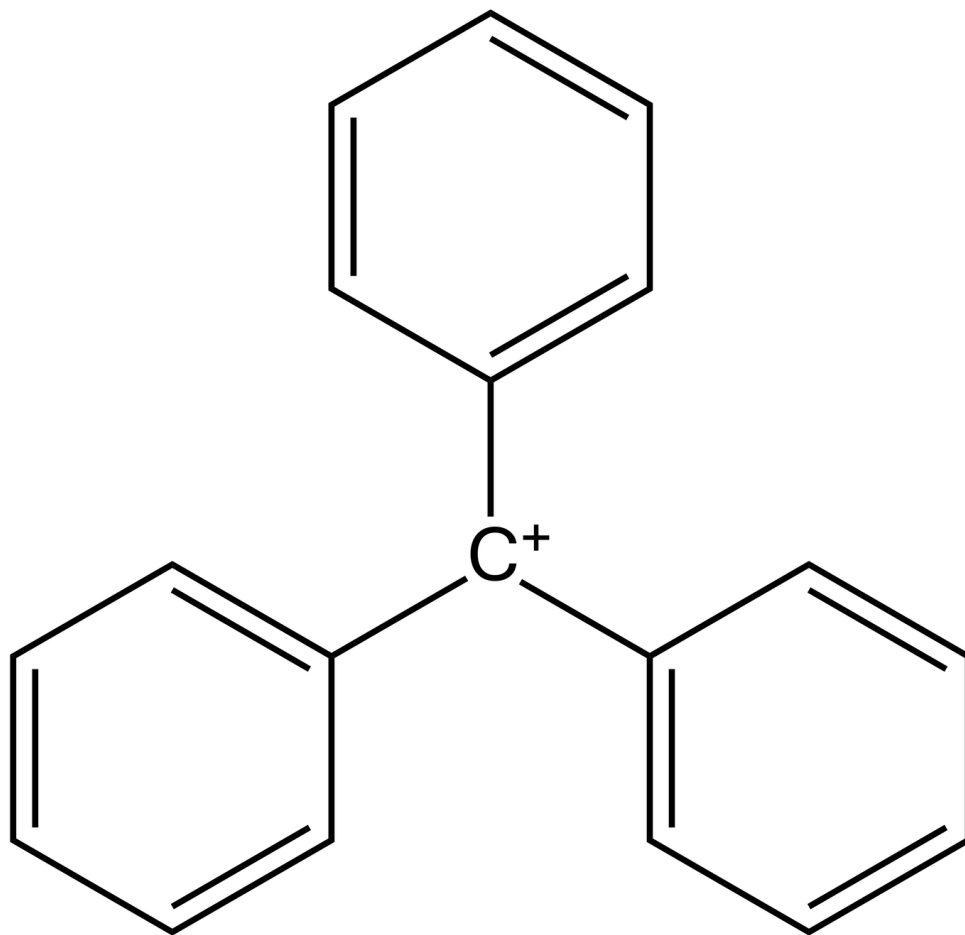
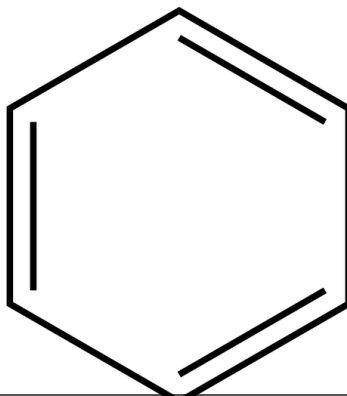


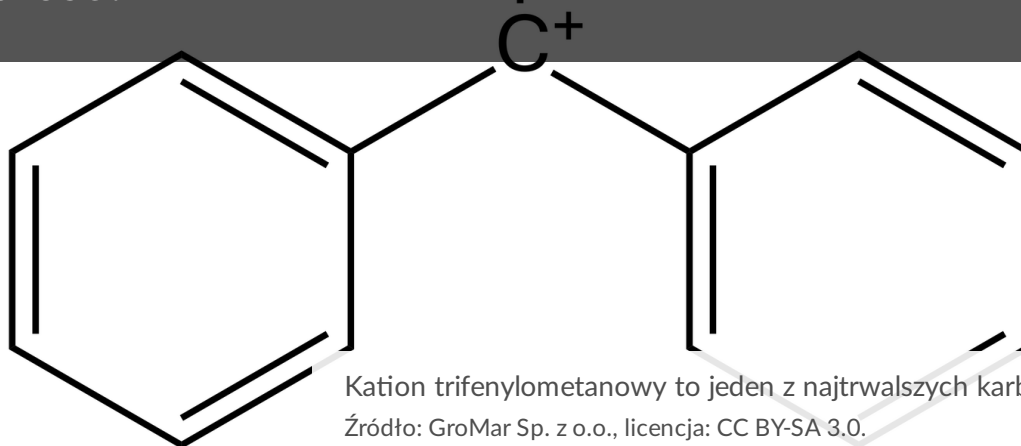


Co to są karbokationy i jakie czynniki wpływają na ich trwałość?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Mapa pojęć](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Co to są karbokationy i jakie czynniki wpływają na ich trwałość?



Kation trifenylometanowy to jeden z najtrwalszych karbokationów.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

O istnieniu karbokationów wiadomo od 1902 r., kiedy to eksperymentalnie dowiedziono, że istnieją karbokationy trwałe. Niemniej jednak ogromna ilość tych indywiduów jest nietrwała, stąd potwierdzenie ich istnienia było w tamtych czasach niezwykle trudne. Dopiero w latach 50. XX w. rozwój technik spektroskopowych umożliwił zbadanie karbokationów o małej trwałości. Dlaczego niektóre karbokationy są trwałe, a inne nie? Zapraszamy do znalezienia odpowiedzi w dzisiejszym temacie.

