

Лекція 2. Алкани. Фізичні. Хімічні властивості. Знаходження в природі.

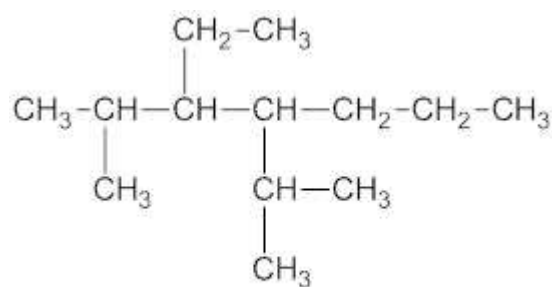
Застосування. Добування.

План.

1. Загальна характеристика алканів.
2. Ізомерія. Номенклатура. Гомологічний ряд алканів
3. Будова молекули. Поняття про sp^3 –тип гібридизації.
4. Знаходження у природі
5. Фізичні властивості алканів
6. Хімічні властивості алканів
7. Добування та застосування алканів

1. Сполуки, які складаються з двох елементів – Карбону та Гідрогену – називаються **вуглеводні**. Вуглеводні з відкритим ланцюгом, або ациклічні вуглеводні, які не містять кратних зв'язків називаються алкани (насичені, або парафінові, вуглеводні), загальна формула яких C_nH_{2n+2} . Першим представником алканів є метан – CH_4 .

2. *Номенклатура алканів.* За систематичною номенклатурою назва алканів має наступну структуру: замісники + головний ланцюг + префікс *-ан*



3-етил-4-ізопропіл-2-метилгептан

Перші чотири алкани мають традиційні назви (метан, етан, пропан, бутан), а назви наступних утворюються від грецьких або латинських числівників з додаванням суфікса *-ан*. Алкани утворюють гомологічний ряд алканів

CH_4	Метан	$C_{12}H_{26}$	Додекан
C_2H_6	Етан	$C_{13}H_{28}$	Тридекан
C_3H_8	Пропан	$C_{14}H_{30}$	Тетрадекан
C_4H_{10}	Бутан	$C_{15}H_{32}$	Пентадекан
C_5H_{12}	Пентан	$C_{20}H_{42}$	Екозан
C_6H_{14}	Гексан	$C_{21}H_{44}$	Генейкозан
C_7H_{16}	Гептан	$C_{22}H_{46}$	Докозан
C_8H_{18}	Октан	$C_{25}H_{52}$	Пентакозан
C_9H_{20}	Нонан	$C_{30}H_{62}$	Триакозан
$C_{10}H_{22}$	Декан	$C_{40}H_{82}$	Теракозан
$C_{11}H_{24}$	Ундекан	$C_{100}H_{202}$	Гектан
		$C_{1000}H_{2020}$	Кіліан

Для того щоб правильно називати алкани потрібно знати назви алкільних замісників. Алкільні замісники (алкіли) – вуглеводневі залишки, утворені шляхом відщеплення атомів Гідрогену від молекули алкану. Алкіли і вільні радикали – це не одне і те саме. Алкіл – це залишок алкану, а радикал – це реальна частинка з неспареним електроном. Назви алкільного замісника утворюються від назви відповідного алкану заміною суфікса *-ан* на *-ил(-іл)*. Назви деяких алкілів подано на рисунку.

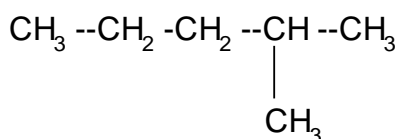
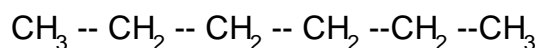
Назви деяких алканів та алкільних замісників

CH_4 метан	CH_3- метил
CH_3-CH_3 етан	CH_3-CH_2- етил
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ пропан	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ пропіл
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ бутан	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ бутил
$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ізобутан	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-$ втор-бутил
$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$ ізобутан	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-$ ізобутил
	$\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-$ трет-бутил
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$ пентан	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-$ пентил
$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ізопентан	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_2-$ ізопентил
	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-$ трет-пентил
$\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ неопентан	$\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-$ неопентил

