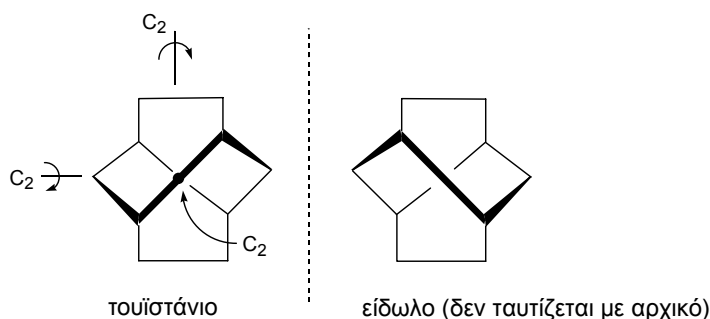
Η πράξη της ανάκλασης ως προς επίπεδο είναι μια ιδεατή ή εικονική πράξη καθώς φέρει σε σύμπτωση, όχι υλικά σημεία, αλλά ένα υλικό σημείο με το είδωλο ενός άλλου και είναι μια πράξη μη πραγματοποιήσιμη, (χωρίς φυσικό αντίκρισμα).

προαναφέρθηκαν είναι αναγκαίες και επιτρεπτές οι παράλληλες μεταφορές και οι περιστροφές.

Όστε τα δύο είδη αξόνων απλοί, (C_n) και εναλλασσόμενοι (S_n), επαρκούν για την περιγραφή της συμμετρίας ενός αντικειμένου. Οι εναλλασσόμενοι άξονες είναι και αυτοί μη “πραγματικοί” άξονες αφού εμπεριέχουν τη μη πραγματική (νοερή) λειτουργία της ανάκλασης, όπως ήδη αναφέρθηκε.

Χειρικότητα και στοιχεία συμμετρίας.

Η ύπαρξη αξόνων C_n δεν είναι ασύμβατη με την χειρικότητα. Χειρικές δομές μπορούν κάλλιστα να διαθέτουν άξονες C_n και μάλιστα περισσότερους από ένα, δε θα διαθέτουν όμως κατοπτρική συμμετρία κανενός είδους (κανένας άξονας S). Έτσι είναι λάθος οι χειρικές δομές να χαρακτηρίζονται ασύμμετρες, όρος που σημαίνει παντελής έλλειψη στοιχείων συμμετρίας, ενώ επιτρέπεται (και συμβαίνει πολύ συχνά) να διαθέτουν άξονες, συνήθως δεύτερης τάξης (C_2). Σχήμα 4.



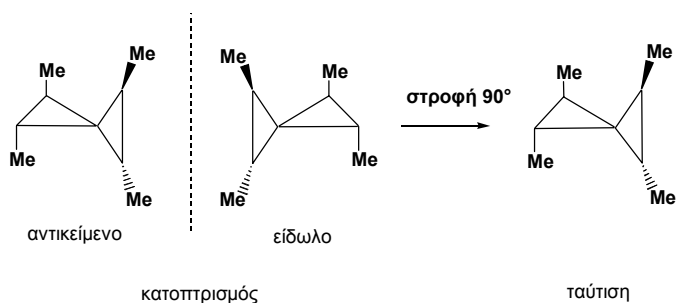
Σχήμα 4. Τα δύο εναντιομερή του τουίστανίου και οι άξονες συμμετρίας των.

Ο χειρικός υδρογονάνθρακας τουίστανιο (σχήμα 4) διαθέτει τρεις ορθογωνικούς C_2 άξονες, δηλαδή διαθέτει συμμετρία και μάλιστα αρκετά υψηλού βαθμού είναι όμως χειρικό μόριο.

Αποδεικνύεται στη θεωρία της συμμετρίας ότι ένα μόριο που κατέχει εναλλασσόμενο άξονα συμμετρίας S_n συμπίπτει αναγκαστικά με το κατοπτρικό είδωλό του. (Για $S_n=S_1=\sigma$, δηλαδή για μόριο που έχει επίπεδο συμμετρίας, είναι αυταπόδεικτο ότι θα ταυτίζεται με το είδωλό του).