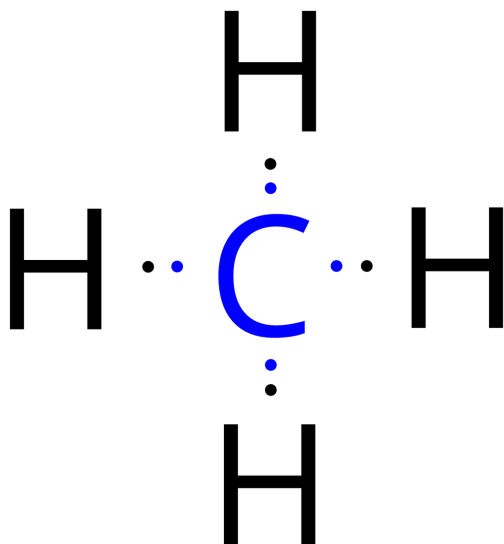
Twoje cele

- Przedstawisz struktury elektronowe karbokationów.
- Zidentyfikujesz karbokation metylowy, karbokation pierwszorzędowy, drugorzędowy i trzeciorzędowy.
- Udowodnisz dlaczego trwałość karbokationów wzrasta wraz ze wzrostem rzędowości.
- Opiszysz, jakie czynniki wpływają na trwałość karbokationów.

Przeczytaj

Czym jest karbokation?

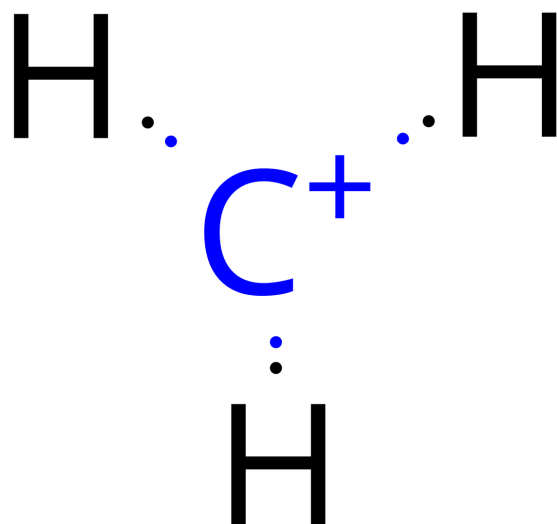
W celu zrozumienia czym jest **karbokation** przyjrzyjmy się cząsteczce metanu, czyli najprostszego alkanu. W cząsteczce metanu atom węgla uwspólnia swoje cztery elektrony walencyjne z czterema elektronami walencyjnymi pochodzącymi od czterech atomów wodoru.



Wzór elektronowy metanu

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Jeżeli cząsteczce metanu zabierzemy jedno z atomów wodoru wraz z parą elektronową powstanie tzw. karbokation metylowy:

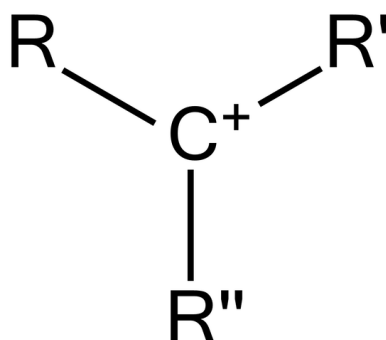


Przykładowy wzór elektronowy karbokationu

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Zwróć uwagę, że formalnie od cząsteczki metanu oderwaliśmy anion wodorkowy H^- . Zatem atom wodoru prócz swojego elektronu zabrał również jeden z elektronów atomu węgla. Atom węgla posiada teraz tylko 3 elektrony walencyjne - pojawia się zatem na nim cząsteczkowy ładunek dodatni, co oznaczamy symbolem „+”. Skoro powstały kation ma zlokalizowany dodatni ładunek na atomie węgla, to nazywamy go karbokationem (łac. *carboneum* - węgiel)

Karbokationy mogą mieć do dodatnio naładowanego atomu węgla dołączone różne podstawniki (R, R', R''), niekoniecznie muszą to być atomy wodoru.

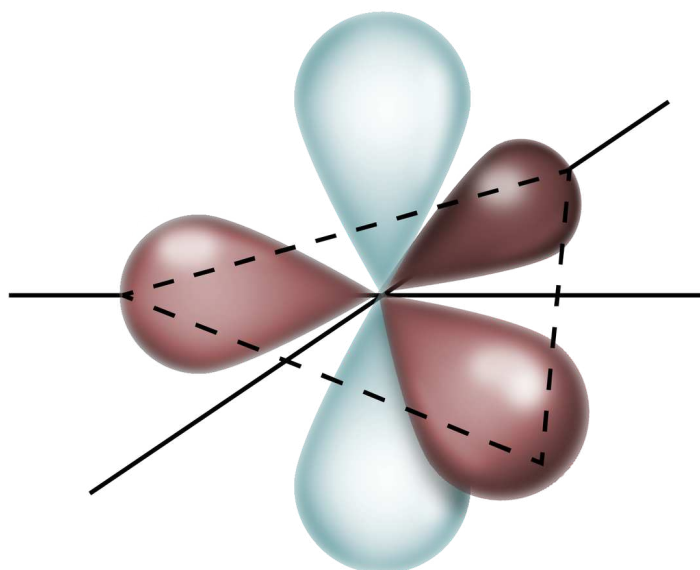


Ogólny wzór strukturalny karbokationu. R, R' i R'' mogą być różnymi lub takimi samymi podstawnikami.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Atomowi węgla w karbokationie można przypisać formalnie hybrydyzację orbitali walencyjnych typu sp^2 (czyli posiada jeden niezhybrydyzowany niezapełniony elektronami orbital typu p). Wiązania z trzema atomami tworzone są przy pomocy trzech orbitali sp^2 i są

skierowane ku narożom trójkąta równobocznego – w związku z czym cała struktura jest płaska. Ponad i pod płaszczyzną znajduje się niezapełniony orbital p .