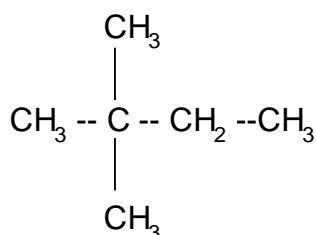
Кількість структурних ізомерів зростає зі збільшенням кількості атомів Карбону у молекулі. Для алканів існує конформаційна ізомерія і починаючи з гептану – оптична ізомерія. Кількість ізомерів для алканів. Алкани, число атомів Карбону в яких більше трьох, мають ізомери. Число цих ізомерів зростає з величезною швидкістю в міру збільшення числа атомів Карбону.

Молекулярна формула	Кількість ізомерів
CH_4	1
C_2H_6	1
C_3H_8	1
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_7H_{16}	9
C_8H_{18}	18
C_9H_{20}	35
$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	75
$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	4347

Приклади ізомерів для n - гексану

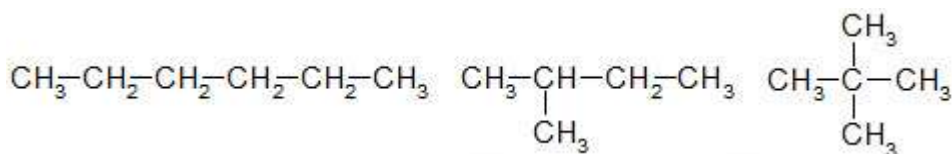


2- метил пентан



2,2 -диметилбутан

Починаючи з бутану в алканів з'являється структурна ізомерія:



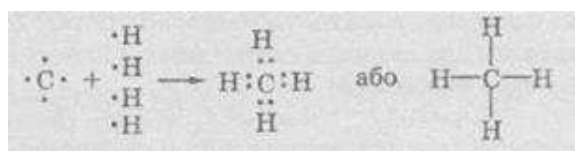
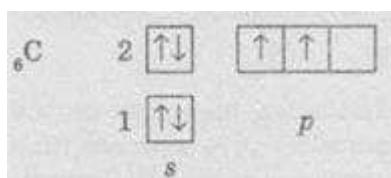
Гібридизація орбіталей – явище взаємодії атомних орбіталей на визначеному атомі із утворенням такого ж числа нових гібридних орбіталей, котрі є рівними за своїми характеристиками (енергією і формою). Гібридизація атомних орбіталей відбувається при виникненні ковалентних зв'язків між атомами.

Гібридна орбіталь — атомна орбіталь, отримана змішуванням двох чи більше атомних орбіталей атома з різними значеннями орбітального квантового числа, має

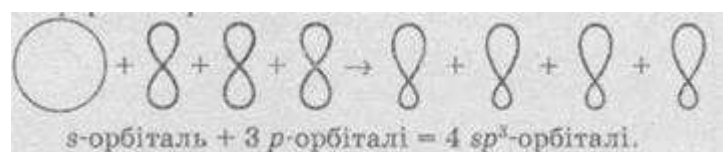
виражене спрямування. Наявністю цих орбіталей пояснюється геометрія переважної більшості органічних та неорганічних молекул.

sp^3 -гібридизація. Відбувається при змішуванні однієї s - і трьох p -орбіталей. Виникає чотири однакові орбіталі, розташовані одна щодо іншої під кутами тетраедрів $109^\circ 28'$. Прикладом sp^3 -гібридизації є молекула метану або кристалічна ґратка типу алмазу (кремній, германій, арсенід галію).

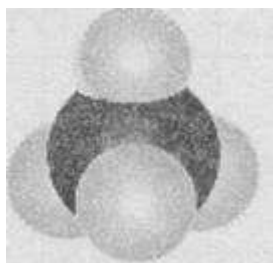
В молекулах насичених вуглеводнів існує два типи зв'язків: $C - C$ – ковалентний неполярний і $C - H$ – ковалентний слабополярний. У всіх органічних сполуках, атоми Карбону утворюють по чотири хімічні зв'язки. Валентність атома Карбону має обумовлюватися будовою його електронної оболонки. У звичайному (основному стані) на зовнішньому енергетичному рівні атома Карбону міститься 4 електрони: одна пара на s -орбіталі і два неспарені на p -орбіталах:



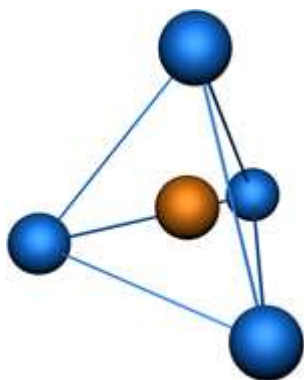
Атом карбону в алканах знаходиться в sp^3 – стані гібридизації. Чотири гібридизовані орбіталі атома Карбону утворюють прості σ -зв'язки з s -орбіталами атомів Гідрогену. Але для утворення чотирьох зв'язків на зовнішньому рівні має бути чотири неспарені електрони. Для цього атом Карбону поглинає невелику кількість енергії і переходить у збуджений стан, в якому будова його електронної оболонки виявляється наступною: або sp^3 -гібридизованими орбіталами інших атомів Карбону.



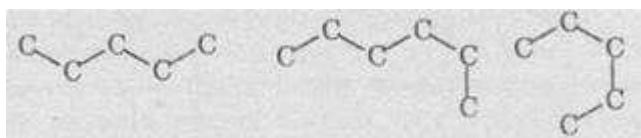
Ці орбіталі називають гібридизованими, а про стан самого атома Карбону говорять, що він перебуває у стані sp^3 -гібридизації. Оскільки нові орбіталі однакові за енергією, вони мають однаково відштовхуватися одна від одної і тому, на відміну від звичайних p -орбіталей, які розташовані по взаємноперпендикулярних вісях, sp^3 -гібридизовані орбіталі у просторі розташовані таким чином, що вони спрямовані до вершин тетраедра (правильної трикутної піраміди):



Оскільки спільні електронні пари можуть утворюватися тільки при перекриванні орбіталей, то хімічні зв'язки утворюються в тих самих напрямках, в яких спрямовані гібридизовані орбіталі атома Карбону. Отже, найпростіший алкан – метан має форму тетраедра: атоми Гідрогену розташовані у його вершинах, а атом Карбону — в його центрі:



Складніші алкани мають схожу будову — це комбінація декількох тетраедрів. Завдяки такій особливості утворення зв'язків в алканах карбоновий ланцюг не утворює лінію, а є зигзагоподібним, причому кут між хімічними зв'язками становить приблизно $109,5^\circ$. В молекулах алканів карбоновий кістяк може по-різному розташовуватися в просторі завдяки вільному обертанню атомів Карбону навколо одинарних зв'язків. Наприклад, карбоновий ланцюг пентану C_5H_{12} може виглядати так:



Але всі ці карбонові кістяки відповідають одній речовині з нерозгалуженим ланцюгом: $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$.

4. *Знаходження у природі.* В невеликих кількостях алкани містяться в атмосфері зовнішніх газових планет Сонячної системи: на Юпітері – 0,1% метану, 0,0002% етану, на Сатурні метану 0,2%, а етану – 0,0005%, метану та етану на Урані –

відповідно 1,99% і 0,00025%, на Нептуні ж – 1,5% і $1,5 \cdot 10^{-10}$. На супутнику Сатурна Титані метан (1,6%) міститься в рідкому вигляді, причому, подібно воді, що знаходиться на Землі в круговороті, на Титані існують (полярні) озера метану (у суміші з етаном) і метанові дощі.

