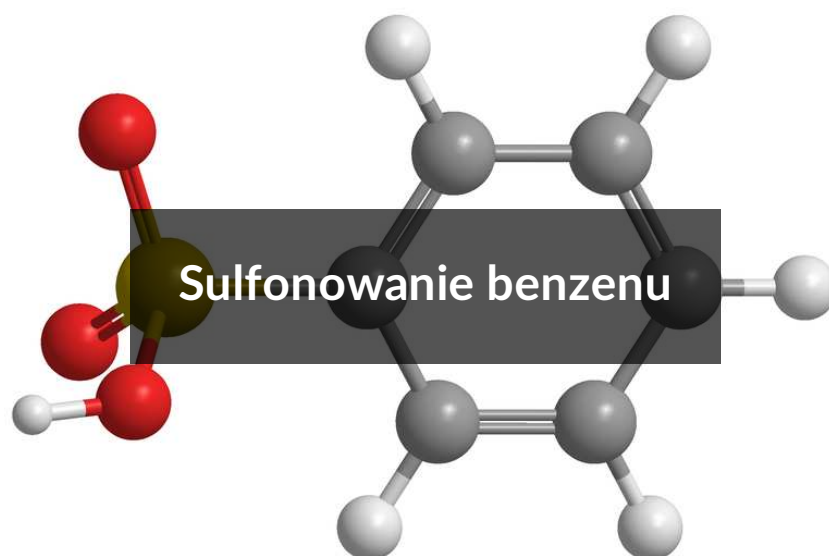


Sulfonowanie benzenu

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium - I](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Wzór cząsteczki kwasu benzenosulfonowego

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

Patrząc na wzór cząsteczki benzenu, można w pierwszej chwili odnieść wrażenie, że jest to cykliczny związek nienasycony. Obecność trzech wiązań podwójnych we wzorze sugerowałaby, że ten związek będzie łatwo ulegał reakcji addycji oraz odbarwiał roztwór bromu i roztwór KMnO_4 w temperaturze pokojowej. Okazuje się jednak, że wcale tak nie jest. Przyłączenie, czyli reakcja addycji, wymaga użycia bardzo drastycznych warunków. Ze względu na wysoce specyficzną budowę cząsteczki benzenu, typową reakcją, której będzie on ulegał, jest reakcja substytucji. Jaki będzie jej mechanizm?

Twoje cele

- Poznasz mechanizm substytucji elektrofilowej w pierścieniu aromatycznym.
- Wskażesz elektrofil w analizowanym równaniu reakcji.
- Zapiszesz równanie reakcji sulfonowania benzenu i nazwiesz powstały produkt.
- Zapiszesz wzór produktu przejściowego reakcji sulfonowania benzenu.

Przeczytaj

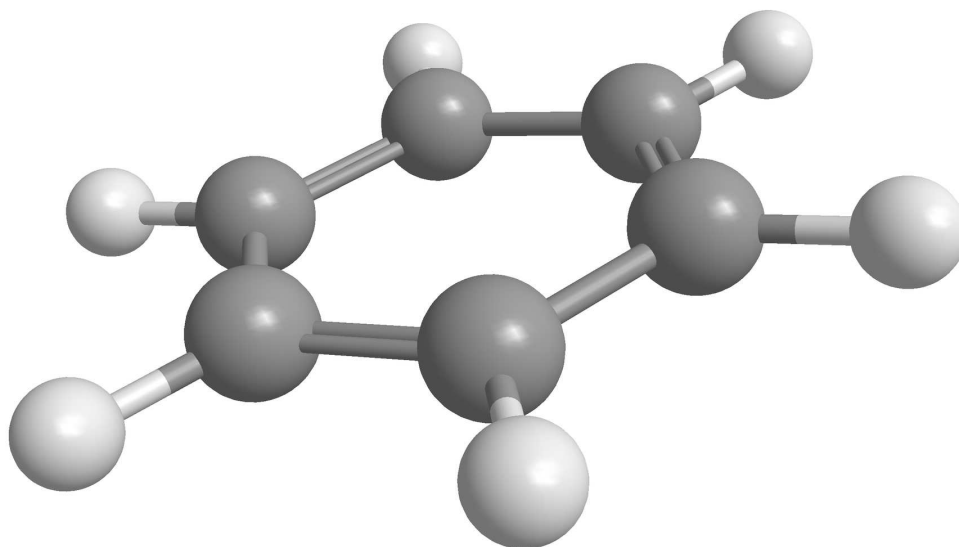
Sulfonowanie benzenu

Ze względu na specyficzną budowę pierścienia aromatycznego, typowym mechanizmem reakcji, którym ulega benzen, jest substytucja elektrofilowa.