Atom węgla w karbokationie ma hybrydyzację sp^2 .

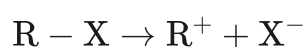
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Rzędowość karbokationów

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Trwałość karbokationów

W celu zbadania trwałości karbokationów można obliczyć ilość energii potrzebnej do utworzenia karbokationu z odpowiedniego halogenku:



gdzie:

- R – grupa alkilowa,
- X – atom halogenu,

- R^+ – karbokation,
- X^- – anion halogenkowy.

Należy pamiętać, że reakcja dysocjacji halogenku nie jest samoistnym procesem, a rozważania są teoretyczne. Omawianie energii dysocjacji potrzebnej do przeprowadzenia tego procesu ma na celu uświadomienie sobie, kiedy karbokation z halogenku powstaje łatwiej (czyli jest trwalszy), a kiedy trudniej (czyli jest mniej trwały). Im mniej energii należy dostarczyć, by przeprowadzić dysocjację halogenku, tym łatwiej ona zachodzi i tym łatwiej jest otrzymać dany karbokation.

entalpia_dysocjacji_[kj/mol] : CH_3Cl

liczba_mieszkańców : 950

entalpia_dysocjacji_[kj/mol] : CH_3CH_2Cl

liczba_mieszkańców : 850

entalpia_dysocjacji_[kj/mol] : $(CH_3)_2CHCl$

liczba_mieszkańców : 750

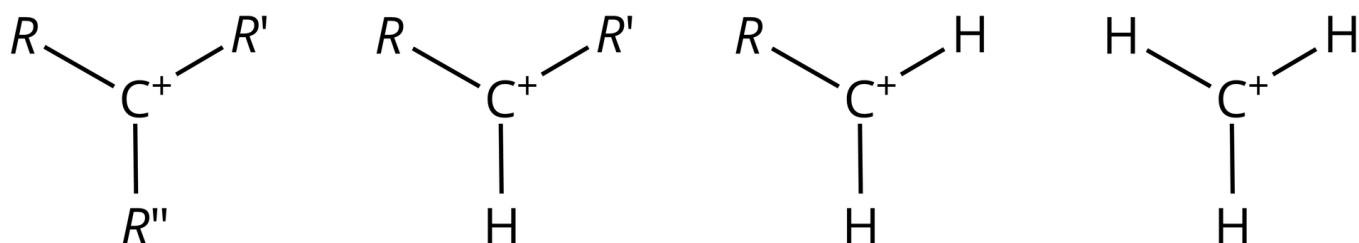
entalpia_dysocjacji_[kj/mol] : $(CH_3)_3CCl$

liczba_mieszkańców : 700

Zależność entalpii dysocjacji od stopnia podstawienia dla reakcji dysocjacji w fazie gazowej odpowiednich chlorków alkilowych z utworzeniem karbokationów; dane wyliczone teoretycznie.

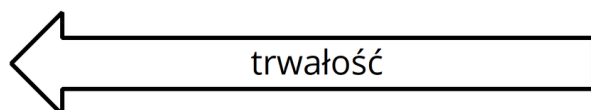
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Analiza wykresu pozwala wnioskować, że im bardziej podstawiony halogenek alkilowy, tym mniej energii potrzeba do jego dysocjacji, a więc dysocjuje łatwiej. W związku z tym wyżej rzędowe karbokationy powstają łatwiej, czyli charakteryzują się większą trwałością.



trzeciorzędowy (3°) > drugorzędowy (2°) > pierwszorzędowy (1°) > metylowy

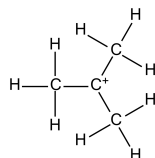
bardziej trwałe



mniej trwałe

Schemat trwałości karbokationów

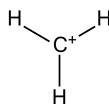
Trwałe karbokationy



Karbokation tert-butyłowy (2-metylopropan-2-olowy)

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Nietrwałe karbokationy



Kation metylowy

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

karbokation

(łac. *carbo* „węgiel”, gr. *katiōn* „idący w dół”) jon karboniowy, kation organiczny, w którym dodatni ładunek wywołany deficytem elektronów jest zlokalizowany na atomie węgla

Bibliografia

Litwin M., Styka-Włazło Sz., Szymońska J., *To jest chemia 2*, Warszawa 2016.

McMurry J., *Chemia organiczna*, t. 1, tłum. Henryk Koroniak i in., Warszawa 2018.

Mapa pojęć

Polecenie 1

Czy wiesz od czego zależy trwałość karbokationów? Które karbokationy są trwałe, a które charakteryzują się mniejszą trwałością? Przeanalizuj mapę myśli, a następnie wykonaj ćwiczenia znajdujące się poniżej.