Επειδή ένα μόριο μπορεί να έχει άξονα S_n μεγαλύτερης τάξης από 2 ($n>2$) αλλά να μη διαθέτει S_1 (επίπεδο συμμετρίας) ή S_2 (κέντρο συμμετρίας) έπεται πως η απουσία επιπέδου ή κέντρου συμμετρίας δεν εξασφαλίζει τη χειρικότητα του μορίου π.χ. ήδη αναφέρθηκε ότι η αντί διαμόρφωση του μεσο τρυγικού κατέχει άξονα S_2 (κέντρο συμμετρίας) και είναι δομή αχειρική (το μόριο ταυτίζεται με το κατοπτρικό του είδωλο όπως φαίνεται από την πλήρη επικάλυψή τους) ενώ καταφανώς στερείται επιπέδου συμμετρίας.

Το τετραμεθυλο-σπειροπεντάνιο του σχήματος 5 δε διαθέτει επίπεδο συμμετρίας αλλά ούτε και κέντρο συμμετρίας. Η δοκιμασία κατοπτρισμός/επικάλυψη όμως δείχνει ταύτιση ειδώλου/αντικειμένου δηλαδή αχειρικότητα.

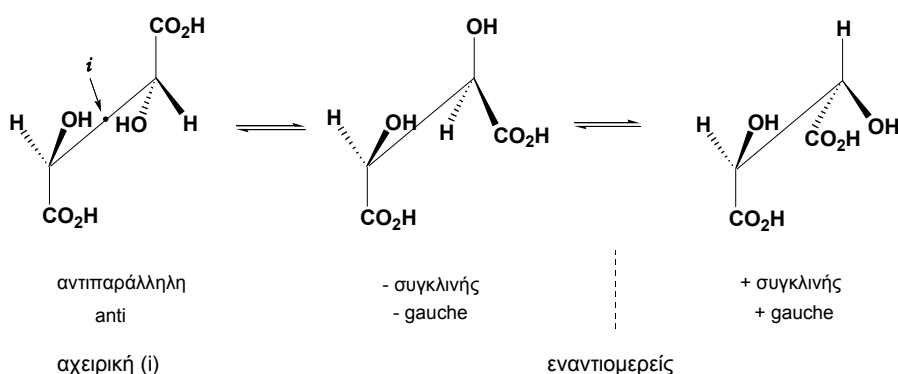


Σχήμα 5. Μια χειρική δομή χωρίς επίπεδο συμμετρίας.

(Η ταύτιση γίνεται εμφανής μετά από στροφή του ειδώλου 90°). Στο ίδιο συμπέρασμα θα κατέληγε κάποιος εάν είχε αναγνωρίσει τον εναλλασσόμενο άξονα τέταρτης τάξης, S_4 , τον οποίο διαθέτει η εικονιζόμενη δομή και ο οποίος διέρχεται από το σπειρο άνθρακα και τα μέσα των απέναντι πλευρών των δακτυλίων. Ο άξονας S_4 συμπίπτει και με ένα καθαρό άξονα C_2 που διαθέτει το μόριο, (περιστροφή κατά 180° αφήνει τη δομή ανέπαφη).

Επειδή η μη ταύτιση αντικειμένου —ειδώλου είναι ο ορισμός της χειρικότητας ενός αντικειμένου έπεται πως η παρουσία άξονα S_n σε ένα μόριο είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη για την απουσία χειρικότητας.

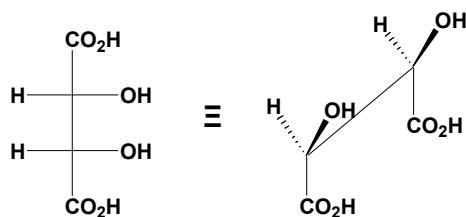
Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι ένα χειρικό μόριο όπως π.χ. το μεσοτρυγικό που αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορεί να ευρίσκεται και σε χειρικές διαμορφώσεις, αλλά για κάθε χειρικό διαμορφομερές αναγκαστικά υπάρχει και ένα άλλο επίσης χειρικό διαμορφομερές που είναι όμως εναντιομερές προς το πρώτο ώστε συνολικά η ουσία (ως σύνολο διαμορφομερών) να είναι αθροιστικά οπτικά ανενεργή, όπως πρέπει να είναι μια μεσομορφή.



Σχήμα 6. Οι τρεις διαβαθμισμένες διαμορφώσεις του μεσοτρυγικού οξέος.

