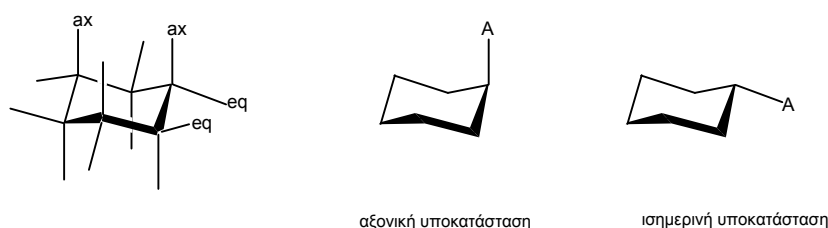


Διαμορφώσεις και χημική συμπεριφορά των κυκλικών ενώσεων με εξαμελή δακτύλιο. Κυκλοεξάνιο.

Η αρχική ιδέα του Baeyer για το κυκλοεξάνιο ήταν αυτή ενός επίπεδου δακτυλίου με τάση γωνιών (τάση Baeyer), λόγω της απόκλισης της γωνίας του κανονικού εξαγώνου (120°) από τη γωνία δεσμών ενός τετραεδρικού άνθρακα (109°). Γρήγορα έγινε αντιληπτό ότι η τάση γωνίας μπορεί να μηδενισθεί με πτύχωση του δακτυλίου σε σχήμα ανάκλιντρο, αλλά η ιδέα δεν ήταν αποδεκτή γιατί στο ανάκλιντρο οι δεσμοί γίνονται δύο ειδών (αξονικοί- ισημερινοί) και άρα θα έπρεπε να υπάρχουν δύο διαστερεοϊσομερή μονοϋποκατεστημένα παράγωγα ,



ενώ οι χημικοί ήταν σίγουροι ότι μόνο ένα είδος μονοϋποκατεστημένων κυκλοεξανίων υπήρχε. Με τη προσθήκη της ιδέας ότι το ανάκλιντρο μπορεί να αναδιπλωθεί σε ένα επίσης ανάκλιντρο όπου οι υποκαταστάτες από αξονικοί γίνονται ισημερινοί και το αντίστροφο καθώς και τη παραδοχή ότι αυτή η αναστροφή γίνεται ταχύτατα, εξηγείται η ύπαρξη ενός μόνο παρατηρήσιμου παραγώγου. Άρα ένα μονοϋποκατεστημένο κυκλοεξάνιο θα ήταν ένα μίγμα **διαστερεομερών δομών** που σε συνήθη θερμοκρασία αλληλομετατρέπονται ταχύτατα με στροφή περί τους απλούς δεσμούς C—C του δακτυλίου, δηλαδή είναι **διαμορφομερή** ή **στροφομερή**. Η ορθότητα της ιδέας ελέγχεται πλέον εύκολα με τις σύγχρονες μεθόδους παρατήρησης. Π.χ. Σε θερμοκρασία δωματίου παρατηρούνται για το κυκλοεξυλοβρωμίδιο δύο δονήσεις τάσης του δεσμού C—Br , στα 685 cm^{-1} για το ισημερινό διαμορφομερές και στα 658 cm^{-1} για το αξονικό. Σε χαμηλή θερμοκρασία (-50° C) η ύπαρξη των δύο διαμορφομερών παρατηρείται και με φασματοσκοπία NMR πρωτονίου ή και ^{13}C , όπου καταγράφονται διαφορετικά σήματα για τους αντίστοιχους πυρήνες των δύο διαμορφομερών.

Επειδή ο λόγος των εντάσεων των δυο σημάτων ενός πυρήνα που βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία ανάμεσα σε δυο διαφορετικά περιβάλλοντα είναι ο λόγος των πληθυσμών των δύο διαμορφομερών σε ισορροπία έπεται ότι για την σταθερά ισορροπίας K_{eq} της μετατροπής ισχύει ότι :