- Czynniki wpływające na trwałość karbokationów
 - Hiperkoniugacja
 - Im wyżej rzędowy karbokation, tym trwalszy np. $(\text{CH}_3)_3\text{C}^+$ jest trwalszy niż CH_3C^+
 - Obecność heteroatomu dysponującego wolnymi parami elektronowymi
 - Kationy acyliowe np. karbokation acetylowy
 - Efekt rezonansowy
 - Kation alilowy – 2 formy rezonansowe
 - Kation benzyłowy – 3 formy rezonansowe
 - Efekty elektronowe podstawników
 - Efekt indukcyjny
 - im więcej grup alkilowych w sąsiedztwie atomu węgla z dodatnim ładunkiem, tym karbokation jest trwalszy np. $(\text{R})_3\text{C}^+$ jest trwalszy niż $(\text{R})_2\text{CH}^+$
 - Efekt pola
 - Oddziaływanie polarnych grup funkcyjnych przez przestrzeń np. wiązania wodorowe
 - Przykłady karbokationów
 - Trwałe
 - acetylowy CH_3CO^+
 - *tert*-butylowy $(\text{CH}_3)_3\text{C}^+$
 - Nietrwałe
 - metylowy CH_3^+
 - winylowy $\text{CH}_2=\text{CH}^+$
 - fenyłowy C_6H_5^+

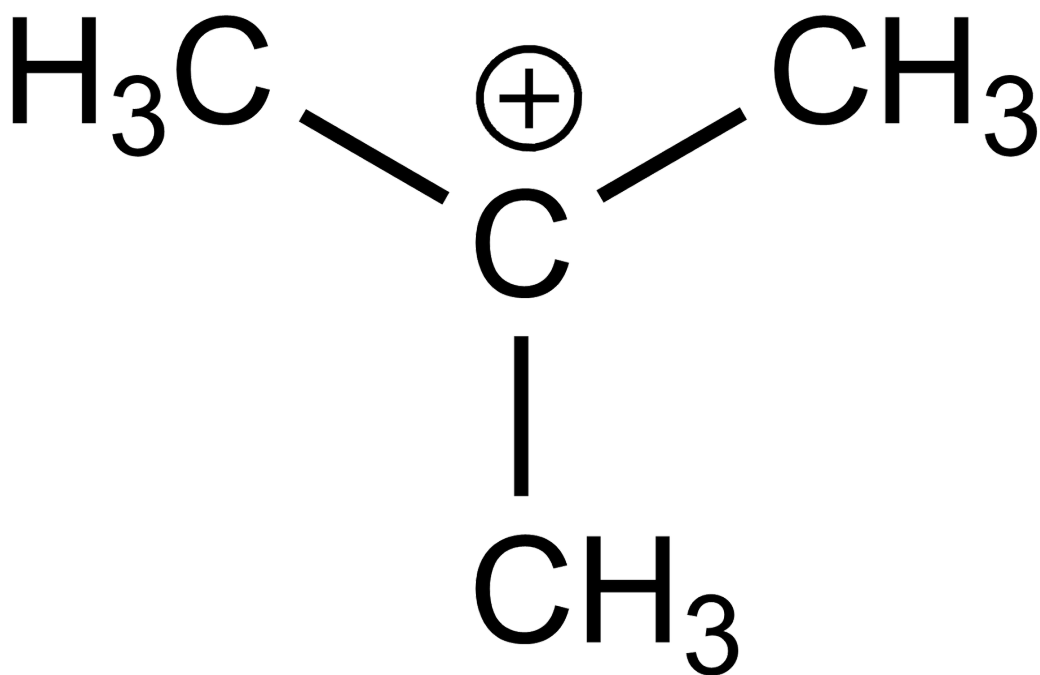
Mapa pojęć pt. *Czynniki wpływające na trwałość karbokationów*

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Od czego zależy trwałość karbokationów.

Ćwiczenie 1

Poniższa struktura przedstawia pewien karbokation trzeciorzędowy. Określ czy jest on trwalszy od jego odpowiednika drugorzędowego tj. karbokationu izopropylowego? Napisz, z jakiej reguły to wynika.



Karbokation *tert*-butylowy

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 2

W ilu formach rezonansowych występuje karbokation benzyłowy? Zaznacz prawidłową odpowiedź.

☐ 2

☐ 4

☐ 1

☐ 3

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Określ rzędowność przedstawionych poniżej karbokationów, wybierając wyrażenie wybrane z poniższych.

a)

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

b)

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

c)

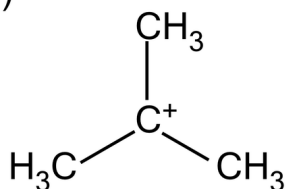
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 2

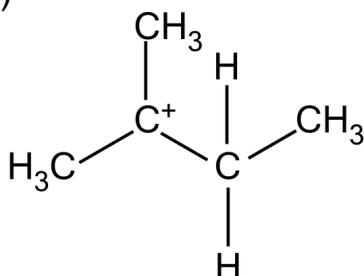


Trzy izomeryczne karbokationy posiadają wzór sumaryczny $C_4H_9^+$. Wybierz prawidłowe wzory półstrukturalne, przyporządkowując karbokationy do ich rzędowości.

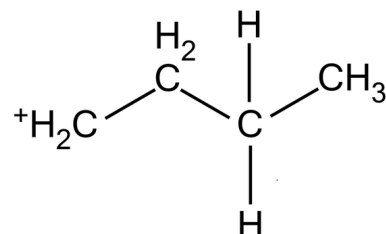
a)



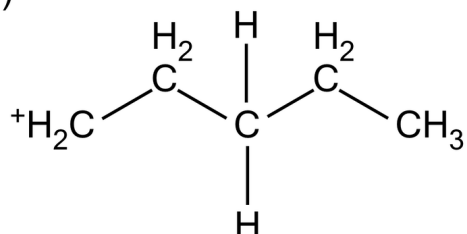
b)



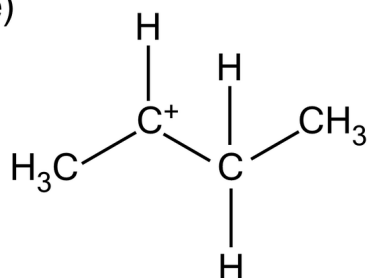
c)