Αντιθέτως ένα χειρικό μόριο θα έχει χειρικές όλες τις διαμορφώσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται π.χ. το (+)-τρυγικό εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί ότι έχει τρία χειρικά διαμορφομερή.

Αντίστροφα, εάν είναι δυνατόν να σχεδιαστεί μια τουλάχιστον αχειρική διαμόρφωση για ένα μόριο τότε το μόριο είναι αχειρικό. Π.χ. η καλυπτική διαμόρφωση του μεσοστρυγικού όπως αυτή απεικονίζεται στην προβολή Fischer χρησιμοποιείται συχνά για να δείξει την ύπαρξη κατοπτρικής συμμετρίας στο μόριο και συνεπώς την αχειρικότητά του.



Είναι αυτονόητο ότι τα παραπάνω ισχύουν μόνο όταν η αλληλομετατροπή/ εξισορρόπηση των διαμορφομερών είναι ταχύτατη στις συνθήκες παρατήρησης. Εάν τα διαμορφομερή είναι σταθερά (αργή αλληλομετατροπή στη θερμοκρασία παρατήρησης) τότε εμφανίζεται η ατροποϊσομέρεια και το κάθε διαμορφομερές είναι ένα συνηθισμένο διαστερεοϊσομερές το οποίο μπορεί να απομονωθεί (διαμορφωτικά ισομερή ή ισομερή εκ διαμορφώσεως) και να μελετηθεί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ατροποϊσομέρειας είναι αυτό των διαφόρων διφαινυλικών παραγώγων με ογκώδεις υποκαταστάτες στις ορθο-θέσεις. (Σχήμα 7)

Ομάδες σημείου

Η θεωρία της συμμετρίας έχει συστηματοποιήσει τους διάφορους επιτρεπούς συνδυασμούς στοιχείων συμμετρίας (άξονες, επίπεδα, εναλλασσόμενους άξονες) σε μερικές κατηγορίες (ομάδες σημείου) στις οποίες κατατάσσονται οι διάφορες δομές που διαθέτουν τέτοια στοιχεία συμμετρίας. Οι συνηθέστερες ομάδες σημείου, κατά αύξοντα βαθμό συμμετρίας παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

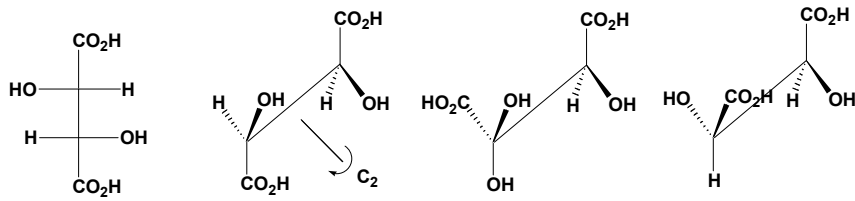
Χειρικές ομάδες (C_n, D_n)

Ομάδα C_1

Είναι η ομάδα με το χαμηλότερο βαθμό συμμετρίας (παντελής έλλειψη στοιχείων συμμετρίας) και σ' αυτή κατατάσσονται π.χ. μόρια του τύπου $Cabcd$, (δηλαδή μόρια που περιέχουν τετραεδρικά άτομα, με τέσσερις διαφορετικούς υποκαταστάτες) δηλαδή αληθινά ασύμμετρα μόρια, με μοναδικό στοιχείο συμμετρίας τον αυτονόητο άξονα C_1 (ταυτότητα).

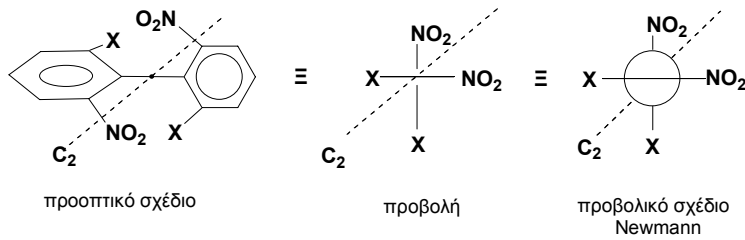
Ομάδες C_n

Οι ομάδες αυτές χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη αξόνων C_n , ως μοναδικών στοιχείων συμμετρίας. Οι ομάδες C_n περιέχουν μόνο χειρικά μόρια (ακριβέστερα χειρικές δομές). Αρκετά από τα απλά χειρικά μόρια ανήκουν στην υποομάδα C_2 (άξονες δευτέρας τάξης) ενώ οι ομάδες C_n ($n > 2$) απαντώνται πολύ σπάνια.