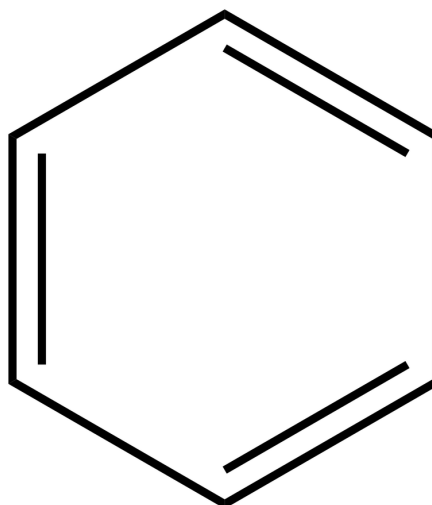
Wysoka trwałość sekstetu elektronów π utrudnia addycję, natomiast duża gęstość elektronowa w pierścieniu powoduje, że cząsteczka staje się atrakcyjna dla elektrofila.

Jedną z wielu reakcji, jakim ulega pierścień benzenowy – zgodnie z mechanizmem substytucji elektrofilowej – jest reakcja sulfonowania. Zachodzi ona w **oleum**, gdzie następuje podstawienie grupy sulfonowej $-\text{SO}_3\text{H}$ w miejsce atomu wodoru.

Aromatyczność benzenu



Model kulkowy benzenu



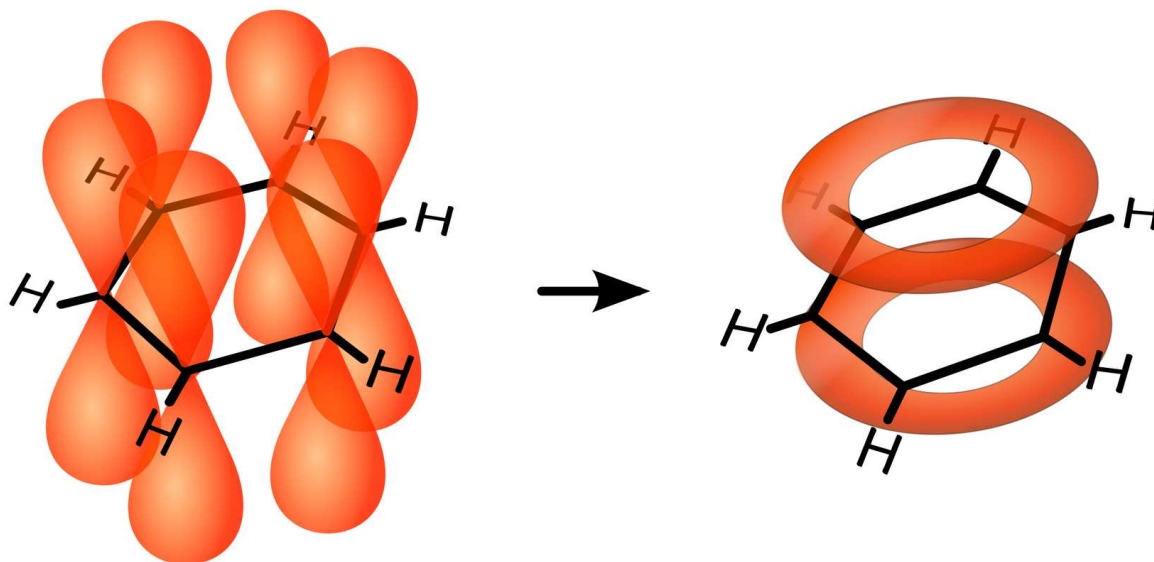
Licencja: CC BY-SA 3.0, Autor: GroMar Sp. z o.o.