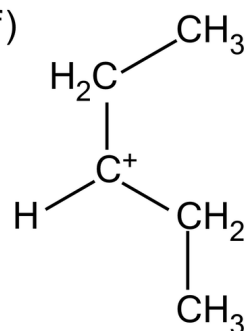
d)



e)



f)



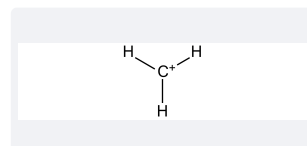
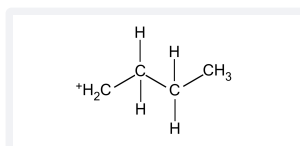
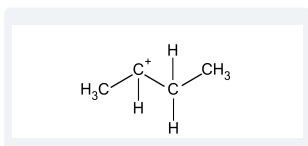
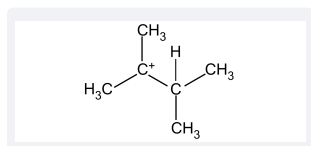
Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

	Karbokation pierwszorzędowy	Karbokation drugorzędowy	Karbokation trzeciorzędowy
a)	☐	☐	☐
b)	☐	☐	☐
c)	☐	☐	☐
d)	☐	☐	☐
e)	☐	☐	☐
f)	☐	☐	☐

Ćwiczenie 3



Ułóż poniżej przedstawione karbokationy w kolejności od najmniej do najbardziej trwałego.



Ćwiczenie 4



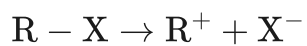
Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wstaw "P", jeśli zdanie jest prawdziwe lub "F", jeśli jest fałszywe.

Trwałość karbokationów rośnie wraz ze wzrostem rzędowości atomu węgla, na którym pojawia się ładunek ujemny., Trwałość karbokationów rośnie wraz ze wzrostem rzędowości atomu węgla, na którym pojawia się ładunek dodatni., Karbokationy czwartorzędowe są najtrwalsze., Karbokation metylowy to najmniej trwały przedstawiciel karbokationów alkilowych., P, P, F, F

Zdanie	P/F
Trwałość karbokationów rośnie wraz ze wzrostem rzędowości atomu węgla, na którym pojawia się ładunek ujemny.	
Trwałość karbokationów rośnie wraz ze wzrostem rzędowości atomu węgla, na którym pojawia się ładunek dodatni.	
Karbokationy czwartorzędowe są najtrwalsze.	
Karbokation metylowy to najmniej trwały przedstawiciel karbokationów alkilowych.	

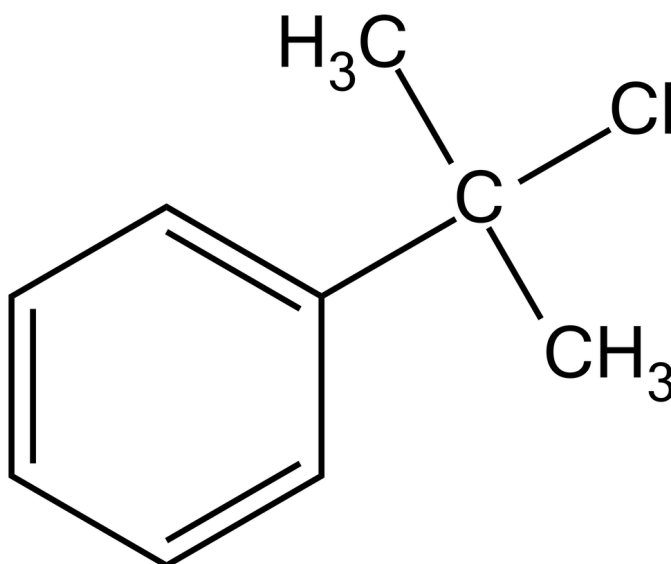


1) Narysuj wzory półstrukturalne karbokationów, które powstają w wyniku dysocjacji poniżej przedstawionych struktur chlorków, zgodnie z poniższym schematem równania reakcji.



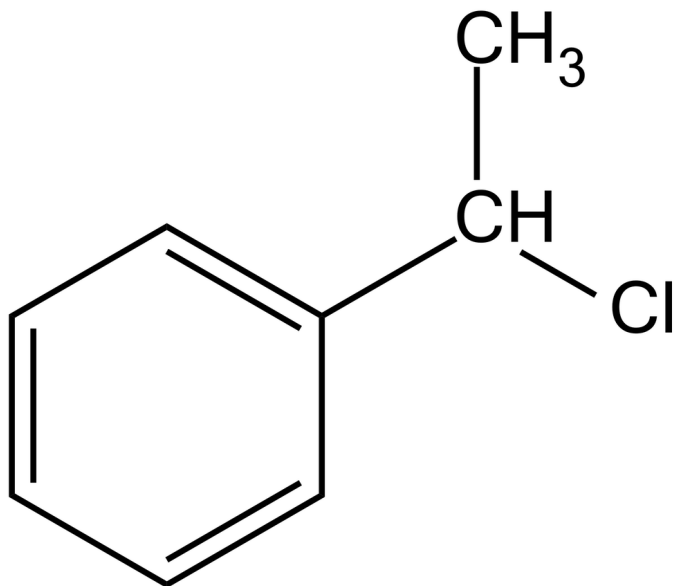
Pamiętaj, że proces ten nie zachodzi samoistnie, a jest teoretycznym rozważaniem pozwalającym zrozumieć mechanizm powstawania karbokationów.

a)



