

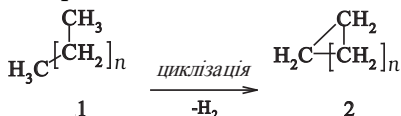
# КОНФОРМАЦІЇ ЦИКЛОАЛКАНІВ

Володимир КОВТУНЕНКО, доктор хімічних наук, професор Київського національного університету ім. Тараса Шевченка; Людмила ВЕЛИЧКО, доктор педагогічних наук, професор, завідувач відділу біологічної, хімічної та фізичної освіти Інституту педагогіки НАПН України

Циклоалкани, або поліметиленові вуглеводні, або циклопарафіни, – насичені вуглеводні циклічної будови. У складі нафти містяться вуглеводні ряду циклопентану й циклогексану – нафтени. Для нафтохімічної промисловості нафтени є джерелом ароматичних вуглеводнів, що утворюються в результаті каталітичного риформінгу й широко використовуються для виробництва синтетичних волокон. Молекули циклоалканів можуть перебувати в різних просторових формах (конформаціях). У попередній публікації<sup>1</sup> ми розглядали конформації циклогексану.

Циклізація алканів у циклоалкани супроводжується низкою нових структурних ефектів – ефектів «**напруження**» циклів.

Для її оцінювання можна використовувати такі параметри:



1) зміна ентальпії<sup>2</sup>  $\Delta H^\circ_{\text{цикл}}$ , що спостерігається під час циклізації 1→2.

У калориметрах з адіабатичною оболонкою температуру оболонки підтримують близькою до температури калориметричної системи впродовж усього досліду (температуру останньої вимірюють лише на початку і наприкінці процесу);

2) значення теплоти утворення аліциклу, зведеної до однієї метиленової групи ( $\Delta H^\circ/n$ );

3) енергія напруги, що визначається таким співвідношенням:  $E_{\text{напруг}} = [\Delta H^\circ_{\text{розрахов}} - \Delta H^\circ_{\text{експ}}]$ , де  $\Delta H^\circ_{\text{розрахов}}$  – теплота утворення, обчислена за схемою, що ґрунтується на енергії зв'язків чи інкриментів груп.

Визначивши значення напруження в аліциклах розміром від 3 до 16, можна побудувати графік залежності енергії напруження від розміру кільця (мал. 1).

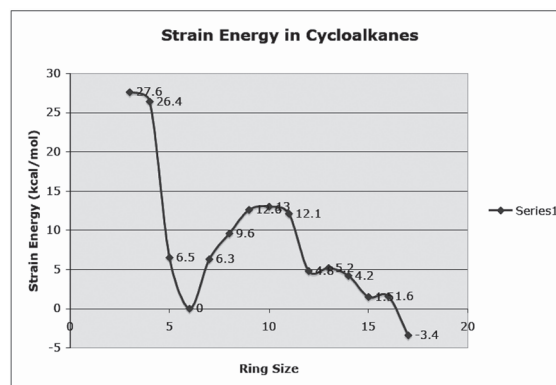
<sup>1</sup> Див.: «Біологія і хімія в рідній шк.». – 2017. – № 1.

<sup>2</sup> **Потенціал** — можливість, наявні сили, запаси, засоби, що можуть бути використані.

**Термодинамічні потенціали** — це набір функцій стану термодинамічної системи, що характеризує її поведінку під час термодинамічних процесів. У випадку внутрішньої енергії і вільної енергії їхня зміна в самочинних процесах дорівнює виконаній системою роботі. До термодинамічних потенціалів належать внутрішня енергія, ентальпія, вільна енергія (потенціал Гельмгольца), вільна ентальпія (потенціал Гіббса) тощо. Ентальпія ( $H$ ) — адитивна функція, тобто ентальпія всієї системи дорівнює сумі ентальпій її складників.

Із внутрішньою енергією  $U$  системи ентальпія пов'язана співвідношенням:  $H = U + PV$ , де  $U$  – внутрішня енергія;  $P$  – тиск;  $V$  – об'єм.

© Ковтуненко В. О., Величко Л. П., 2018



Мал. 1. Енергія напруження в циклах  
Абсциса – розмір кільця  
Ордината – енергія напруження, ккал/моль

Особливість графіка – наявність екстремумів. Дані свідчать, що, за винятком циклогексану, циклічні сполуки є менш стійкими порівняно з їхніми ациклічними аналогами.