Знаходження на Землі. В земній атмосфері метан присутній в дуже невеликих кількостях (близько 0,0001%), він виробляється деякими археями (архебактеріями), зокрема, що знаходяться в кишковому тракті великої рогатої худоби. Промислове значення мають родовища нижчих алканів у формі природного газу, нафти і, ймовірно, в майбутньому – газових гідратів (знайдені в областях вічної мерзлоти і під океанами). Також метан міститься в біогазі. Вищі алкани містяться в кутикулі рослин, оберігаючи їх від висихання, паразитичних грибків і дрібних рослиноїдних тваринок. У тварин алкани зустрічаються в якості феромонів у комах, зокрема у мухи цеце. Деякі орхідеї за допомогою алканів-феромонів приваблюють запилювачів. Метан утворився в надрах Землі, ймовірно, внаслідок взаємодії розпечених карбідів металів з водяною парою. На болотах метан виділяється у вигляді бульбашок на поверхні води (болотний газ). Газ утворюється в результаті гниття рослинних решток без доступу повітря. Метан виявлено в атмосфері планет Юпітер і Сатурн. Метан утворюється при гнитті органічних решток без доступу повітря. Він є основною складовою природного газу (~ 98%), входить до складу болотного газу (болото «дихає» - бульбашки газу підіймаються з дна водойм), супроводжує поклади вугілля (однією із причин вибухів на вугільних копальнях є накопичення метану) та нафти (супутній нафтовий газ).

5. Фізичні властивості. За нормальних умов перші чотири алкани – гази, C_5-C_{15} – рідини, починаючи з $C_{14}H_{30}$ і далі – тверді речовини. Метан — газ без кольору й запаху, майже в 2 рази легший від повітря, малорозчинний у воді. Етан, пропан, бутан за нормальних умов — гази, від пентану до пентадекану — рідини, а наступні гомологи — тверді речовини. Пропан і бутан під тиском можуть перебувати в рідкому стані і при звичайній температурі. Температури плавлення і кипіння знижуються від менш розгалужених до більш розгалуженим. Так за 20 °C н-пентан – рідина, а неопентан – газ. Газоподібні алкани горять безбарвним або блідо-блакитним полум'ям з виділенням великої кількості тепла. Згідно табл. 1, тплавл і

ткип залежать від розміру молекули. В гомологічному ряду зі збільшенням молекулярної маси $t_{\text{плавл}}$ і $t_{\text{кип}}$ зростають. За винятком нижчих алканів, де $t_{\text{кип}}$ зростають на 20–30°C зі збільшенням довжини ланцюга на один атом Карбону.

Насичені вуглеводні нормальної (нерозгалуженої) будови мають вищі температури плавлення і кипіння порівняно з ізомерами. Густина насичених вуглеводнів збільшується зі збільшенням розмірів молекул, проте всі вони легші за воду. Пропан і бутан легко скраплюються за підвищеного тиску. Алкани – неполярні або слабкополярні сполуки, практично не розчинні у воді. Газуваті й тверді алкани не мають запаху, рідкі – мають характерний "бензеновий" запах.

Таблиця 53. Фізичні властивості алканів

Назва алкана	Формула	Агрегатний стан за нормальних умов	Температура, °C	
			плавлення	кипіння
Метан	CH ₄	Газ	-189,5	-161,4
Етан	C ₂ H ₆	*	-183,0	-88,6
Пропан	C ₃ H ₈	*	-189,9	-42,4
Бутан	C ₄ H ₁₀	*	-138,3	-0,5
Ізобутан	C ₄ H ₁₀	*	-159,4	-11,7
Пентан	C ₅ H ₁₂	Рідина	-129,7	+36,0
Гексан	C ₆ H ₁₄	*	-94,3	+68,7
Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	Тверда речовина	+18,2	+270,0

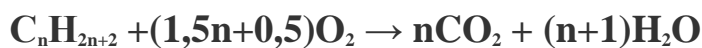
Метан є хімічно малоефективною речовиною, це зумовлене енергією зв'язків у молекулі та її будовою. Він хімічно стійкий по відношенню до лугів, кислот та розчинів окисників.

Для метану характерні наступні хімічні властивості:

1. Реакція повного окислення (горіння):



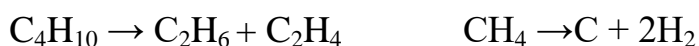
Підпалені на повітрі або в кисні алкани горять (реакція повного окиснення) з утворенням вуглекислого газу, води і виділенням теплоти. У разі нестачі кисню окиснення відбувається не повністю, частина речовини розкладається і утворюється вуглець у вигляді сажі та карбон(II) оксид. У разі нестачі кисню замість вуглекислого газу виходить чадний газ чи вугілля (залежно від концентрації кисню). У загальному вигляді реакцію горіння алканів можна записати наступним чином:



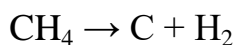
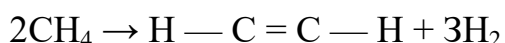
Каталітичне окиснення. Так як при високих температурах реакцію окиснення важко контролювати, часто застосовують невеликі температури 120-150 °С і каталізатори. Як окисники використовуються молекулярний кисень $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ тощо. Продуктами каталітичного окиснення є спирти, альдегіди, кетони, карбонові кислоти.