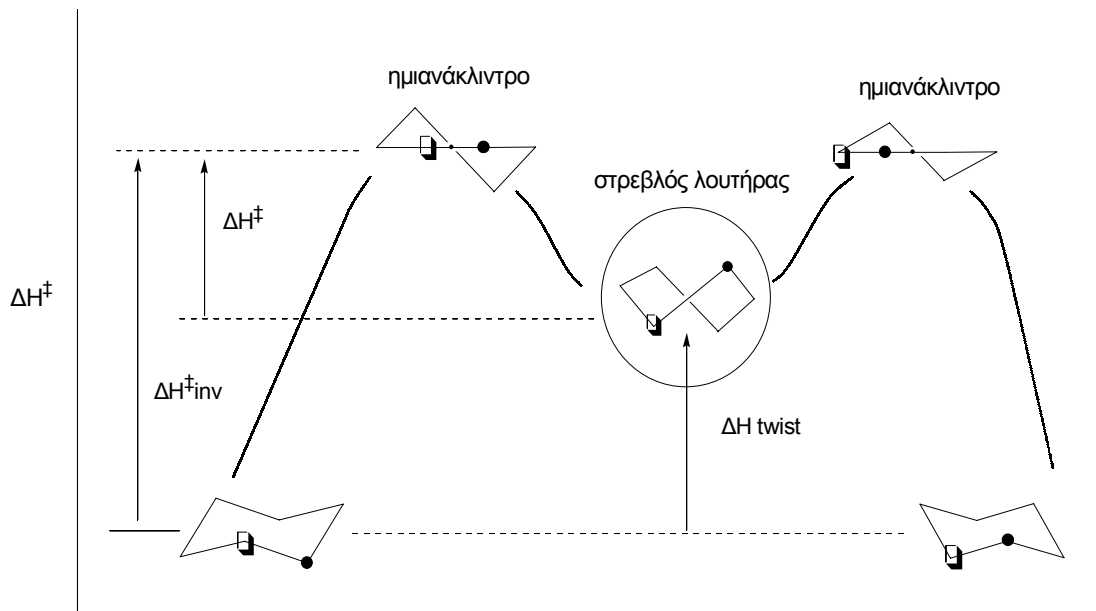


$$\Delta G = -RT \ln K_{eq} = -RT \ln [\text{ισημερινή}] / [\text{αξονική}]$$

Συνεπώς μπορεί να ευρεθεί και η ενεργειακή διαφορά των δύο διαμορφώσεων, (ενέργεια διαμόρφωσης, conformational energy). Για το ίδιο το κυκλοεξάνιο η αναστροφή γίνεται προς ένα ισοδύναμο ανάκλιντρο, ιδίου ενεργειακού περιεχομένου ($\Delta G=0$), μέσω όμως ενός φράγματος δυναμικού (ΔG^\ddagger) το οποίο καθορίζει και τη ταχύτητα της αλληλομετατροπής

$$\Delta G^\ddagger = -RT \ln k \quad k = \text{σταθερά ταχύτητας}$$

Έχει βρεθεί ότι το κυκλοεξανίο αναστρέφει το δακτύλιό του με ρυθμό περίπου $10^5 / \text{sec}$. Ανάλογες ταχύτητες έχουν προσδιορισθεί και για διάφορα υποκατεστημένα κυκλοεξάνια. Το ενεργειακό διάγραμμα της αναστροφής του κυκλοεξανικού δακτυλίου εμφανίζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Εξέλιξη της αναστροφής του κυκλοεξανικού δακτυλίου

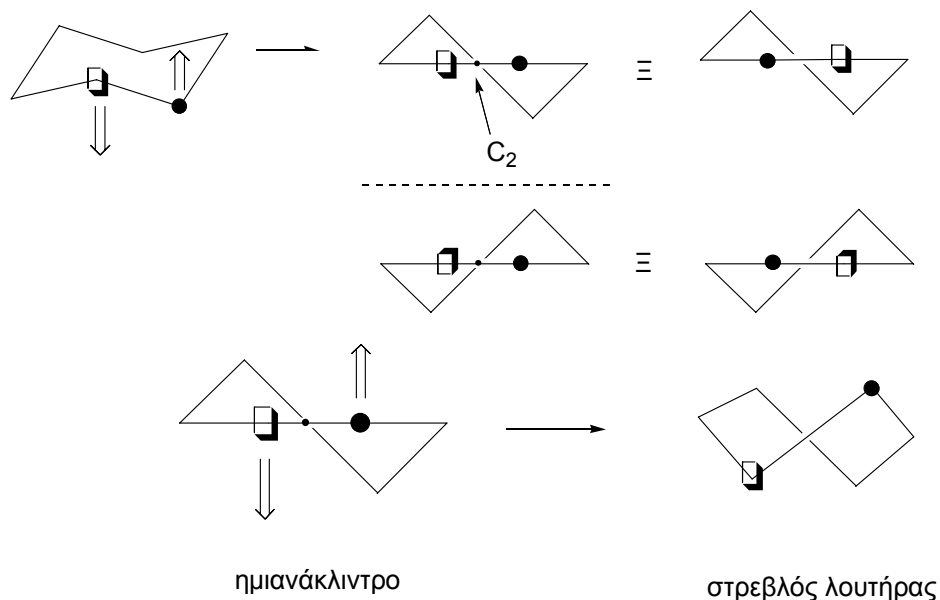
Μια δομή με τέσσερις συνεπίπεδους άνθρακες αντιπροσωπεύει τη μεταβατική κατάσταση η οποία σταθεροποιείται μεταπίπτοντας σε μια μορφή στρεβλού λουτήρα (twist boat), η οποία μέσω μιας ασταθέστερης μεταβατικής δομής λουτήρα μετατρέπεται σε άλλες ισοδύναμες και ισοενεργειακές δομές στρεβλού λουτήρα. Η αναστροφή ολοκληρώνεται με μετατροπή ενός στρεβλού λουτήρα μέσω ημιανακλίντρου προς το ανεστραμμένο ανάκλιτρο.

Η ύπαρξη της δομής στρεβλού λουτήρα επιβεβαιώθηκε με φασματοσκοπία IR ως εξής: Ατμοί κυκλοεξανίου σε ατμόσφαιρα αργού θερμαίνονται στους 800°C και κατόπιν ψύχονται στους 20°K με ταχύτατη εκτόνωση σε θάλαμο ψυχόμενο με υγρό ήλιο. Τα μόρια του κυκλοεξανίου παγιδεύονται μέσα στους κρυστάλλους του αργού διατηρώντας ουσιαστικά τις διαμορφώσεις που είχαν πριν τη ψύξη. Το μίγμα αρχικά προθερμαίνεται ώστε να αυξηθεί το ποσοστό των ασταθών διαμορφώσεων (στρεβλή / ανάκλιτρο $= e^{-\Delta G/RT}$) σε παρατηρήσιμο επίπεδο. Για τους 800°C βρέθηκε ότι 25% των μορίων είχαν δομή άλλη από αυτή του ανακλίντρου, προφανώς αυτή του στρεβλού λουτήρα. Στη συνέχεια με ελαφρά θέρμανση της μήτρας αργού αρχίζει η μετατροπή στρεβλός λουτήρας \rightarrow ανάκλιτρο και η μέτρηση της ταχύτητας της παρέχει το ύψος του φράγματος ($\Delta H^\ddagger \approx 6\text{Kcal} / \text{mol}$) για τη μετατροπή, στρεβλός λουτήρας \rightarrow ημιανάκλιτρο. Έτσι με γνωστή την ενέργεια σχηματισμού