Аналіз графіка дає змогу класифікувати аліцикли на малі ( $n = 3, 4$ ), звичайні ( $n = 5, 6$ ), середні ( $n = 7 - 11$ ) та великі цикли ( $n > 12$ ). Стабільність циклоалканів зростає від циклопропану до циклогексану, знижується від циклогексану до циклононану, знову зростає до циклодекану й великих циклів.

Яка ж причина того, що цикли характеризуються надлишком енергії?

Чи в усіх випадках природа цього явища тотожна?

Тривалий час відповідями на ці запитання слугувало винятково кутове (Байєрівське) напруження, але нині розрізняють чотири можливі причини.

## Типи напруження в циклічних молекулах

**I. Байєрівське напруження  $E_1$**  [кутове напруження].



Адольф фон Байєр (1835 – 1917)  
(Нобелівська премія, 1905)

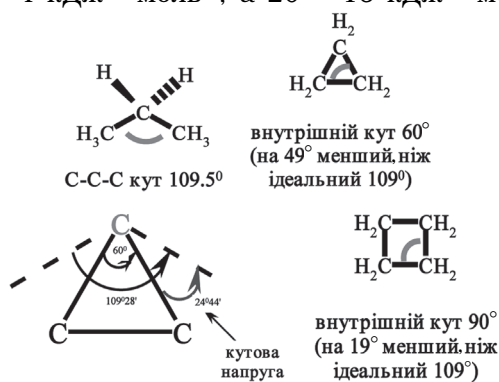
У 1885 р. А. Байєр запропонував теорію кутового напруження для пояснення залежності властивостей аліциклів від розміру.

Байєрівське напруження  $E_1$  спричиняє зміну валентних кутів від їх нормального значення ( $109,5^\circ$ ). Для невеликих деформацій значення цієї енергії пропорційне квадрату кутового зміщення від рівноважного значення. Його можна визначити за формулою:

$$E_1 = 0,04 (\alpha - \alpha_0)^2 \text{ кДж} \cdot \text{град}^2 \cdot \text{моль}^{-1},$$

де  $\alpha$  – кут зв'язку в напруженому циклі;  $\alpha_0$  – рівноважне значення кута [ $109,5^\circ$ ] (мал. 2).

Наприклад, з відхиленням  $2^\circ$  кутове напруження становитиме  $0,16 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ ,  $10^\circ$  –  $4 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ , а  $20^\circ$  –  $16 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ .



Мал. 2. Валентні кути в пропані, циклопропані й циклобутані

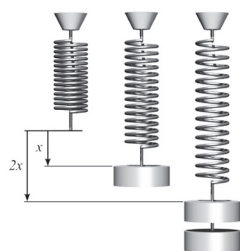
## 2. Напруження зв'язків $E_2$ .



Роберт Гук (1635 – 1703)

Напруження зв'язків – це зміна міжатомних відстаней як наслідок розтягування чи стискування хімічних зв'язків. Його визначають за формулою, що свідчить: зміна нормальних міжатомних відстаней потребує значних енергетичних затрат.

**Закон Гука встановлює** лінійну залежність між деформаціями й механічним напруженням (мал. 3).



Мал. 3

$$E_2 = k \cdot d^x,$$

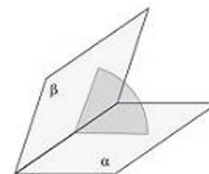
де  $d$  – значення лінійного зсуву атома від його нормального положення;  $x \gg 1$ , а це означає, що  $E_2$  – крута потенційна функція.

**3. Напруження затінення** (торсійне, або пітцерівське, напруження).



Карл Пітцер (1914 – 1997)

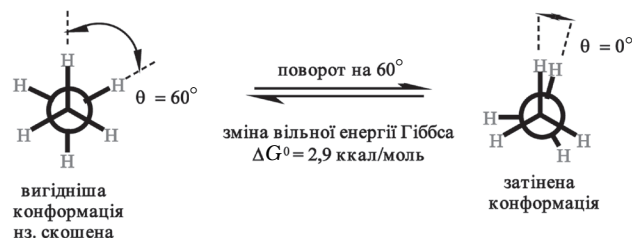
**Торсійне напруження** в молекулі пов'язане з подоланням бар'єра обертання навколо одинарного зв'язку. Воно є синусоїдальною функцією торсійного кута  $\theta$  (синонім, що використовується в органічній хімії, але менш точний — дієдральний, або ще — двогранний кут) (мал. 4).