2. Крекінг – процес термічного розкладання вуглеводнів, в основі якого лежать реакції розщеплення вуглецевого ланцюга великих молекул з утворенням сполук з більш коротким ланцюгом. Крекінг алканів є основою переробки нафти з метою отримання продуктів меншої молекулярної маси, які використовуються як моторне паливо, мастильні масела і т.п., а також сировини для хімічної і нафтохімічної промисловості. Для здійснення цього процесу використовуються два способи: термічний крекінг (при нагріванні без доступу повітря) і каталітичний крекінг (більше помірне нагрівання у присутності каталізатора).

Термічний крекінг. При температурі 450–700°C алкани розпадаються за рахунок розриву зв'язків С–С (міцніші зв'язки С–Н при такій температурі зберігаються) і утворюються алкани і алкени з меншим числом вуглецевих атомів

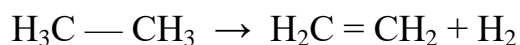


Перетворення алканів при вищих температурах (700–1000°C) називається піролізом. В даних умовах спостерігається глибший розклад алканів з утворенням ацетиленових вуглеводнів, сажі або коксу, водню тощо.



Каталітичний крекінг проводять у присутності каталізаторів (зазвичай оксидів алюмінію і кремнію) при температурі 450°C і атмосферному тиску. При цьому поряд з розривом молекул відбуваються реакції ізомеризації і дегідрування. Дегідрування алканів застосовується для одержання алкенів, алкінів та алкадієнів і відбувається при підвищених температурах з застосуванням каталізаторів (Pt, Ni, Cr_2O_3 тощо).

3. **Реакція дегідрування** (відщеплення водню) має велике промислове значення (виробництво каучуків, пластмас тощо), так само як і дегідрування інших насичених вуглеводнів, в тому числі етану C_2H_6 :

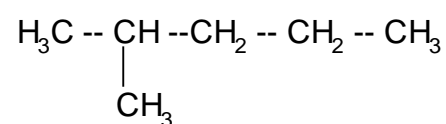
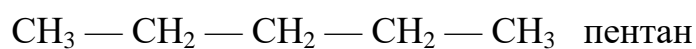


етан

етилен

Етилен широко застосовують у виробництві спирту, синтетичних каучуків та інших речовин.

4. **Реакція ізомеризації.** Вуглеводні нормальної будови під впливом каталізаторів і при нагріванні ізомеризуються й перетворюються у вуглеводні розгалуженої будови:



2-метилбутан

За стандартних умов алкани хімічно інертні, не взаємодіють з кислотами, лугами, окисниками (калій перманганат). Низька реакційна здатність пов'язана з високою енергією зв'язків $C-C$ і $C-H$ (відповідно 348 і 411 кДж/моль). Для розриву цих зв'язків потрібно затратити значну енергію (нагріти, подіяти ультрафіолетовими променями, використати каталізатор).

5. Найхарактернішою реакцією насичених вуглеводнів є реакції заміщення. Так, наприклад, при освітленні метан реагує з хлором (при сильному освітленні може відбутися вибух). $CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$

За нагрівання до 250–400°C або під дією ультрафіолетового випромінювання алкани вступають у реакцію заміщення з галогенами (крім йоду). Атоми Гідрогену поступово заміщуються на атоми галогену. На практиці утворюється суміш моно-, ди-, три- та тетразаміщених сполук, які називають галогенопохідними насичених вуглеводнів. Ця реакція галогенування метану відбувається за таким механізмом.