Wzór szkieletowy benzenu

Cząsteczka jest aromatyczna, jeśli spełnia trzy warunki:

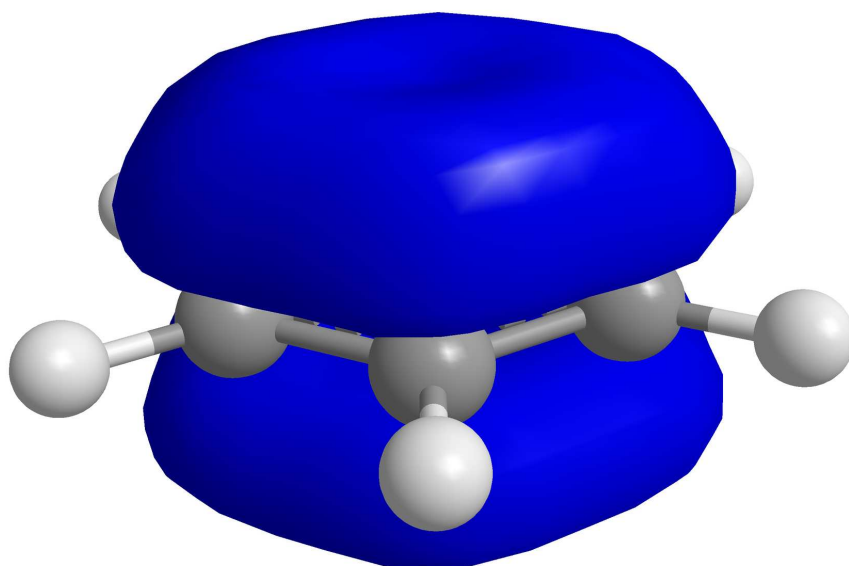
- ma budowę pierścieniową;
- wszystkie atomy tworzące pierścień leżą w jednej płaszczyźnie;
- liczba elektronów π jest oznaczona następującym wzorem: $4n + 2$, gdzie:
 $n = 1, 2, 3, \dots$

Reaktywność benzenu



Nakładanie się sześciu niezhybrydowanych orbitali p_z prowadzi do otrzymania trzech zdelokalizowanych wiązań π .

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



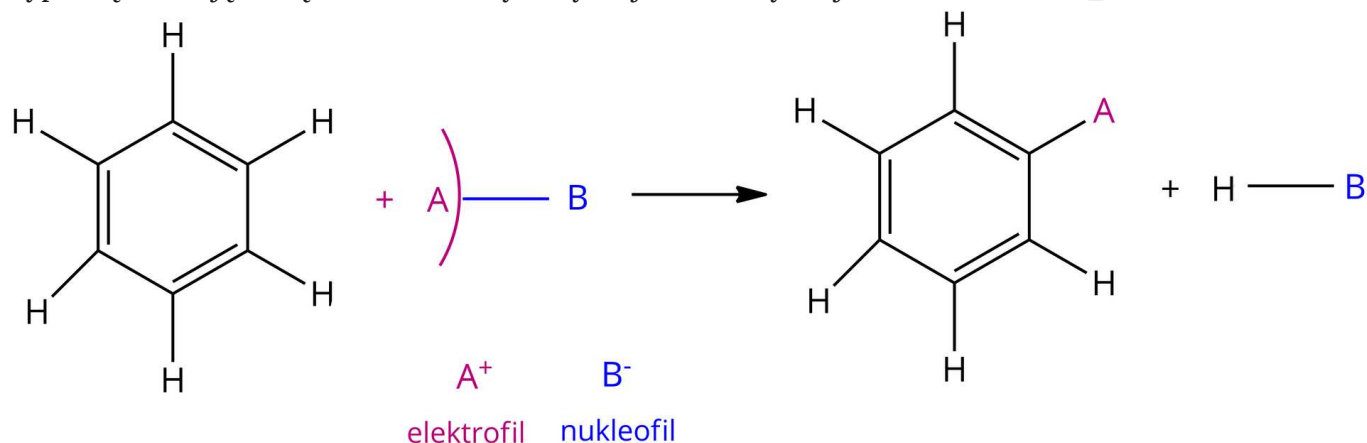
Płaty gęstości elektronicznej wiązań zdelokalizowanych π

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

Duża trwałość układu zdelokalizowanego odpowiada za skłonność związków aromatycznych do ulegania reakcjom substytucji. Z kolei odpowiednio duża gęstość elektroniczna zlokalizowana na pierścieniu aromatycznym wskazuje, że reakcje te będą zachodziły zgodnie z mechanizmem elektrofilowym.