Мал. 4. Двогранний, дієдральний, або торсійний, кут  $\theta$  — геометрична фігура, що утворена двома напівплощинами, обмеженими спільною прямою

Бар'єр обертання в етані використовують як стандартну величину для бар'єрів обертання в ациклічних вуглеводнях, аналізуючи роль торсійних напружень.

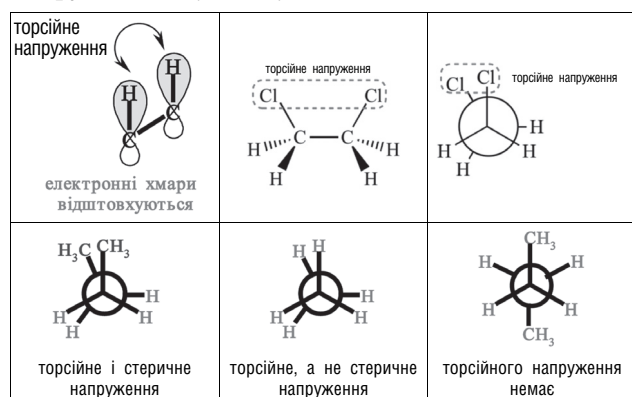
Торсійне напруження виникає як протидія скручуванню простого зв'язку. У циклічних молекулах воно має назву пітцерівського напруження. Торсійне напруження має місце, коли атоми, відокремлені трьома зв'язками, розміщуються в затіненій конформації замість того, щоб перебувати в стійкішій скошеній формі (мал. 5).



Мал. 5. Скошена й затінена конформація етану

Бар'єр обертання між скошеними конформаціями в етані становить близько  $3,0 \text{ ккал/моль}$ . Спочатку вважалося, що бар'єр обертання зумовлений просторовими взаємодіями віцинальних атомів

Гідрогену, але радіус Ван дер Ваальса в Гідрогену є занадто малим для цього випадку. Недавнє дослідження показало, що скошені конформації, можливо, є стійкішими завдяки ефекту гіперкон'югації. Віддалення від скошеної конформації припиняється цією стабілізуючою силою. Складніші молекули, як бутан, мають більше, ніж одну скошену конформацію. Антиперипланарна конформація бутану приблизно на 3,8 ккал/моль стійкіша, ніж синклінальна форма. Обидві ці скошені конформації є значно стійкішими, ніж синперипланарна конформація. Замість ефекту взаємодії віцинальних атомів Гідрогену, як в етані, енергія напруження в бутані складається з енергії просторової взаємодії між метильними групами та кутового напруження, спричиненого цими взаємодіями. Різницю енергії спричиняє електрон-електронне відштовхування (подібно до відштовхування, що протилежне притягання до магніту). Його називають торсійним напруженням (мал. 6).



Мал. 6. Торсійне і стеричне напруження

#### 4. Прелогівське напруження (трансанулярне напруження).



Володимир Прелог (1906 – 1998)  
(Нобелівська премія, 1975)

Прелогівське, або трансанулярне, напруження (за нього «відповідають» внутрішньомолекулярні сили Ван дер Ваальса) спричинене відштовхуванням атомів (Гідрогену чи інших) у протилежних положеннях циклу.

В. Прелог (1950) вперше описав незв'язані взаємодії такого типу.

В органічних сполуках трансанулярне напруження виникає як наслідок несприятливих взаємодій замісників кільця, які розміщуються

не при сусідніх атомах Карбону. Ці взаємодії, так звані трансанулярні взаємодії, є результатом браку внутрішнього простору в кільці, який спричиняє конфлікт замісників між собою (мал. 7). У циклоалканах середнього розміру, що містять 8 – 11 атомів Карбону, трансанулярне напруження є головним джерелом повного напруження циклу, до якого додаються кутове та Пітцерівське напруження. У більших циклах трансанулярне напруження покроково знижується до циклів, які можуть набути конформацій, позбавлених будь-яких негативних взаємодій. Трансанулярне напруження може також бути в інших циклічних органічних молекулах, наприклад лактонів, лактамів, етерів, циклоалкенів і циклоалкінів. Раніше ці сполуки не мали помітного значення, проте нині вони важливі для вивчення трансанулярного напруження. До того ж трансанулярні взаємодії не обмежені лише конфліктами між атомами Гідрогену, але можуть з'являтися у більших, складніших замісниках, що взаємодіють через кільце.