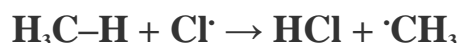
Перша стадія: ініціювання реакції. Під дією енергії світла молекула хлору розщеплюється на атоми, що мають по одному неспареному електрону:



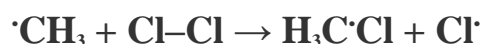
Ці частинки, які називають радикалами, дуже реакційноздатні.

Розривання ковалентного зв'язку, внаслідок якого утворюються частинки з неспареними електронами, називають гомолітичним.

Друга стадія: розвиток ланцюга. Унаслідок зіткнення з молекулою метану радикал відщеплює від неї атоми Гідрогену, при цьому утворюється новий радикал:

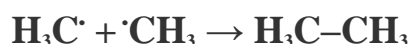
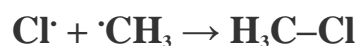


Стикаючись з молекулою хлору, вуглеводневий радикал відщеплює від неї атом Хлору й утворює молекулу хлорометану. Натомість утворюється радикал хлору:



Останній може атакувати молекулу хлорометану, внаслідок чого відбувається заміщення ще одного атома Гідрогену. Ланцюг може розвиватися далі:

Третя стадія: обривання ланцюга. У разі зіткнення радикалів між собою настає обривання ланцюга:



Реакція припиняється, коли зникають усі вільні радикали.

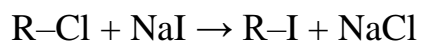
Активність радикала метилу також пояснюється наявністю неспареного електрона (невикористаної валентності). Частинки, які мають неспарені електрони і в зв'язку з цим невикористані валентності, називаються вільними радикалами.

Реакції, в результаті яких відбувається ланцюг послідовних перетворень, називаються ланцюговими реакціями.

Бромовання. Бромовання алканів відрізняється від хлорування вищою стереоселективністю через більшу різницю в швидкостях бромовання третинних, вторинних і первинних атомів Карбону при низьких температурах. При бромованні пропану утворюється 3% 1-бромпропану і 97% 2-бромпропану, а при бромованні 2-метилпропану утворюється 1% 1-бromo-2-метилпропану і 99% 2-бromo-2-метилпропану.

Йодування. Йод є найменш активний галоген, тому процес йодування є найповільніший і потребує додаткової енергії. Тому на практиці застосовують спеціальні йодуючі агенти, наприклад трет-бутоксийодид $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{OI}$.

Використовують також реакцію Х. Фенкельштайна (реакція обміну хлору з хлоралкану на йод під дією йодиду натрію NaI в ацетоновому розчині)



2. Нітрування (реакція М. Коновалова)

Алкани реагують з 10% розчином нітратної кислоти або нітроген (IV) оксидом NO₂ в газовій фазі при температурі 140 °С і невеликому тиску з утворенням нітропохідних $RH + HNO_3 \rightarrow R-NO_2 + H_2O$

Нітрування алканів проходить за радикальним механізмом.

У подібну реакцію жидкофазного нітрування вступають всі алкани, однак швидкість реакції і виходи нітросполук низькі. Найкращі результати спостерігаються з алканами, що містять третинні вуглецеві атоми.

Добування

Основні природні джерела алканів – нафта і природний газ. В останньому вміст метану становить близько 98%, решта – етан, пропан, бутан та інші вуглеводні. Для добування алканів нафту піддають переробці.

В промисловості насичені вуглеводні добувають з нафти фракціонуванням або крекінгом. Перегонка дозволяє виділити алкани, які були присутні в нафті, а в процесі крекінгу відбувається розрив С-С зв'язків, в результаті чого утворюються вуглеводні з меншою молекулярною масою, ніж вихідні. Нижчі гомологи алканів часто добувають з природного газу.

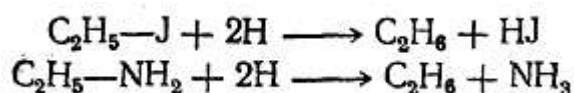
Лабораторні способи можна розділити на три групи:

Утворення алкана із збереженням карбонового скелета вихідної молекули:

гідрування ненасичених вуглеводнів

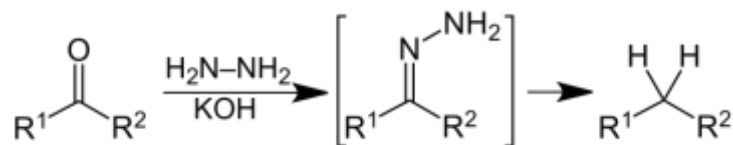


відновлення йодалканов



відновлення карбонільних сполук (реакції Кіжнера-Вольфа і Клемменсена)

Хімічна реакція повного відновлення кетогрупи за допомогою гідрозину і сильної основи (найчастіше - калій гідроксид).