(-)-(S,S)-τρυγικό οξύ

Τα τρία χειρικά διαμορφομερή του αριστερόστροφου τρυγικού, συμμετρίας C_2

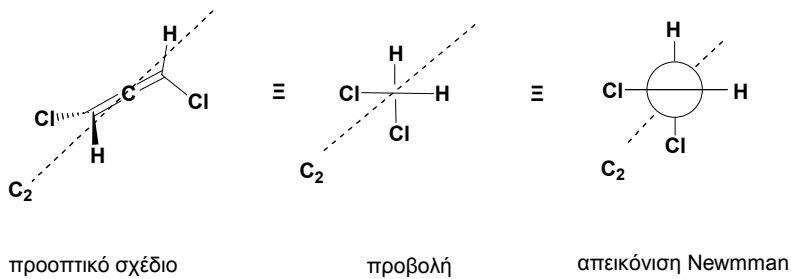


προοπτικό σχέδιο

προβολή

προβολικό σχέδιο
Newmann

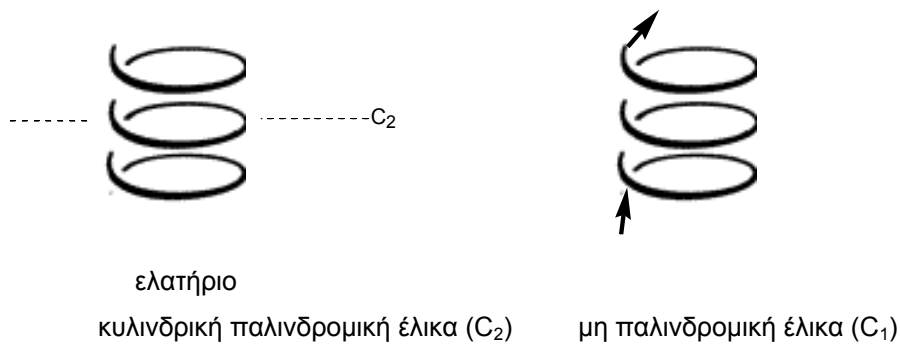
Διφαινυλική ατροπιόισομερής δομή (χειρική)



προοπτικό σχέδιο

προβολή

απεικόνιση Newmman



ελατήριο

κυλινδρική παλινδρομική έλικα (C_2)

μη παλινδρομική έλικα (C_1)