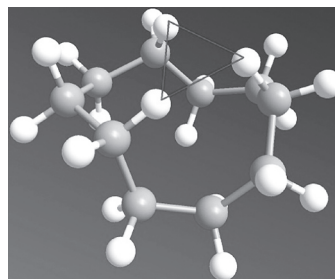
Трансанулярна взаємодія в циклодекані.  
Атоми Гідрогену, що інтерферують, зображено всередині циклів

Мал. 7. Атомам Гідрогену тісно. Ця внутрішньомолекулярна тіснота перетворюється в напруження циклу, яке називається трансанулярним

Графік (див. мал. 1) засвідчує, що відносні енергії циклоалканів зростають зі зростаннями розмірів циклів з піком у циклононану. З цієї точки відліку гнучкість циклів зростає зі збільшенням розміру; це уможливило значне пом'якшення трансанулярних взаємодій у конформаціях (мал. 8). Частина цього напруження зазвичай належить Пітцерівському напруженню, проте значним є внесок трансанулярного напруження. Воно має значення для середніх циклів, коли за певної конформації циклу атоми Гідрогену, що розміщуються з різних боків циклу, зближуються на відстань  $r$ .

Трансанулярне напруження можна визначити за формулою:

$$E_4 = 4,19 \cdot (10^{4-2r} - 49,2r^{-6}).$$



Мал. 8. Циклодекан у конформації з найнижчою енергією

Будь-яка молекула, у т. ч. й циклічна, прагне «заселити» такі конформації, за яких сума енергій  $E_1 + E_2 + E_3 + E_4$  була б мінімальною.

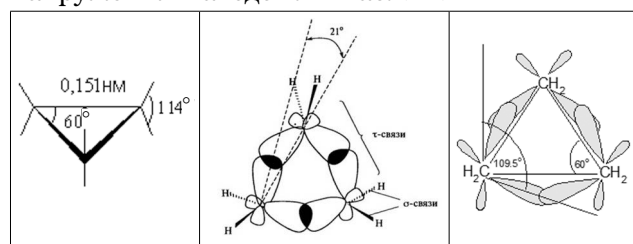
**Тричленні цикли**

Найвище напруження серед аліциклів має циклопропан. У напруження циклопропану роблять свій внесок усі «інвестори», крім  $E_4$ . Існує думка, що внесок  $E_2$  (напруження зв'язків) тут найбільший (вищий за  $E_1$ ).

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

Оскільки цикл плоский, а атоми Карбону розміщуються у вершинах трикутника, з погляду конформаційного аналізу циклічних сполук, циклопропан не становить жодних проблем.

У циклопропані варте уваги значення кута Н—С—Н, який трохи збільшений ( $114^\circ$ ) за рахунок зменшення кута С—С—С (до  $60^\circ$ ) (мал. 9). Серед циклічних сполук саме у циклопропанів спостерігаються найбільші відхилення валентних кутів від нормальних значень. Гібридні орбіталі Карбону, що формують зв'язки С—С у тричленних циклах, мають більший *p*-характер порівняно з класичною  $sp^3$ -гібридизацією. Це уможливує ефективніше перекривання орбіталей, спрямованих назовні відносно осей, що сполучають ядра циклічних атомів. Як наслідок – міжорбітальні кутові деформації значно менші за між'ядерні кутові деформації, бо з посиленням *p*-характеру зв'язків у кільці «нормальний» міжорбітальний кут зменшується від значення  $110^\circ$ , характерного для  $sp^3$ -гібридизації, до  $90^\circ$  – значення, притаманного ортогональним *p*-орбіталям. Параметри насичених тричленних циклів та їх енергію напруження наведено в табл. 1.



Мал. 9. Молекула циклопропану

Такі зв'язки між кільцевими атомами розглядаються як «вигнуті» (трапляється термін «бананові»).

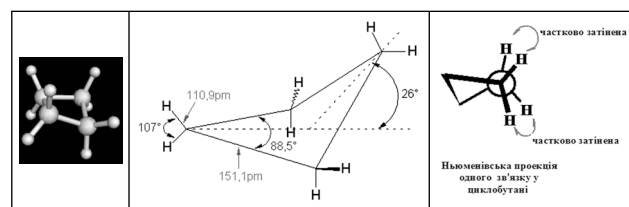
Природа групи X істотно впливає на геометрію: зверніть увагу на значення кута СХС у тїрані.