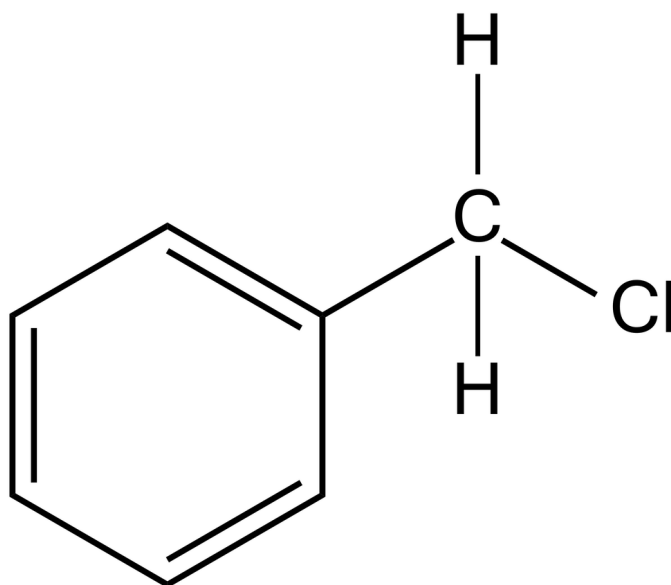
Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

b)



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

c)



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

2) Wybierz prawidłowy wzór półstrukturalny chlorku oraz określenie właściwie charakteryzujące powstający karbokation.

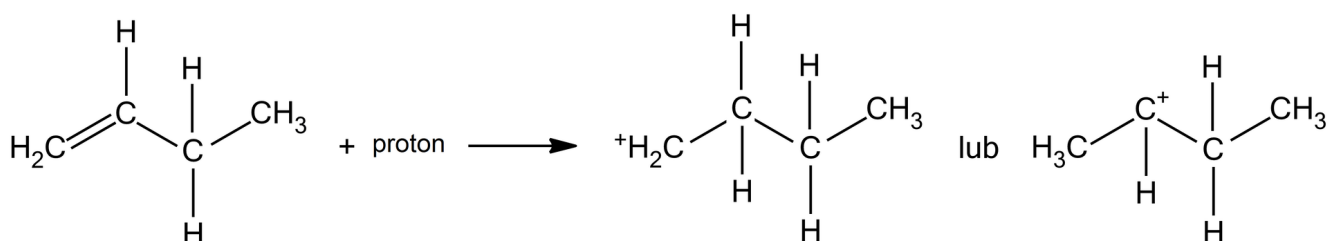
Najniższa energia jest potrzebna do zajścia reakcji dysocjacji chlorku o wzorze półstrukturalnym: a) b) c), co oznacza że powstały karbokation charakteryzuje się największąnajmniejszą trwałością.

Ćwiczenie 6



Addycja elektrofilowa bromowodoru do wiązania podwójnego zachodzi w dwóch etapach.

W etapie pierwszym rozerwaniu ulega wiązanie podwójne przez proton i powstaje karbokation. W przypadku but-1-enu możliwe jest utworzenie dwóch karbokationów:

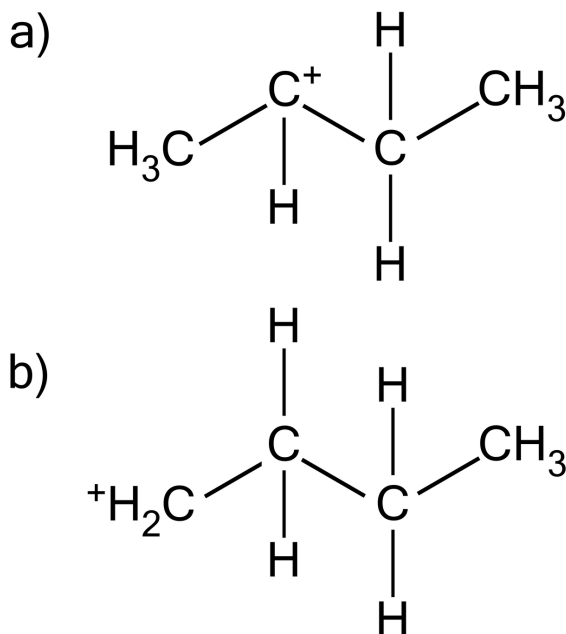


Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

W etapie drugim anion bromkowy przyłącza się do karbokationu i powstaje produkt.

Uzupełnij poniższe zdania korzystając z podanych określeń i wzorów.

łatwo, trudno, większe, mniejsze, wyższe, niższe



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Trwalszym karbokationem jest , co oznacza że będzie tworzył się .

Zawartość procentowa trwalszego karbokationu jest w porównaniu do zawartości

procentowej mniej trwałego karbokationu. W związku z tym, anion bromkowy przyłączy się do karbokationu o rzędowości.

b)

trudniej

łatwiej

a)