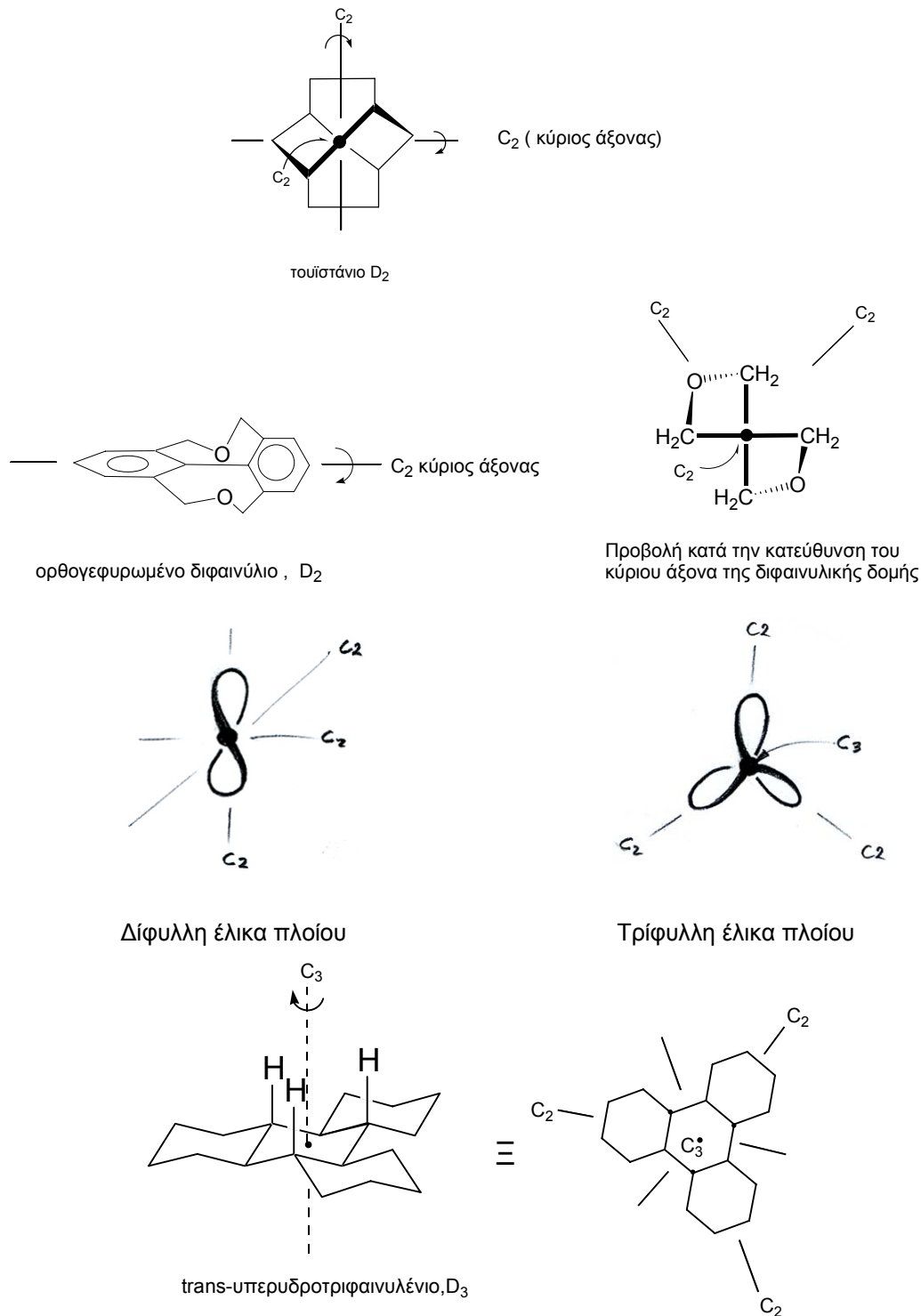
Σχήμα 7. Χειρικές δομές με συμμετρία C_2

Ας σημειωθεί ότι οι ελικοειδείς αλυσίδες των βιολογικών μακρομορίων διαθέτουν κατεύθυνση στην αλυσίδα τους (π.χ. πρωτεϊνικές α -έλικες, \rightarrow NHCO \rightarrow και \leftarrow NHCO \leftarrow), και συνεπώς συνιστούν μη παλινδρομικές έλικες, συμμετρίας C_1 .

Ομάδες D_n (διεδρική συμμετρία)

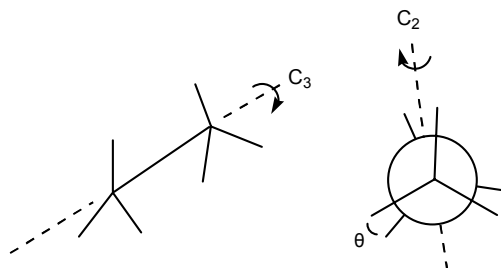
Οι δομές που κατατάσσονται στη διεδρική συμμετρία χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενός άξονα n τάξης, C_n , που ονομάζεται και κύριος άξονας και nC_2 άξονες καθέτους στον C_2 .

Και εδώ η πολυπληθέστερη υποομάδα είναι η D_2 , δηλαδή δομές με τρεις ορθογωνικούς C_2 άξονες, εκ των οποίων επιλέγεται ως κύριος άξονας αυτός που διέρχεται από τα περισσότερα άτομα. Η ύπαρξη τριών τουλάχιστον αξόνων, δηλώνει υψηλό βαθμό συμμετρίας, ιδίως όταν ο κύριος άξονας είναι τάξης μεγαλύτερης από 2 (π.χ. υποομάδα D_3 με κύριο άξονα C_3 και τρεις άξονες C_2). Εν τούτοις τα μόρια της ομάδας D_n είναι χειρικά.