**Чотиричленні цикли**

Надлишок енергії порівняно з *n*-бутаном має і циклобутан. У циклобутані кутове напруження є значним, але деформації кутів уже менші (валентний кут становить близько  $90^\circ$ ), ніж у циклопропані:

$$E = E_1 + E_3.$$

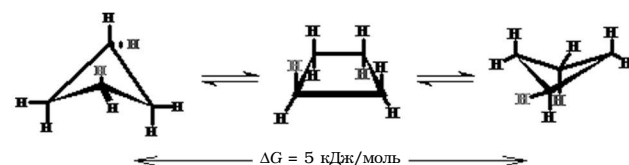
Експериментальні методи доводять, що чотиричленний цикл не є плоским і має певну складчастість.



Мал. 10. Молекула циклобутану

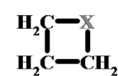
Саме в результаті прагнення системи знизити внесок Пітцєрівського напруження в циклобутані і виникає складчаста конформація. Кут складчастості, як показано на мал. 10, становить  $26^\circ$ . Плоска форма, в якій  $E_3$  – максимальна, є енергетично менш вигідною на  $5 - 6$  кДж · моль<sup>-1</sup>, що становить значення бар'єра між двома неплоскими формами (мал. 11).

Головні «інвестори» в енергію напруження – це  $E_1$  та  $E_3$ .



Мал. 11. Рівновага між конформаціями циклобутану

Складчаста форма притаманна й цілій низці різноманітних похідних циклобутану (наприклад, гетероциклічним сполукам загальної формули



$$X = \text{O}, \text{S}, \text{NH}, \text{SiO}_2$$

Проте оксетан ( $X = \text{O}$ ) має тенденцію до виявлення плоскої конформації (плоска форма в

**Параметри насичених тричленних циклів та їхня енергія напруження**

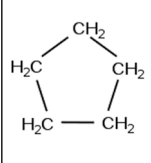
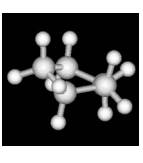
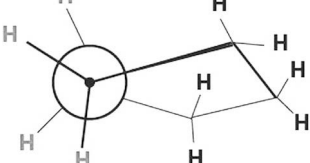
	X	Назва	Кут СХС, град	Довжина зв'язків, нм		Напруження, КДж·моль <sup>-1</sup>
				С—С	С—Х	
	CH <sub>2</sub>	Циклопропан	60	0,1510	0,1510	115
	NH	Азиридин	60	0,1481	0,1475	113
	O	Оксиран	61	0,1472	0,1436	114
	S	Тїран	48,5	0,1492	0,1819	83

цьому випадку лише на  $0,2 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$  є менш вигідною за складчасту). Для бутиролактону було доведено плоску будову.

За складчастої будови чотиричленного циклу можна розрізнити два типи зв'язків, що приблизно нагадують аксіальні та екваторіальні зв'язки в конформації крісла циклогексану. Їх позначають як псевдоаксіальні та псевдоекваторіальні. У монозаміщених циклобутану форма з псевдоекваторіальним замісником енергетично вигідніша за форму з псевдоаксіальним замісником.

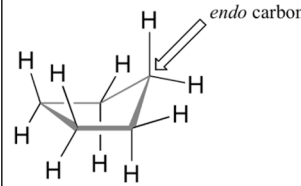
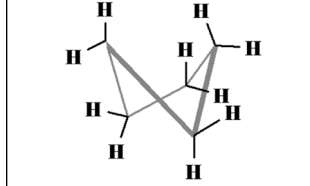
### П'ятичленні цикли

У циклопентані деформація валентних кутів ( $E_1$ ) зменшується, але внесок торсійного напруження  $E_3$  є значним. Отже, напруження в циклопентані становить:  $E = E_3$ . У разі площинної будови валентний кут  $\text{C}-\text{C}-\text{C}$  у циклопентані мав би дорівнювати  $108^\circ$ , що досить близько до тетраедричного кута (мал. 12). Така система не мала б кутового напруження, якби всі атоми Гідрогену перебували в затіненому положенні. Експериментально було доведено, що циклопентан не є плоским; валентні кути зменшуються, внаслідок чого знижується торсійне напруження.