niższej

wyższej

mniejsza

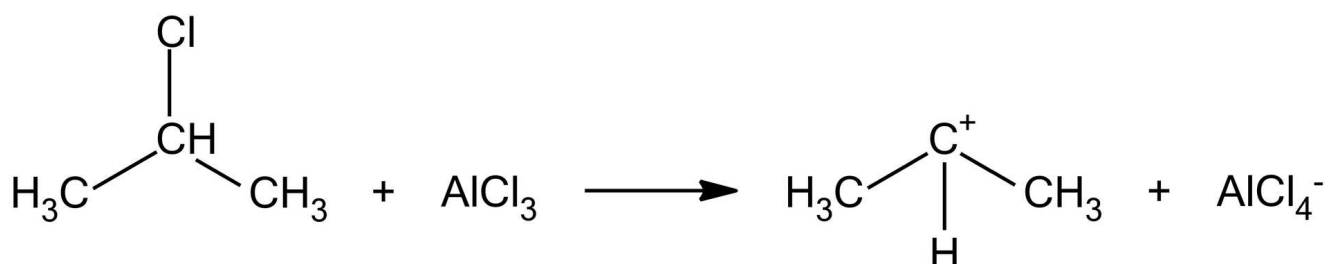
większa

Ćwiczenie 7



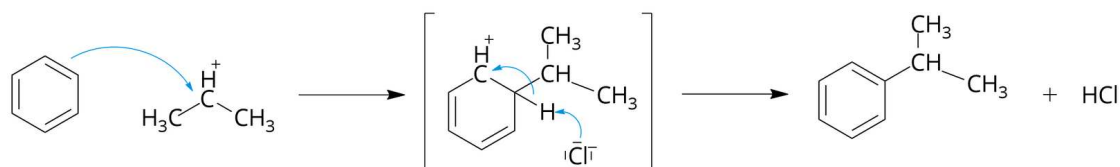
Zapoznaj się z poniższą informacją.

Reakcja alkilowania Friedela-Craftsa jest reakcją aromatycznej substytucji elektrofilowej, w której elektrofilem jest karbokation, R^+ . Chlorek glinu katalizuje reakcję, ułatwiając jonizację halogenku:



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

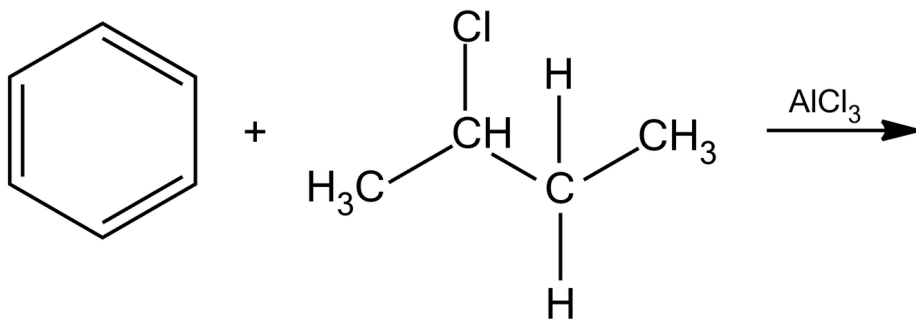
Następnie para elektronowa z pierścienia aromatycznego atakuje karbokation, tworząc wiązanie C-C i dając nowy karbokation pośredni. W kolejnym etapie utrata protonu daje obojętny produkt.



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Na podstawie: John McMurry, *Chemia organiczna tom 1*, tłum. Henryk Koroniak i inni, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2018.

Na podstawie powyższej informacji narysuj wzór karbokationu wytworzonego z chlorku będącego substratem w poniższej reakcji oraz wzór ostatecznego produktu organicznego:



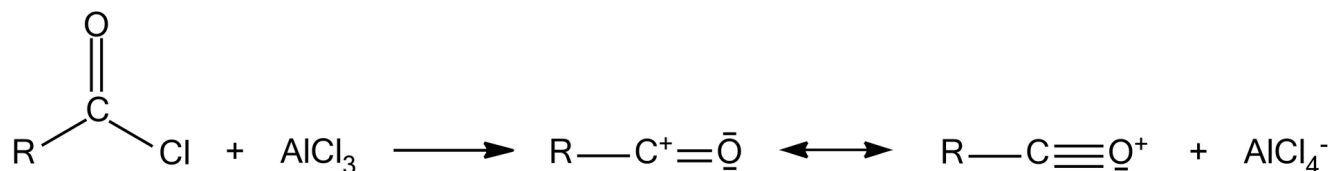
Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 8



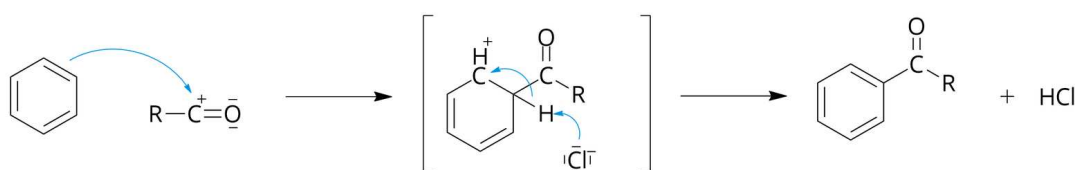
Zapoznaj się z poniższą informacją.

W reakcji acylowania Friedela–Craftsa reaktywnym elektrofilem jest kation acyliowy stabilizowany rezonansem, wytworzony w reakcji między chlorkiem acetylu i chlorkiem glinu:



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

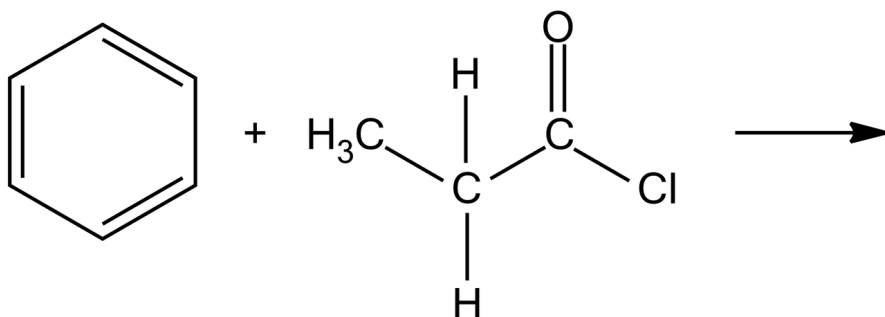
Następnie para elektronowa z pierścienia aromatycznego atakuje kation acyliowy, tworząc wiązanie C-C i dając nowy karbokation pośredni. W kolejnym etapie utrata protonu daje obojętny produkt.