Σχήμα 8. Χειρικές δομές με διεδρική συμμετρία D_n .

Μια δίφυλλη έλικα πλοίου είναι ένα απλό χειρικό αντικείμενο με συμμετρία D_2 . Μια τρίφυλλη έλικα είναι επίσης χειρική και έχει συμμετρία D_3 . Ο τριπλός άξονας C_3 είναι ο άξονας περιστροφής της έλικας και οι τρεις C_2 είναι κάθετοι σ' αυτόν και διέρχονται από τα άκρα των πτερύγων.



Στρεβλή διαμόρφωση αιθανίου $0^\circ < \theta < 60^\circ$, D_3

Μια στρεβλή διαμόρφωση του αιθανίου (υπάρχουν άπειρες μεταξύ της καλυπτικής $\theta=0^\circ$ και της διαβαθμισμένης $\theta=60^\circ$) είναι χειρική συμμετρίας D_3 . Ο C_3 συμπίπτει με το δεσμό C_2-C_3 και οι τρεις C_2 είναι κάθετοι στο μέσο του δεσμού C_2-C_3 και διχοτομούν τις διέδρους γωνίες των ατόμων υδρογόνου.

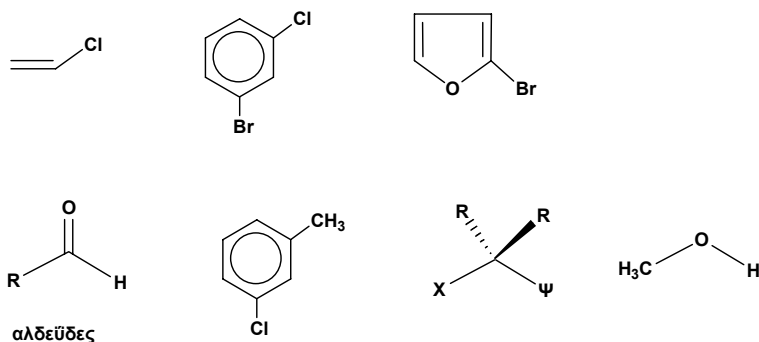
Συμπερασματικά λοιπόν οι ομάδες C_n και D_n περιέχουν διαμορφώσεις (δομές) χειρικές που έχουν αποκλειστικά αξονική συμμετρία, και ονομάζονται δυσσυμετρικές. Ασύμμετρες ονομάζονται μόνο διαμορφώσεις της ομάδας C_1 (πλήρης έλλειψη στοιχείων αξονικής και ασφαλώς και κατοπτρικής συμμετρίας).

Ομάδες σημείου με κατοπτρική συμμετρία

Οι ομάδες αυτές περιέχουν μόνο αχειρικές δομές και οι συνηθέστερες εξ' αυτών θα περιγραφούν εν συντομία κατά σειρά αυξανόμενου αριθμού στοιχείων συμμετρίας.

Ομάδα C_s

Μοναδικό στοιχείο είναι το επίπεδο συμμετρίας.



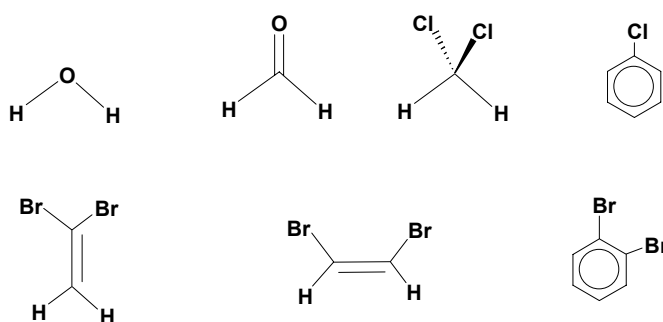
Μόρια με C_s συμμετρία.

Ας σημειωθεί ότι τα τελευταία παραδείγματα μορίων με υποκαταστάτες R, CH₃, X, Ψ ανήκουν στην ομάδα αυτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι υποκαταστάτες αυτοί έχουν επίπεδο συμμετρίας είτε από τη φύση τους π.χ. R= Cl (σφαιρικό άτομο Cl) είτε λόγω γρήγορης περιστροφής, (στη κλίμακα χρόνου της παρατήρησης), οπότε απλουστευτικά θεωρούνται ότι έχουν άξονα C_∞ και άρα και επίπεδο.