ημιανάκλιντρο αφ' ενός μεν από ανάκλιντρο ($\Delta H^\ddagger_{\text{inv}} \approx 11,5 \text{ Kcal / mol}$) αφ' ετέρου δε από στρεβλό λουτήρα ($\Delta H^\ddagger \approx 6 \text{ Kcal / mol}$), προκύπτει ότι η ενεργειακή στάθμη της στρεβλής διαμόρφωσης βρίσκεται $5,5 \text{ Kcal / mol}$ ($\Delta H^\ddagger_{\text{twist}} \approx 5,5 \text{ Kcal / mol}$), πάνω από το ανάκλιντρο. Η ακριβής ανάλυση της διεργασίας αναστροφής ενός εξαμελούς ανακλίντρο είναι αρκετά πιο πολύπλοκη απ' ό τι φαίνεται εκ πρώτης όψεως, ακόμα και για τον απλό κυκλοεξανικό δακτύλιο χωρίς υποκαταστάτες. Για την καλύτερη κατανόηση αυτού του πολύ σημαντικού φαινομένου πρέπει να αναφερθούν τα εξής:

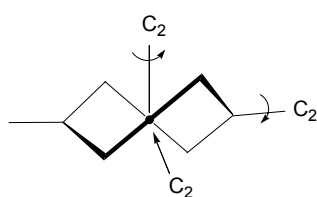
Η αναστροφή του ανακλίντρο παράγει ένα ταυτόσημο ανάκλιντρο, ίσης ενέργειας παρόλο ότι συγκεκριμένοι πυρήνες έχουν αλλάξει θέσεις. Είναι δηλαδή μια εκφυλισμένη ισομερίωση, λόγω της συμμετρίας του δακτυλίου (D_{3d}).

Η μεταβατική δομή ημιανάκλιντρο υπάρχει σε δυο κατοπτρικές μορφές μη ταυτιζόμενες αλλά ισοενεργειακές (είναι χειρική δομή συμμετρίας C_2) και λαμβάνεται με σχετική μετακίνηση των ανθράκων \square και \bullet όπως δείχνουν τα βέλη. Σχήμα 2.

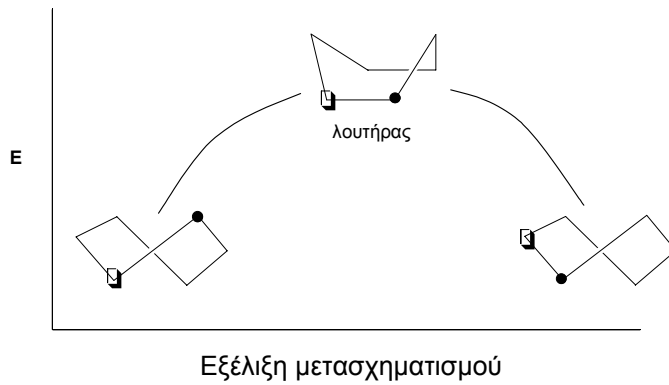


Σχήμα 2. Οι μετασχηματισμοί ανάκλιντρο- ημιανάκλιντρο- στρεβλός λουτήρας.

Ο στρεβλός λουτήρας λαμβάνεται με παραπέρα μετακίνηση των ίδιων ανθράκων κατά την ίδια κατεύθυνση και βρίσκεται σ' ένα ενεργειακό ελάχιστο.



Ο στρεβλός λουτήρας είναι χειρική δομή συμμετρίας D_{2d} (τρεις ορθογωνικοί άξονες C_2) και είναι μια ευμετάβλητη δομή. Δηλαδή μπορεί εύκολα (ενέργεια ενεργοποίησης μόνο $\sim 1,5 \text{ Kcal / mol}$) να μετατραπεί σε άλλες ισοδύναμες και ισοενεργειακές δομές, που όλες είναι στρεβλοί λουτήρες αλλά στους οποίους συγκεκριμένα άτομα έχουν αλλάξει θέσεις (εκφυλισμένη ισομερίωση).



Τέτοια εκφυλισμένα ισομερή (τοπομερή) μπορούν να γραφούν 6 (δύο αντιποδικές μορφές για κάθε άξονα C_2) και οι αλληλομετατροπές τους γίνονται μέσω λουτήρων, που είναι αχειρικές δομές συμμετρίας C_{2v} , όλες ισοδύναμες ενεργειακά αλλά τοπομερείς ως προς συγκεκριμένα άτομα του μορίου.