Mechanizm elektrofilowy

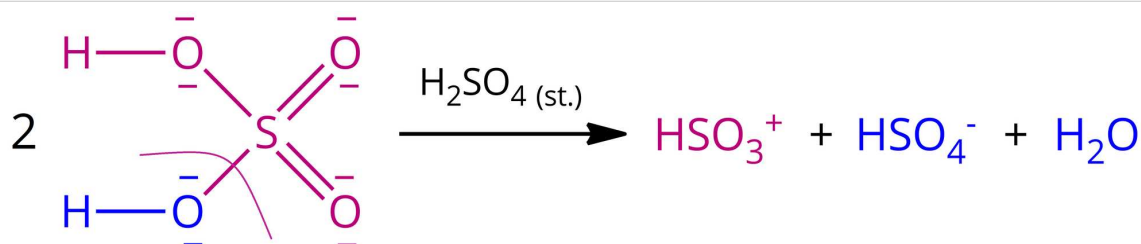
Typową reakcją związków aromatycznych jest substytucja elektrofilowa S_E .



Ogólny zapis reakcji substytucji elektrofilowej z udziałem benzenu

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

Sulfonowanie – etap 1



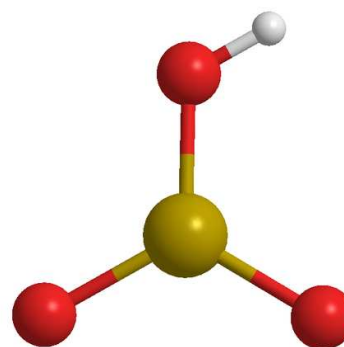
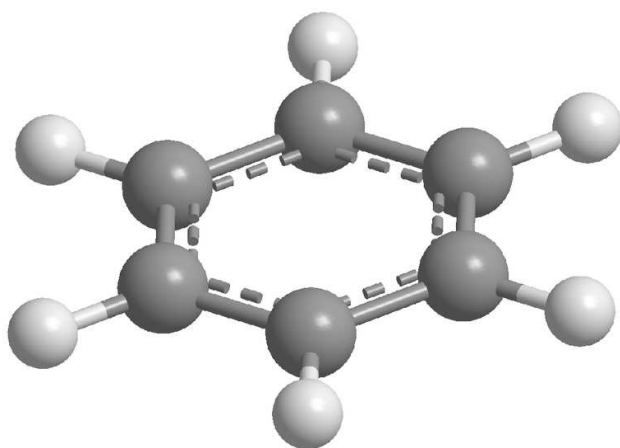
Autor: GroMar Sp. z o. o., Licencja: CC BY-SA 3.0

Pierwszym etapem reakcji sulfonowania jest utworzenie elektrofila – w tej reakcji jest nim kation HSO_3^+ , otrzymany w wyniku heterolizy wiązania kowalencyjnego spolaryzowanego między atomem siarki a atomem tlenu grupy –OH i oderwania jonu OH^- od cząsteczki kwasu siarkowego(VI). Powstają wówczas dwa nukleofile: jon HSO_4^- i cząsteczka wody. Zajście tej reakcji jest możliwe z uwagi na wysokie stężenie kwasu siarkowego(VI).

Przy zastosowaniu oleum, rolę elektrofila może pełnić również SO_3 . Zapobiega to powstawaniu cząsteczek wody i rozcieńczaniu kwasu siarkowego(VI), co w konsekwencji prowadzi do spowolnienia reakcji oraz zachodzenia reakcji odwrotnej, czyli desulfonowania kwasu benzenosulfonowego.