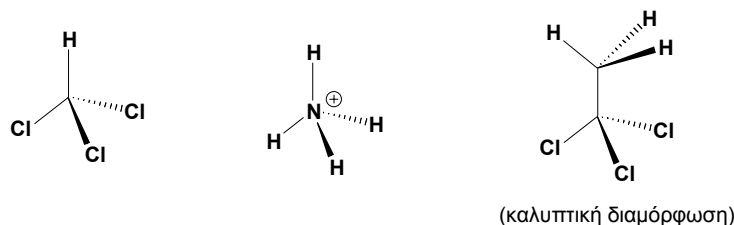
Ομάδα C_{2v}

Στην ομάδα αυτή κατατάσσονται δομές οι οποίες κατέχουν ένα μοναδικό άξονα συμμετρίας C_n και επίσης η επίπεδα συμμετρίας τα οποία τέμνονται στον άξονα C_{nv}.

Η ομάδα C_{2v} είναι πολύ συνηθισμένη και ένας μεγάλος αριθμός απλών, επίπεδων μορίων (αλλά όχι μόνο) κατατάσσονται στην υποομάδα αυτή.

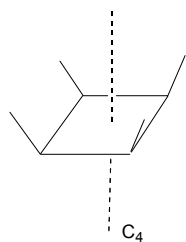


Μόρια με C_{2v} συμμετρία

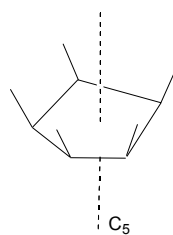


Δομές με C_{3v} συμμετρία

Στην υποομάδα C_{4v} θα ανήκαν τα cis- τετραϋποκατεστημένα κυκλοβουτάνια (με ίδιους υποκαταστάτες) εάν ο δακτύλιος ήταν επίπεδος. Έχει βρεθεί όμως ότι ο κυκλοβουτανικός δακτύλιος δεν είναι επίπεδος αλλά έχει πτύχωση. Εν τούτοις λόγω της ταχύτατης αναστροφής του δακτυλίου, στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας, η μέση θέση είναι αυτή που παρατηρείται και έχει C_{4v} συμμετρία. Ανάλογα, στο cis- πενταϋποκατεστημένο κυκλοπεντάνιο αποδίδεται C_{5v} συμμετρία, η οποία είναι απλώς η συμμετρία της φαινομενικής μέσης θέσης των ταλαντώσεων ψευδοστροφής του πενταμελούς δακτυλίου.

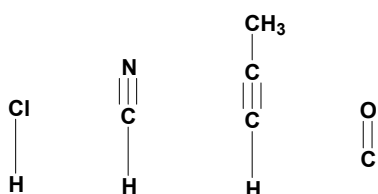


συμμετρία C_{4v}



συμμετρία C_{5v}

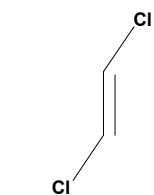
Γραμμικά μόρια με ανόμοια άκρα κατατάσσονται ως $C_{\infty v}$ καθώς έχουν άξονα άπειρης τάξης και άπειρα επίπεδα συμμετρίας που τέμνονται σε αυτόν.



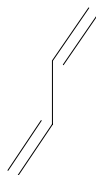
Μόρια με κωνική συμμετρία $C_{\infty v}$

Ομάδα C_{nh}

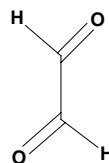
Στην ομάδα αυτή κατατάσσονται μόρια που έχουν ένα C_n άξονα αλλά μόνο ένα επίπεδο συμμετρίας, που είναι κάθετο στον άξονα (αν ο άξονας τοποθετείται κατακόρυφα, ως συνήθως, το επίπεδο είναι οριζόντιο εξ' ου και το σύμβολο h, horizontal).



t-1,2-διχλωροαιθυλένιο



1,3-βουταδιένιο

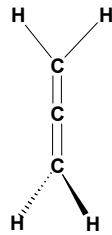


γλυοξάλη

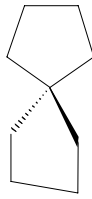
Μόρια με C_{2h} συμμετρία

Ομάδα D_{nd}

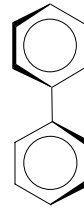
Μόρια που κατατάσσονται στην ομάδα αυτή έχουν ένα κύριο άξονα C_n και nC_2 άξονες κάθετους στον C_n , όπως και οι χειρικές διεδρικές ομάδες D_n , αλλά επιπλέον έχουν και επίπεδα συμμετρίας που τέμνονται στον κύριο άξονα.