		
Циклопентан	Циклопентан неплоский	Ньюменівська проекція циклопентану. Показано вихід атомів Гідрогену із затіненого положення і зниження Пітцерівського напруження

Мал. 12. Молекула циклопентану

Характеристика «неплоский» зовсім не означає наявність якоїсь однієї стабільної конформації. З можливих неплоских конформацій п'ятичленного циклу беруть до уваги симетричні конформації конверта та напівкрісла (мал. 13).

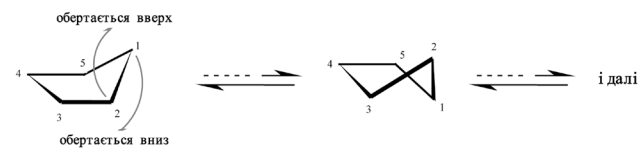
	
Конформація конверта. Позначається як конформація $C_s$	Конформація напівкрісла. Позначається як конформація $C_2$

Мал. 13. Конформації циклопентану

**Конверт.** Форма, що зовнішнім виглядом нагадує неповністю закритий поштовий конверт, має чотири атоми ( $C_2, C_3, C_4, C_5$ ) у площині та

один відхилений від площини *ендо*-атом ( $C_1$ ). Молекула циклопентану у формі конверта має симетрію  $C_s$ , що характеризується наявністю площини симетрії, яка ділить чотири атоми площини навпіл і проходить через атом  $C_1$ .

У **напівкріслі** атом  $C_1$  відхилений від площини, а атом  $C_2$  лежить під площиною, де розміщена решта сусідніх атомів  $C_3, C_4, C_5$ . Ця форма має симетрію  $C_2$  – вісь другого порядку проходить через атом  $C_4$  і поділяє зв'язок  $C_1-C_2$  навпіл. Обидві конформації  $C_s$  та  $C_2$  мають однакову енергію, а плоска конформація має надлишок енергії  $17 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ .



Мал. 14. Конформаційний перехід  $C_2 \leftrightarrow C_s$  для молекули циклопентану

До особливостей конформаційної поведінки циклопентану треба віднести той факт, що конформаційний перехід  $C_2 \leftrightarrow C_s$  відбувається без подолання потенційного бар'єра (за оцінками різних авторів, він становить лише близько  $12,5 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ), і кожен з атомів системи перебуває певний час у всіх можливих положеннях конформацій (мал. 14).

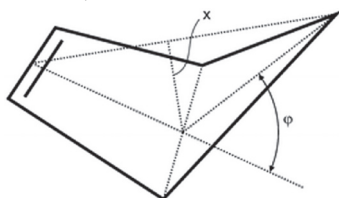
Такий процес спостерігається в газовій та рідкій фазах і називається **псевдообертанням**. У циклопентані псевдообертання не має нічого спільного ні з обертанням молекули як цілого, ні з внутрішньою ротацією. Цей термін вживається лише для опису коливань атомів навколо положення рівноваги. Форма скелетних коливань кільця змінюється з часом, і через певний його проміжок  $i$ -й атом коливається саме так, як і  $(i + 1)$ -й. Коливання атомів послідовно передаються по циклу і створюють враження його обертального руху.

Псевдообертання спостерігається на заповнених стадіонах, коли глядачі імітують рух хвилі, по черзі (посекторно) встаючи зі своїх місць. Плоский перехідний стан не стосується псевдообертання. У монозаміщених циклопентану також спостерігається псевдообертання, яке, щоправда, під дією замісника може характеризуватись дещо вищим бар'єром між конформаціями, і тоді є сенс вживати термін «конформаційна рівновага».

Аналіз засвідчує, що форма з екваторіальним замісником є стабільнішою за форму з аксіальним розміщенням (наприклад, у молекулі метилциклопентану). Складчаста форма також є найвигіднішою і для циклопентену, в якому вуглецевий атом  $C_4$  відхиляється від площини, де розміщується подвійний зв'язок. Плоска форма циклопентену вища за енергією від форми



конверта на  $2,5 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ , що істотно відрізняється від значень, характерних для циклопентану (мал. 15).