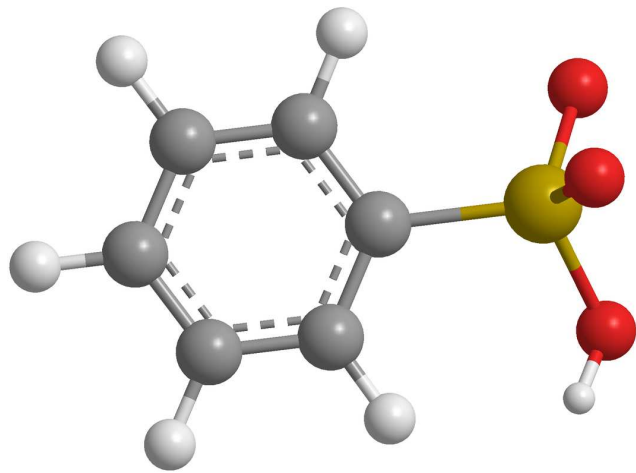
Zarówno SO_3 , jak i HSO_3^+ mogą pełnić rolę elektrofila, ponieważ na atomie siarki zgromadzony jest cząstkowy ładunek dodatni.

Sulfonowanie – etap 2



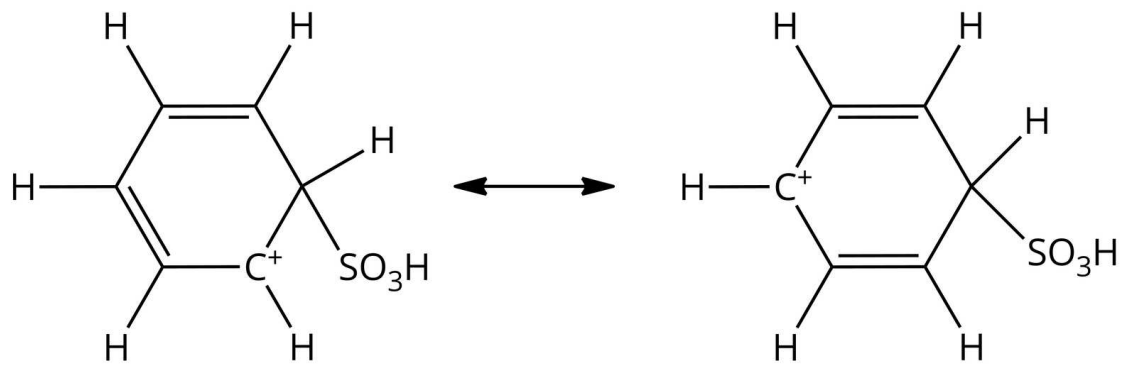
elektrofil

Oddziaływanie elektrofila z chmurą zdelokalizowanych elektronów
benzenu



Utworzenie stanu przejściowego – karbokationu

Stan przejściowy – stabilizowany rezonansem

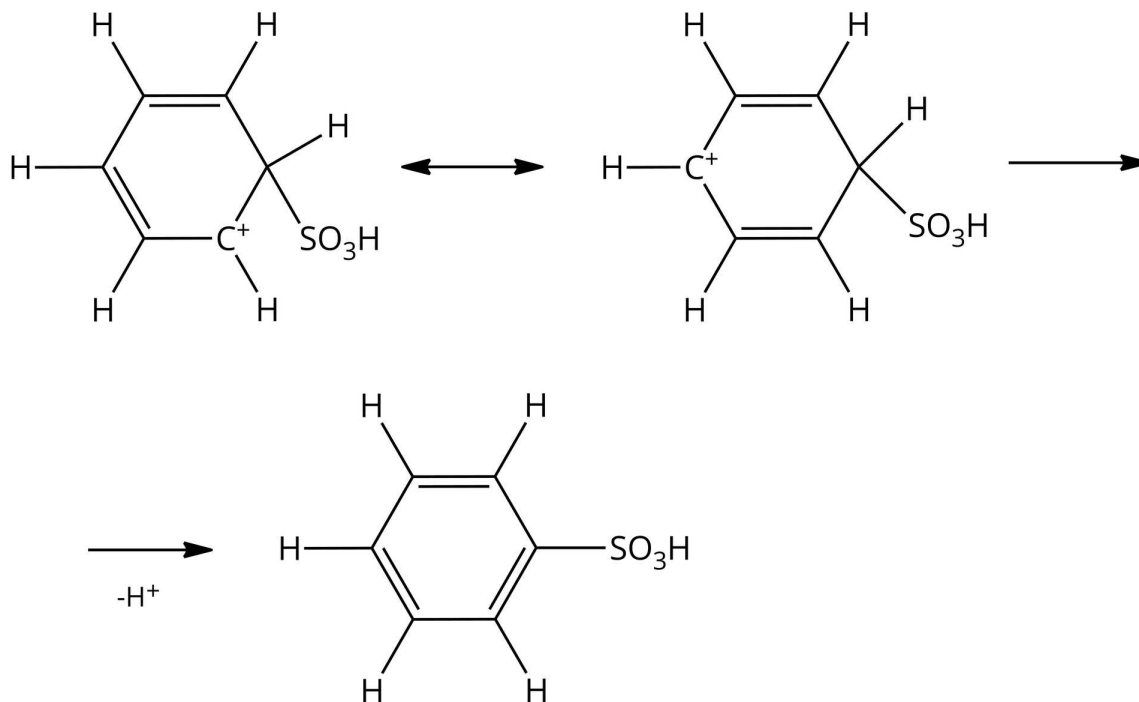


Stan przejściowy karbokationu

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

Sulfonowanie – etap 3

Następuje odłączenie jonu H^+ (protonu) i odtworzenie trwałego układu aromatycznego

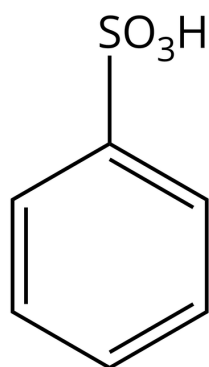


Schemat przedstawia etap 3 sulfonowania – odłączenie jonu H^+ (protonu) i odtworzenie trwałego układu aromatycznego.

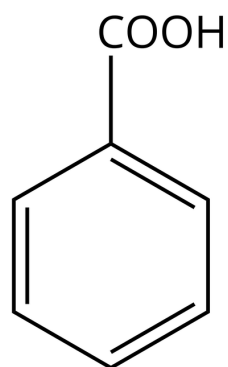
Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Procesowi odłączania jonu wodoru sprzyja obecność powstałych wskutek heterolizy kwasu siarkowego cząsteczek nukleofilu, tj. cząsteczek wody oraz jonów wodorosiarczanowych(VI), które mogą