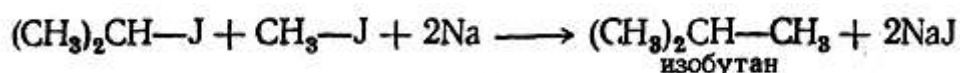
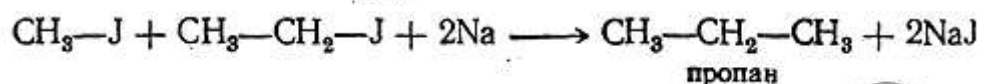
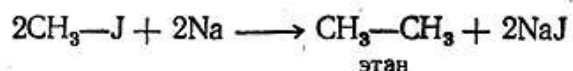


гідроліз (сольволіза) реактивів Гриньяра.

Реакції, що протікають з укороченням вуглецевого ланцюга.

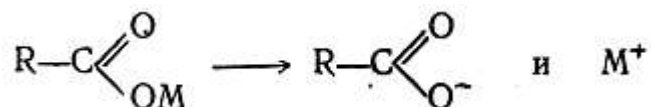
Отримання алканів з більш довгим ланцюгом, ніж вихідні сполуки:

взаємодія галогеналканов з металевим натрієм або калієм (реакція Вюрца)

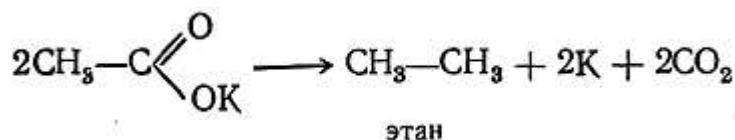


електроліз солей карбонових кислот (реакція Кольбе)

У розчинах солі одноосновних органічних кислот розпадаються на іони:



При електролізі іон металу, втрачаючи на електроді заряд, діє на воду з виділенням водню і утворенням їдкого луку, а іон кислотного залишку, втративши свій заряд, розпадається на радикал $R \cdot$ і двоокис вуглецю CO_2 . Два радикала $R \cdot$ з'єднуються в молекулу $R-R$. Відповідно до сказаного, якщо пропустити електричний струм через розчин оцтовокислого калію відбувається реакція:



Біологічна дія

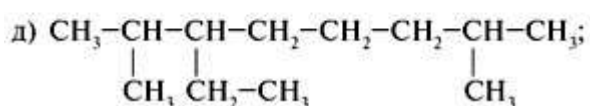
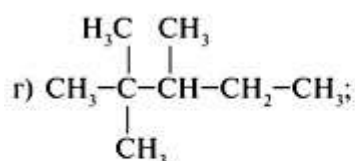
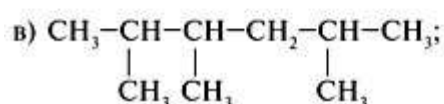
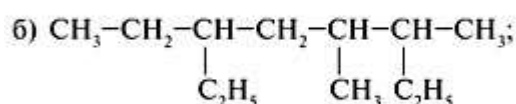
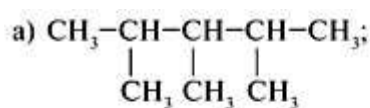
При хронічній дії алкани порушують роботу нервової системи, що проявляється у вигляді безсоння, брадикардії, підвищеної стомлюваності і функціональних неврозів.

Застосування. У вигляді природного газу метан широко використовується як паливо. Метан є вихідним продуктом для добування метанолу, оцтової кислоти, синтетичних каучуків, розчинників, друкарської фарби, гуми, синтетичного бензину та багатьох інших цінних продуктів. Для синтезу багатьох згадуваних продуктів у промисловості використовується так званий синтез-газ, який добувають із метану.