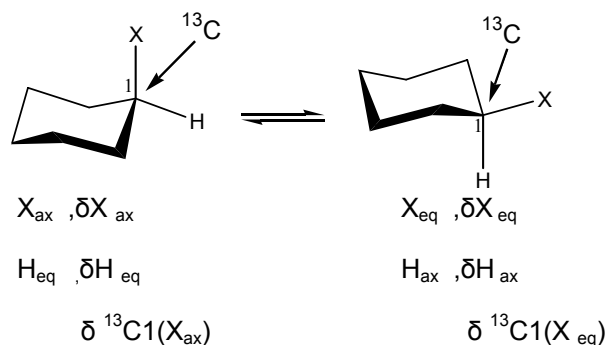
Οι λουτήρες αυτοί δεν σχετίζονται άμεσα με την καθ' αυτό αναστροφή του ανακλίντρου η οποία ακολουθεί την πορεία ανάκλιντρο \longrightarrow στρεβλός λουτήρας \longrightarrow ανεστραμμένο ανάκλιντρο. Είναι αναγκαία όμως η μεσολάβησή τους για το μετασχηματισμό μιας δομής στρεβλού λουτήρα σε άλλο στρεβλό λουτήρα ο οποίος θα οδηγήσει στο ανεστραμμένο ανάκλιντρο. Χωρίς αυτή την ενδιάμεση μετατροπή η συγκεκριμένη στρεβλή δομή θα οδηγήσει πίσω στο ίδιο ακριβώς ανάκλιντρο από το οποίο ξεκίνησε αρχικά ο μετασχηματισμός.

Μονοϋποκατεστημένα κυκλοεξάνια

Η αναστροφή δακτυλίου στα μονοϋποκατεστημένα κυκλοεξάνια γίνεται ταχύτατα ($\sim 10^6 \text{s}^{-1}$) σε θερμοκρασία δωματίου ώστε οι διαφορές συχνοτήτων που μετρώνται στη φασματοσκοπία NMR δε μπορούν να διακρίνουν τα διαμορφομερή ως ανεξάρτητες δομές. Έτσι το σήμα ενός πυρήνα εμφανίζεται σε χημική μετατόπιση (δ) ενδιάμεση μεταξύ των τιμών δ_e και δ_{ax} που έχει για το κάθε διαμορφομερές χωριστά και μάλιστα είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος :

$$\delta = n_e \delta_e + n_{ax} \delta_{ax}$$

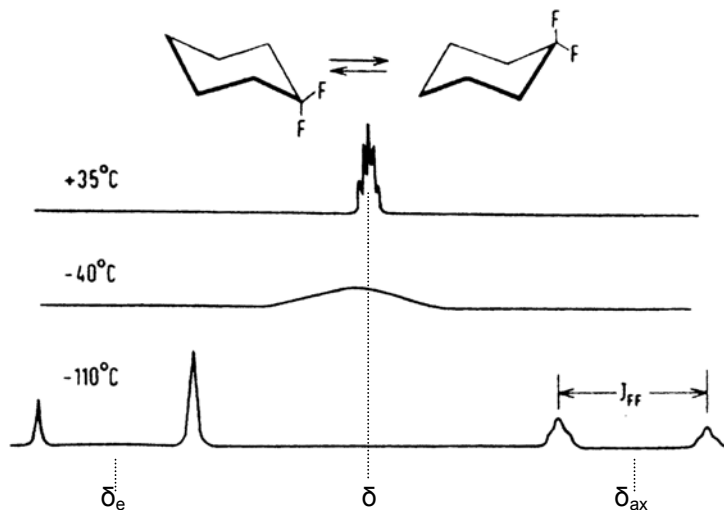
όπου δ = παρατηρούμενη χημική μετατόπιση και n_e, n_{ax} τα γραμμομοριακά κλάσματα των ισημερινού και αξονικού διαμορφομερούς αντιστοίχως.



Η σχέση ισχύει για οποιοδήποτε πυρήνα παρατηρούμε στο μόριο (φάσμα ^1H , ^{13}C , ^{19}F κλπ). Με τη μείωση της θερμοκρασίας όμως μειώνεται και η ταχύτητα αναστροφής δακτυλίου και σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία αρχίζουν να παρατηρούνται δύο διαφορετικά σήματα (δ_e , δ_a) για τα δύο διαμορφομερή. Δηλαδή το φάσμα είναι πλέον το απλό άθροισμα δυο φασμάτων , ένα για κάθε διαμορφομερές. Στην περίπτωση μάλιστα του κυκλοεξυλοχλωριδίου, το φάσμα του ισημερινού διαμορφομερούς μπορεί να καταγραφεί και χωριστά αφού η “ουσία” μπορεί να απομονωθεί με κρυστάλλωση σε χαμηλή θερμοκρασία απαλλαγμένη ουσιαστικά από το αξονικό διαμορφομερές.