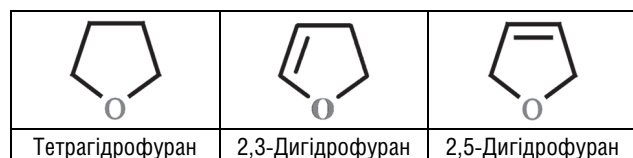
Мал. 15. Молекула циклопентану.

На відміну від циклопентану в циклопентену не може спостерігатись псевдообертання

Тому перехід через площинну конформацію відбувається легко, й атом карбону  $C_4$  коливається над площиною та під площиною решти карбонових атомів.

Циклопентадієн має площинну форму. Насичені п'ятичленні гетероциклічні сполуки поводяться подібно до циклопентану. Вони мають складчасту будову, й для них характерне псевдообертання. Бар'єри псевдообертання однак дещо вищі за ті, що ми їх спостерігали в циклопентані.

У тетрагідрофурані (ТГФ) найстабільнішими є конформації  $C_2$  та  $C_s$ , що мають у першому наближенні однакову енергію. П'ятичленний цикл тетрагідрофурану лежить в основі вуглеводів *D*-рибози та 2-дезоксид-*D*-рибози, що входять до нуклеїнових кислот.



У решти гетероциклів зазвичай, найстабільнішою є конформація  $C_s$  (конверта). Конформація циклу в цих сполуках перебуває між формами  $C_2$  та  $C_s$  і лежить ближче саме до останньої.

У ненасичених п'ятичленних гетероциклах конформація циклу визначається положенням гетероатома. Наприклад, 2,3-дигідрофуран має складчасту будову, а 2,5-дигідрофуран – плоску.

Для першого випадку в площинній формі дві сусідні метиленові групи були б затіненими, але це не вигідно, і молекула набуває складчастої будови.

Для другого обидві метиленові групи є сусідами етерного Оксигену та подвійного зв'язку і в жодному разі не мають затіненої конформації.

У складніших похідних циклопентану, зокрема в сполуках з циклопентановим кільцем, анельованим з іншими циклами (наприклад, у стероїдів), майже ніколи не буває площинної будови. Спостерігаються різноманітні конформації, що їх не можна віднести до конформацій ані конверта, ані напівкрісла. Залежно від навколишніх замісників геометрія їх може

лише наближатись до вказаних канонічних конформацій, і тоді досить важко визначити відмінності між аксіальною та псевдоаксіальною формами.

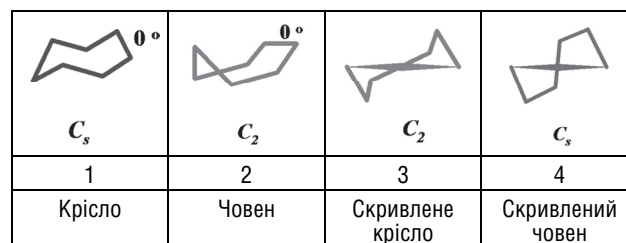
### Циклогептан

Для **циклогептану** відомі дві конформації без кутового напруження – крісла (1) та човна (2).

Напруження в циклопентановому кільці зумовлене Пітцерівським напруженням:  $E = E_3$ . Аналіз їхніх молекулярних моделей свідчить, що обидві вони гнучкі, тобто в обох можливий процес псевдообертання на зразок псевдообертання циклогексану в конформації човна. У конформаціях крісла та човна є фрагменти, що мають торсійний кут  $0^\circ$  і не вигідну затінену конформацію.

Плавним обертанням до найближчої конформації крісла чи човна ми дістаємо скривлені форми (*twist*-конформації), скривлене крісло (3) та скривлений човен (4), що мають меншу енергію напруження (Пітцерівське) порівняно з вихідними (класичними) конформаціями.

Конформація крісла має нижчу енергію за конформацію човна, тому найвигіднішою формою семичленного циклу вважається скривлена конформація крісла (3) (мал. 16).



Мал. 16. Молекула циклогептану

Розрахунки доводять, що конформації крісла і човна в разі псевдообертального процесу мають скривлені форми, яким відповідає мінімум енергії, а «класичні» конформації – це форми бар'єрів.

### Циклооктан

З подальшим збільшенням розміру циклу конформаційний аналіз стає складнішим, збільшуються гнучкість циклу й кількість можливих конформерів. Серед просторових моделей стає важко оцінити стабільність різних форм, яка визначається переважно внеском Пітцерівського напруження та появою вже Прелогівського напруження (взаємодії між атомами з протилежних боків циклу). Головний внесок у напруження – Пітцерівське напруження:  $E = E_3$ .