αλλένιο

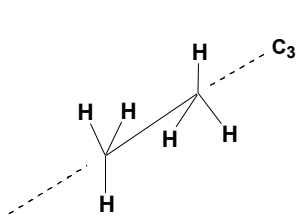


(4,4)-σπειροεννεάνιο

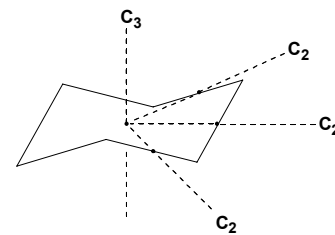
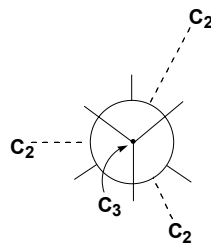


διφαινύλιο

Μόρια με D_{2d} συμμετρία



αιθάνιο
διαβαθμισμένη διαμόρφωση
 D_{3d}

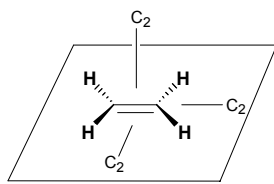


κυκλοεξάνιο
διαμόρφωση ανακλίντρου
 D_{3d}

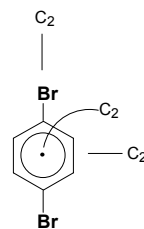
Σχήμα 9. Δομές με διεδρική συμμετρία D_{nd}

Ομάδα D_{nh}

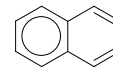
Αυτή η ομάδα έχει στοιχεία συμμετρίας παρόμοια με αυτά της ομάδας D_{nd} , με τη διαφορά ότι τα επίπεδα συμμετρίας περιέχουν τους οριζόντιους άξονες και όχι τις διχοτόμους των γωνιών τους και υπάρχει ένα πρόσθετο επίπεδο συμμετρίας κάθετο στον κύριο άξονα (επίπεδο σ_h). Είναι αρκετά διαδεδομένη ομάδα όπως φαίνεται από τα παραδείγματα που ακολουθούν.



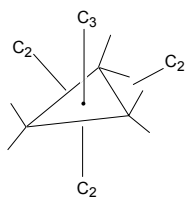
C_h
αιθυλένιο D_{2h}



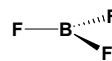
1,4-διβρωμοβενζόλιο D_{2h}



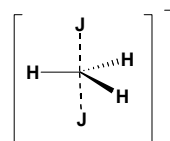
ανθρακένιο D_{2h}



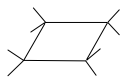
κυκλοπρόπάνιο D_{3h}



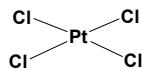
BF_3 D_{3h}



MK D_{3h} ($CH_3J + J^- \xrightarrow{S_N2}$)



κυκλοβουτάνιο D_{4h}



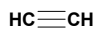
$PtCl_4$ D_{4h}



βενζόλιο D_{6h}



τροπούλιο κατιόν D_{7h}



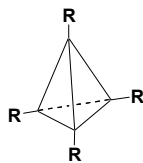
ακετυλένιο $D_{\infty h}$



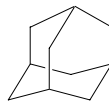
$D_{\infty h}$

Ομάδες υψηλής συμμετρίας.

Τετραεδρική συμμετρία T_d

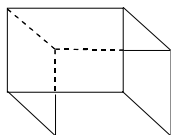


Τετραεδράνιο
(τετραϋποκατεστημένο) T_d
 $R=Bu^t$

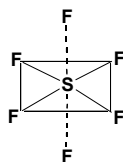


Αδαμαντάνιο $C_{10}H_{10}$, T_d

Κυβική συμμετρία O_h



Κυβάνιο C_8H_8



SF_6

Εικοσαεδρική συμμετρία I_h

Δωδεκαεδράνιο $C_{12}H_{12}$, φουλερένιο C_{60}