1,1-δισυποκατεστημένα κυκλοεξάνια

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα του 1,1- διφθοροκυκλοεξανίου τα δύο διαμορφομερή είναι ισοδύναμα, άρα ίσων συγκεντρώσεων, δηλαδή ένας πυρήνας φθορίου παραμένει το μισό του χρόνου σε αξονικό περιβάλλον και το άλλο μισό σε ισημερινό, εξ ου και συμμετρική θέση των δ_e , δ_{ax} ως προς δ . Στους 35°C οι πυρήνες F είναι φαινομενικά ισοδύναμοι (άρα φαινομενικά ομοτοπικοί) και παρατηρούνται διασχίσεις μόνο από τα H των 2 γειτονικών μεθυλενομάδων (J_{F-H}). Στους -40°C παρατηρείται σύμφυση όλων των σημάτων και σε χαμηλότερες ακόμη θερμοκρασίες παρατηρούνται χωριστά σήματα για τα δύο στερεοτοπικά φθόρια, της μορφής AB. Παρατηρείται επίσης η σύζευξη των δύο πυρήνων φθορίου αφ' ενός μεν μεταξύ τους (είναι πλέον διαστερεοτοπικοί) αφ' ετέρου δε με τα γειτονικά πρωτόνια, τα οποία είναι τώρα διαστερεοτοπικά και αυτά (ax και eq).



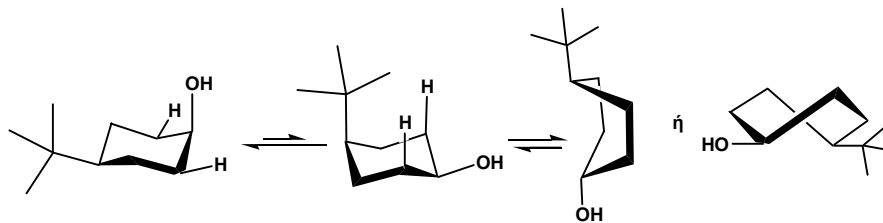
Σχήμα 3. ^{19}F NMR (56.4MHz) του 1,1- διφθοροκυκλοεξανίου σε διάφορες θερμοκρασίες

Το αξονικό φθόριο (θωρακισμένο , στα δεξιά του φάσματος) έχει αντιπαράλληλα πρωτόνια με τα οποία οι συζεύξεις J_{F-H} είναι μεγάλες και διακρίνονται, σε αντίθεση με το ισημερινό φθόριο (αποθωρακισμένο , αριστερά στο φάσμα) που οι μικρότερες συζεύξεις δεν προκαλούν

εμφανή διάσχιση του σήματος αλλά μόνο διεύρυνση. Τέλος ας σημειωθεί η χαρακτηριστική μορφή AB του φάσματος όπου οι εσωτερικές κορυφές είναι μεγαλύτερης έντασης από τις εξωτερικές (ενώ θα ανεμένετο να είναι ίσες). Η παραμόρφωση αυτή είναι χαρακτηριστική των AB συστημάτων όπου η διαφορά $\delta_e - \delta_{ax} = \Delta\delta$ είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τη σταθερά σύζευξης J_{F-F} . Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ $\Delta\delta$ και J τόσο οι εσωτερικές κορυφές μεγαλώνουν εις βάρος των εξωτερικών.

Ενέργεια διαμορφώσεως

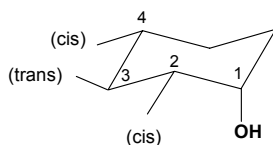
Εκτός από τη μέτρηση της έντασης των σχετικών σημάτων στα φάσματα NMR χαμηλής θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται και χημικές μέθοδοι για το προσδιορισμό διαμορφωτικών ισορροπιών. Συνηθέστατα χρησιμοποιείται μια πρότυπη ένωση η οποία λόγω δομής έχει μια μόνο διαμορφωτική δυνατότητα ή τουλάχιστον μια διαμόρφωση είναι κατά πολύ σταθερότερη από τις άλλες. Κυκλοεξάνια υποκατεστημένα με τριτοταγή βουτυλομάδα έχουν ως κύρια διαμόρφωση του δακτυλίου αυτή με την ογκώδη t-Bu ομάδα σε ισημερινή θέση, αφού αναδίπλωση του δακτυλίου οδηγεί την ογκώδη t-Bu ομάδα είτε σε αξονική θέση ανακλίντρου όπου οι στερεοχημικές παρεμποδίσεις είναι πολύ μεγάλες, κυρίως 1,3 διαξονικές, είτε σε ισημερινή θέση λουτήρα (συστότερα στρεβλού λουτήρα) που είναι επίσης αυξημένου ενεργειακού περιεχομένου.



Σχήμα 4. Τα Bu^t -παράγωγα των κυκλοεξανίων ευρίσκονται αποκλειστικά (σχεδόν) σε μια διαμόρφωση

Ωστε η “ακίνητοποίηση” του δακτυλίου έχει σαν αποτέλεσμα ένας άλλος υποκαταστάτης (στη συγκεκριμένη περίπτωση η cis υδροξυλομάδα) να έχει και αυτός συγκεκριμένη θέση στο ανάκλιντρο (αξονική στο συγκεκριμένο παράδειγμα).

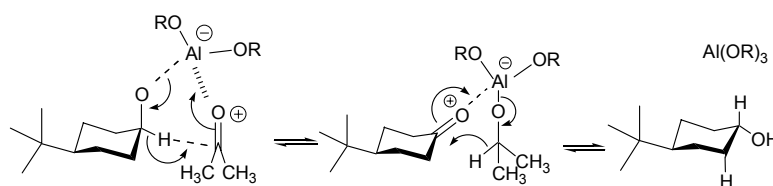
Μια Bu^t -κυκλοεξανόλη για να έχει το OH σε αξονική θέση θα πρέπει να έχει τον υποκαταστάτη Bu^t είτε cis στις θέσεις 2 ή 4 είτε trans στη θέση 3.