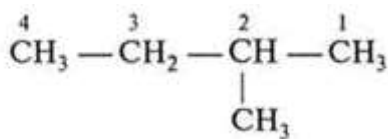
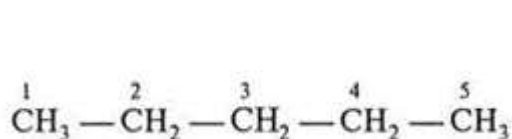
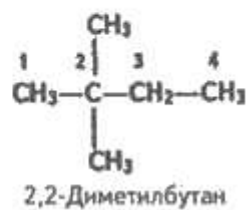
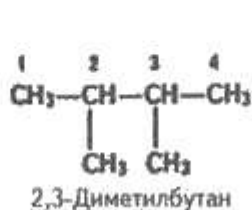
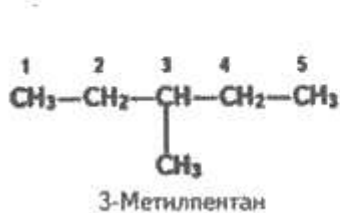
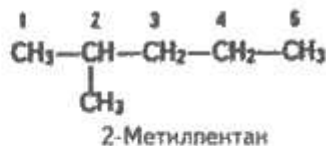
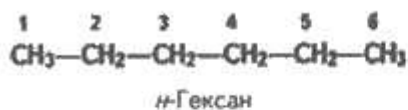
Велике практичне значення мають і хлоропохідні метану. Наприклад, хлорметан – газ, який легко зріджується і при наступному випаровуванні вбирає велику кількість теплоти. Тому він застосовується в холодильних установках. Дихлорметан, трихлорметан (хлороформ) і тетрахлорметан (тетрахлорид вуглецю) – рідини, які використовуються як розчинники. Середні члени гомологічного ряду (C₇–C₁₇) застосовуються як розчинники і паливо для двигунів. Вищі алкани – для виробництва вищих жирних кислот, синтетичних жирів, мастил тощо.

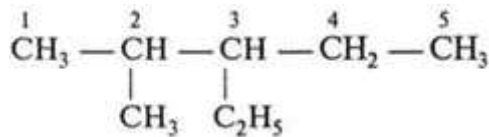
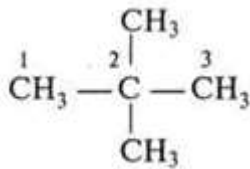
Завдання для самостійного розв'язування

1. Назвати речовини



2. Для поданих речовин записати по 4 ізомери та назвати їх

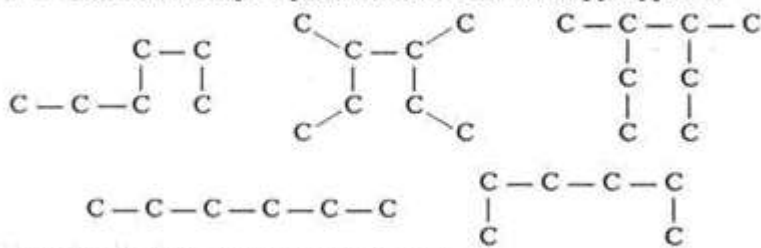




Завдання для самоконтролю

176. На мал. 19 зображені «скелети» ізомерів октану. Складіть їхні структурні формули. Назвіть кілька сполук.

177. Скільки сполук представлено такими структурами:



Складіть їхні молекулярні формули.

Література

1. Бобрівник Л.Д., Руденко В.М., Лезенко Г.О. Органічна хімія. – К.: “Перун”, 2002. – 544 с.
2. Губський Ю.І. Біоорганічна хімія. – Київ – Вінниця: Нова книга, 2007. – 432 с.
3. Домбровський А.В., Найдан В.М. Органічна хімія. – К.: Вища школа, 1992. – 503 с.
4. Петров А.А., Бальян Х.В., Трощенко А.Т. Органическая химия. – М.: Высш. шк., 1981. – 592 с.
5. Перекалин В.В., Зонис С.А. Органическая химия. – М.: “Просвещение”, 1973. – 690 с.