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Na podstawie: John McMurry, *Chemia organiczna tom 1*, tłum. Henryk Koroniak i inni, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2018.

Na podstawie powyższej informacji narysuj wzór kationu acyliowego wytworzonego z chlorku kwasowego będącego substratem w poniższej reakcji oraz wzór ostatecznego produktu organicznego:



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Amanda Gałkowska, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Co to są karbokationy i jakie czynniki wpływają na ich trwałość?

Grupa docelowa: III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

XII. Wstęp do chemii organicznej. Uczeń:

9) klasyfikuje reakcje związków organicznych ze względu na typ procesu (addycja, eliminacja, substytucja, polimeryzacja, kondensacja) i mechanizm reakcji (elektrofilowy, nukleofilowy, rodnikowy); wyjaśnia mechanizmy reakcji; pisze odpowiednie równania reakcji.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne

Uczeń:

- opisuje strukturę karbokationów;
- identyfikuje karbokation metylowy, karbokation pierwszorzędowy, drugorzędowy i trzeciorzędowy;
- udowadnia, dlaczego trwałość karbokationów wzrasta wraz ze wzrostem rzędowości.
- omawia czynniki wpływające na trwałość karbokationów.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- burza mózgów;
- dyskusja dydaktyczna;
- ćwiczenia uczniowskie;
- analiza materiałów źródłowych;
- modelowanie;
- mapa pojęciowa;
- technika zdań podsumowujących.

Formy pracy:

- praca zbiorowa;
- praca w grupach;
- praca indywidualna.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i z dostępem do Internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- rzutnik multimedialny;
- modele kulkowo-pręcikowe;
- tablica interaktywna/tablica i kreda, pisak.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja: nauczyciel wykorzystuje wprowadzenie zawarte w e-materiale.
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół karbokationu. Uczniowie rysują mapę pojęć (w mapie powinny pojawić się takie terminy jak: kation, karbokation, rzędowość, trwałość. Inne pojęcia pojawiające się podczas lekcji powinny być dopełnieniem mapy).
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują w portfolio.

Faza realizacyjna:

1. Uczniowie zapoznają się z treściami w e-materiale i poszukują odpowiedzi na pytanie, czym są karbokationy. Po wyznaczonym czasie chętni uczniowie wyjaśniają pojęcie na forum klasy, a pozostali uczniowie weryfikują poprawność merytoryczną wypowiedzi uczniów. Nauczyciel, w razie potrzeby, wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.
2. Nauczyciel rozdaje uczniom modele kulkowo-pręcikowe lub plastelinę i wykałaczki. Uczniowie budują modele chemiczne: karbokationu metylowego, wybranych

karbokationów pierwszorzędowych, drugorzędowych i trzeciorzędowych, dbając o zachowanie odpowiedniego kształtu. Nauczyciel monitoruje pracę uczniów i wspiera ich. Uczniowie na sygnał nauczyciela podnoszą do góry karbokation o największej trwałości, najmniejszej trwałości, karbokation drugi w kolejności co do trwałości itd.

3. Nauczyciel dzieli losowo uczniów na cztery grupy i odsyła ich do multimedium – mapy pojęciowej. Zadaniem każdej grupy jest zapoznanie się jednym z czterech czynników wpływających na trwałość karbokationów:

- I grupa – hiperkoniugacja;
- II grupa – efekt indukcyjny;
- III grupa – efekt rezonansowy;
- IV grupa – obecność heteroatomu dysponującego wolnymi parami elektronowymi.

Po zapoznaniu się przedstawiciele poszczególnych grup relacjonują treści dotyczące poszczególnych czynników. Nauczyciel weryfikuje poprawność merytoryczną wypowiedzi uczniów i w razie potrzeby wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.

4. Uczniowie w tych samych grupach wykonują zawarte polecenia w multimedium.

5. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę wykonując ćwiczenia zawarte w e-materiale – sprawdź się.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów. Pyta:

- Czy karbokationy posiadają ładunek dodatni na atomie azotu?
- Czy karbokationy posiadają ładunek dodatni na atomie węgla?
- Czy karbokation posiadający atom węgla z ładunkiem dodatnim połączony z trzema innymi atomami węgla jest drugorzędowy?
- Czy karbokation posiadający atom węgla z ładunkiem dodatnim połączony z trzema innymi atomami węgla jest trzeciorzędowy?
- Czy wraz ze wzrostem rzędowości karbokationów rośnie ich trwałość?

2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie zamieszczają w swoim portfolio:

- Przypomniałem/łam sobie, że...
- Co było dla mnie łatwe...
- Czego się nauczyłam/nauczyłem...
- Co sprawiało mi trudność...

Praca domowa:

Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia w e-materiale – sprawdź się.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Multimedium może być wykorzystane przez ucznia w fazie przygotowania do lekcji lub przygotowywania się do pracy kontrolnej.

Materiały pomocnicze:

1. Polecenie podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Czy karbokationy posiadają ładunek dodatni na atomie azotu?
- Czy karbokationy posiadają ładunek dodatni na atomie węgla?
- Czy karbokation posiadający atom węgla z ładunkiem dodatnim połączony z trzema innymi atomami węgla jest drugorzędowy?
- Czy karbokation posiadający atom węgla z ładunkiem dodatnim połączony z trzema innymi atomami węgla jest trzeciorzędowy?
- Czy wraz ze wzrostem rzędowości karbokationów rośnie ich trwałość?

2. Nauczyciel przygotowuje alternatywnie plastelinę i wykałaczki.