Είναι προτιμότερο να έχουμε εάν είναι δυνατό τον υποκαταστάτη σε μέγιστη απομάκρυνση από την ομάδα t-Bu ώστε να ελαχιστοποιούνται οι στερεοχημικές αλληλεπιδράσεις και τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν να είναι γενικότερης εφαρμογής σε όλους τους δακτυλίους. Εάν λοιπόν η cis 4- Bu^t -κυκλοεξανόλη τεθεί σε ισορροπία (θερμοδυναμική) με το trans ισομερές της, από

τη μέτρηση του λόγου των συγκεντρώσεων cis / trans, προκύπτει η ενέργεια διαμορφώσεως της εν λόγω ομάδας (της υδροξυλομάδας) από τη σχέση $\Delta G = -RT \ln k_{eq}$.

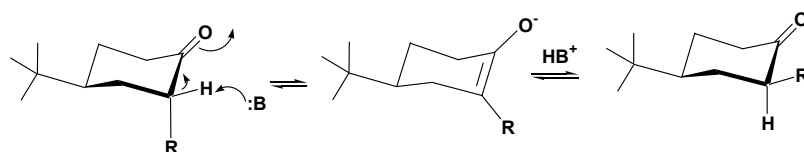
Για το παράδειγμα του υδροξυλίου, μια μέθοδος είναι η κατεργασία με αλκοξειδίο του Αργιλίου. Συνήθως χρησιμοποιείται τριόσοπροποξυαργίλιο $\text{Al}(\text{O-iPr})_3$ παρουσία καταλυτικής ποσότητας ακετόνης. Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Θερμοδυναμική εξισορρόπηση διαστερομερών δευτεροταγών αλκοολών μέσω της αντίστοιχης κετόνης.

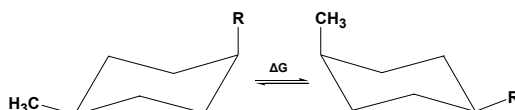
Λειτουργεί έτσι ένας οξειδοαναγωγικός μηχανισμός Ponndorf-Oppenheimer όπου μέσω της 4-Bu^t-κυκλοεξανόνης εξισορροπούνται τα *cis-trans* ισομερή και μετρώνται π.χ. με φασματοσκοπία ^1H NMR χρησιμοποιώντας έστω, τη συχνότητα του H της θέσης 1 το οποίο έχει μεγάλη *trans* διαξονική σύζευξη στην ισημερινή (*trans*) αλκοόλη.

Είναι δυνατόν ακόμη, να χρησιμοποιηθεί μια εξισορρόπηση μέσω ενολικής μορφής παρουσία βασικού καταλύτη. Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Θερμοδυναμική εξισορρόπηση διαστερομερών κετονών μέσω της κοινής ενολικής μορφής.

Για την απ' ευθείας μέτρηση της ενέργειας διαμορφώσεως της μεθυλομάδας χρησιμοποιήθηκε δυναμική φασματοσκοπία ^{13}C με μεθυλοκυκλοεξάνιο εμπλουτισμένο σε ^{13}C στο μεθύλιο. Έτσι προσδιορίζεται με ακρίβεια η τιμή 1.74 Kcal/ mol, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορισθούν στη συνέχεια οι ενέργειες διαμορφώσεως άλλων ομάδων R, με την ακόλουθη μέθοδο του "αντίβαρου".



cis- 1-μεθυλο-4-αλκυλοκυκλοεξάνια

Η θέση αυτής της ισορροπίας προσδιορίζεται μετρώντας τις εντάσεις των δυο σημάτων του $^{13}\text{CH}_3$ (*ax* και *eq*) και υπολογίζοντας το ΔG μέσω της σχέσης

$$\Delta G = -RT \ln \frac{{}^{13}\text{CH}_3 \text{ ax}}{{}^{13}\text{CH}_3 \text{ eq}}$$

Δεχόμενοι ότι οι ενέργειες διαμορφώσεως είναι προσθετικές έχουμε

$$\Delta G = \Delta G_{\text{R}} - \Delta G_{\text{Me}} \text{ \u00e1ρα } \Delta G_{\text{R}} = \Delta G + \Delta G_{\text{Me}} \text{ \u00f7 } \Delta G_{\text{R}} = \Delta G + 1.74$$

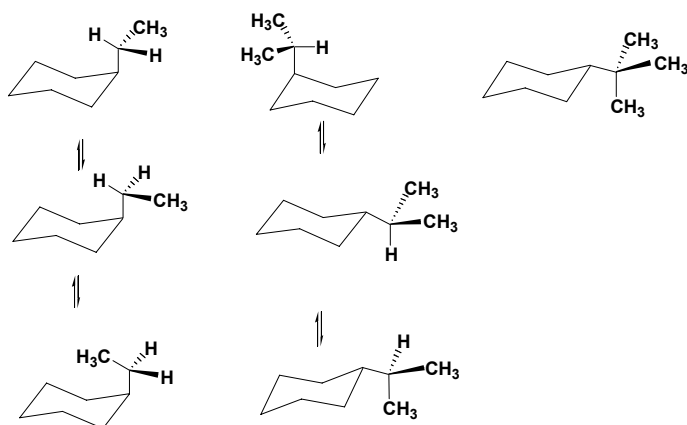
| Ομάδα | E conf Kcal/ mol |
|------------------------------|------------------|
| Cl | 0,55 |
| Br | 0,60 |
| J | 0,55 |
| OH | 0,6 |
| OPh | 0,65 |
| Me | 1,75 |
| Et | 1,79 |
| i-Pr | 2,2 |
| t-Bu | 4,9 |
| Ph | 2,8 |
| NH ₂ | 1,2 |
| NH ₃ ⁺ | 2,0 |
| CO ₂ H | 1,4 |
| CO ₂ ⁻ | 2,0 |