Прелогівське напруження буває досить важко оцінити. Циклооктан, за розрахунками, має три стабільні конформації А, В, С, що мало різняться за енергією. Найвигіднішою є конформація А (мал. 17).



Мал. 17. Молекула циклооктану

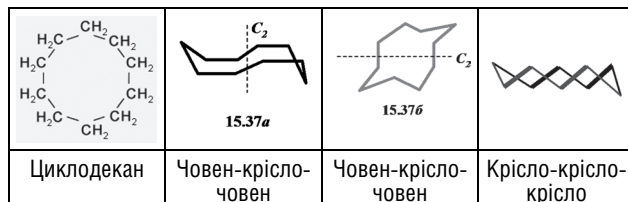
Всі три конформації було ідентифіковано в різних заміщених похідних циклооктану.

### Циклодекан

Згідно з розрахунками найвигіднішою формою циклодекану є конформація, що має вісь симетрії другого порядку та перпендикулярну до неї площину симетрії ( $C_{2h}$ ) (мал. 18, а). Головний внесок у напруження робить Пітцерівське напруження, проте має місце і Прелогівське, що спричинене відштовхуванням між атомами Н, приєднаними до несусідніх атомів:

$$E = E_3 + E_4.$$

Два частково ідеалізовані зображення цієї конформації показано на мал. 18, а, б.



Мал. 18. Молекула циклодекану

Насправді на двох зв'язках С—С, що перетинають вісь симетрії, торсійний кут становить близько  $150^\circ$ , на решті восьми зв'язках торсійні кути становлять  $50 - 70^\circ$ , а валентні кути С—С—С збільшені до  $115 - 117^\circ$ . Ця конформація була ідентифікована дифракційними методами в ряду похідних циклодекану.

У великих циклів усередині циклу є обмежений простір, досить об'ємний за розмірами. Він може вмістити атом, йон або групу атомів. Прикладом можуть бути циклічні поліетери (так звані краун-етери, які досить широко використовуються в органічному синтезі), що можуть вмістити в цьому обмеженому просторі катіони металів і утворити комплекси з неорганічними солями.

## РІЗНЕ

# ХІМІКИ ЖАРТУЮТЬ

Микола ВАСИЛЕГА-ДЕРИБАС

На урочистому бенкеті-рауті (1968 р.), що відбувався після завершення у Москві наукової конференції з процесу екстракції, член-кореспондент АН СРСР Ю. О. Золотов виголосив «під завісу» таку застільну промову:

– Глубокоуважаемые коллеги, дорогие друзья и гости! Я предлагаю выпить за дэ-дэ-переходы ...

Професор Київського університету А. М. Голуб у відповідь сказав:

– Шановний Юрію Олексійовичу! Ми вже тут так упилися, що нам на часі шукати де-де вихід...

*d-d-Переходи — електронні переходи між розщепленими d-підрівнями. Розщеплення n'ятиразово вироджених d-орбіталей відбувається тоді, коли катіон d-перехідного металічного елемента опиняється в оточенні негативно заряджених лігандів, тобто перебуває в електричному полі, створеному цими лігандами (Г. А. Бьоте, Дж. Ван Флек, Г. Гартман, Л. Оргел. Теорія кристалічного поля лігандів).*

\* \* \*

Кали викладач Пінського педагогічного інституту В. І. Говорушкін під час попереднього захисту своєї дисертації повідомив, що синтезований ним препарат Кобальту має персикове забарвлення, професор А. М. Голуб доброзичливо зауважив:

– Ви, шановний Василю Івановичу, висловлюйтеся конкретніше, адже серед присутніх є люди, які ніколи не бачили персика...

Кали інженер-технолог І. Ф. Мулярчук складав кандидатський іспит з неорганічної хімії, екзаменатор, його науковий керівник, А. М. Голуб запитав у дисертанта:

– Скажіть, Іване Феодосійовичу, так скільки саме є у природі рідкісноземельних елементів?

– Та... до чорта! — простодушно, не змигнувши оком, відповів той.

Отож і виходить, якщо число «13» — чортова дюжина, то «17», очевидячки, уже «надчортова».

© Василега-Дерибас М. Д., 2018