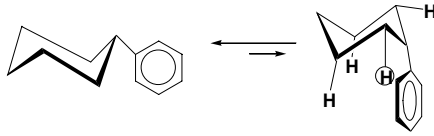
Πίνακας 1. Ενέργειες διαμόρφωσης (E conf) μερικών συνηθων ομάδων

Σχετικά με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα, αξίζει να σημειωθούν τα εξής

► Η αύξηση του όγκου στη σειρά Cl, Br, J συνοδεύεται από αύξηση του μήκους δεσμού που διευκολύνει την προς τα έξω κάμψη του δεσμού. Έτσι στη σειρά των αλογόνων η ενέργεια διαμόρφωσης είναι σχεδόν σταθερή.

► Η μικρή διαφορά μεταξύ CH₃, C₂H₅, i-Pr και η μεγάλη απόκλιση του Bu^t εξηγείται με τη προς τα έξω του δακτυλίου τοποθέτηση των πρόσθετων μεθυλομάδων, που όμως δε μπορεί να επιτευχθεί στο Bu^t.



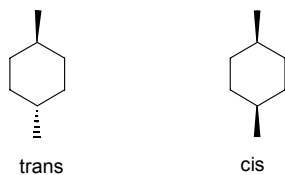
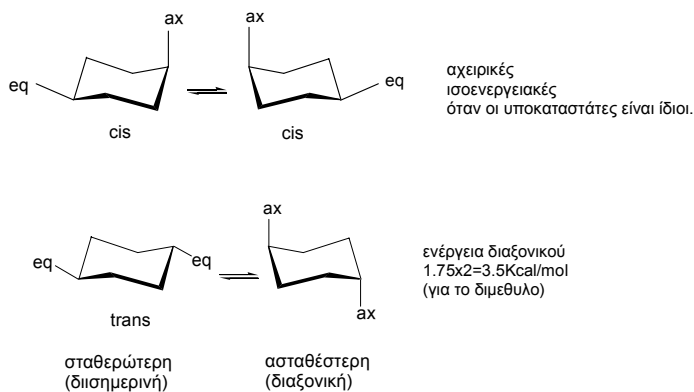


► Το φαινυλοκυκλοεξάνιο στην αξονική διαμόρφωση έχει το βενζολικό δακτύλιο με το πλευρό προς το κυκλοεξάνιο και έτσι δημιουργούνται απώσεις με τα δύο ισημερινά υδρογόνα του κυκλοεξάνιου και τα δύο όρθο υδρογόνα του βενζολικού δακτυλίου. Αντίθετα στην ισημερινή διαμόρφωση ο βενζολικός δακτύλιος είναι στο επίπεδο που διχοτομεί το δακτύλιο και διέρχεται από τους άνθρακες 1 και 4.

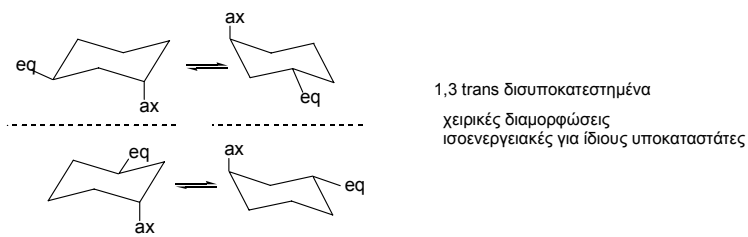
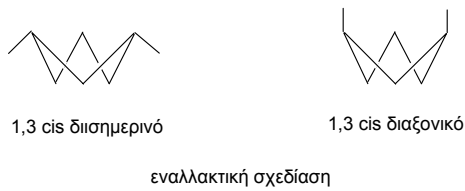
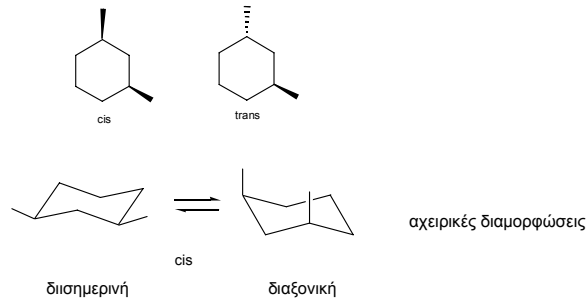
► Τέλος η αύξηση της ενέργειας διαμόρφωσης του καρβοξυλικού ανιόντος σε σχέση με την αφόρτιστη καρβοξυλομάδα, μπορεί να ερμηνευθεί με την εντονότερη επιδιалύτωση του ανιόντος και επακόλουθη αύξηση του “όγκου” του και άρα και των απώσεων στην αξονική θέση. Με διαφορετική (αλλά ισοδύναμη) διατύπωση θα λέγαμε ότι η αξονική ως πλέον συνωστισμένη θέση εμποδίζει την αποτελεσματική επιδιалύτωση του ιόντος και έτσι χάνεται η σταθεροποίηση που θα προέκυπτε από αυτήν.

Δισυποκατεστημένα κυκλοεξάνια, διαμορφώσεις.

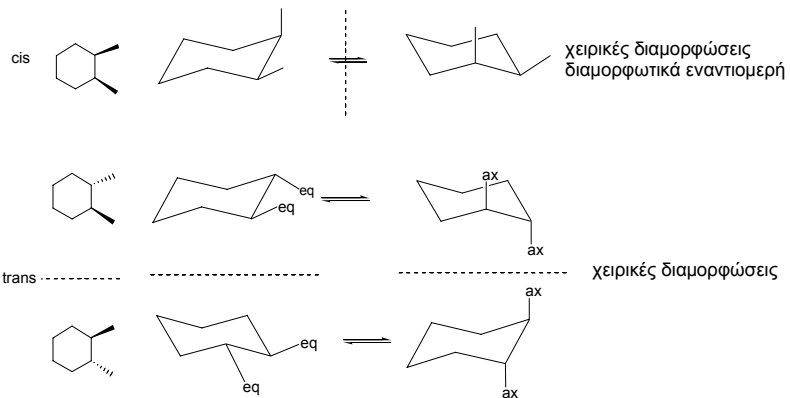
Τα 1,4- δισυποκατεστημένα cis και trans κυκλοεξάνια έχουν επίπεδο συμμετρίας και είναι αχειρικά άσχετα από το αν οι υποκαταστάτες είναι ίδιοι ή όχι.



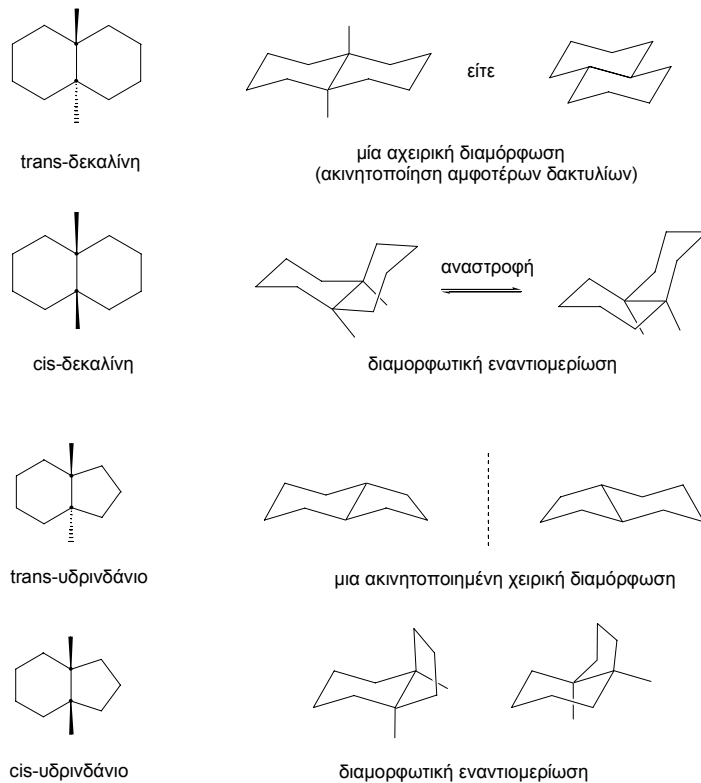
► 1,3 –δισυποκατεστημένα κυκλοεξάνια , όμοιοι υποκαταστάτες



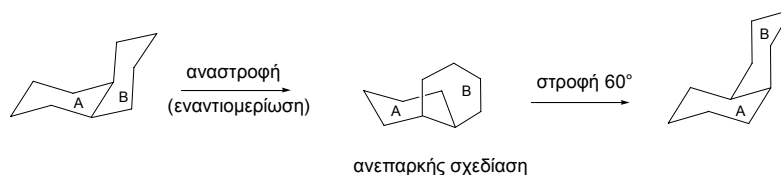
► 1,2 –δισυποκατεστημένα κυκλοεξάνια , όμοιοι υποκαταστάτες



► 1,2 –δισυποκατεστημένα κυκλοεξάνια, με υποκαταστάτες τους δυο κλάδους ενός δεύτερου δακτυλίου (συμπυκνωμένα δicyκλικά συστήματα).



Παρατήρηση : Η σχεδίαση των διαμορφομερών της cis-δεκαλίνης όπως και άλλων δicyκλικών δομών παρουσιάζει την δυσκολία ότι η προοπτική γωνία που δείχνει καθαρά και τους δυο δακτυλούς στο ένα εναντιομερές είναι ακατάλληλη για να απεικονίσει το άλλο εναντιομερές. Γι' αυτό αλλάζουμε την προοπτική (στροφή 60° στο οριζόντιο επίπεδο). Στην προκείμενη περίπτωση της cis δεκαλίνης η διεργασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο σχήμα 7.



Σχήμα 7. Σχεδίαση των διαμορφομερών της cis-δεκαλίνης.

Όσον αφορά το σύστημα της trans- δεκαλίνης ο χαρακτηρισμός του ως ακίνητοποιημένου, αφορά την αδυναμία αναστροφής ανακλίντρου προς ανάκλιντρο. Υπάρχει βεβαίως η δυνατότητα της αναστροφής ανάκλιντρο προς λουτήρα η οποία όμως είναι εξαιρετικά δυσχερής και δικαιολογημένα αγνοείται.