tworzyć z nim kolejno kationy oksoniowe oraz cząsteczki kwasu siarkowego(VI). Kiedy elektrofilem jest cząsteczka tlenku siarki(VI), wtedy oderwanie protonu nie zachodzi – zostaje on przesunięty na jeden z atomów tlenu, pochodzących z tlenku siarki(VI).

Właściwości kwasu benzenosulfonowego



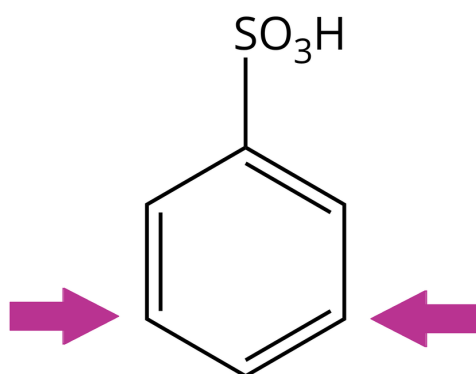
kwaz benzenosulfonowy
 $K_a=2,82 \cdot 10^{-3}$



kwaz benzoesowy
 $K_a=6,31 \cdot 10^{-5}$

Autor: GroMar Sp. z o. o., Licencja: CC BY-SA 3.0

Kwaz benzenosulfonowy jest mocniejszy od kwasu benzoesowego.



Autor: GroMar Sp. z o. o., Licencja: CC BY-SA 3.0

Grupa sulfonowa jest podstawnikiem drugiego rodzaju:

- dezaktywuje pierścień: substytucja zachodzi wolniej w porównaniu do benzenu;
- nowy podstawnik jest kierowany w pozycję meta.

Słownik

elektrofil

cząsteczka lub kation pełniąca rolę kwasu Lewisa, czyli akceptora pary elektronowej
sulfonowanie w pierścieniu aromatycznym

reakcja wymiany atomu wodoru na grupę sulfonową $-\text{SO}_3\text{H}$ w pierścieniu aromatycznym

oleum

roztwór SO_3 w kwasie siarkowym(VI); oleum uzyskuje się zwykle w trakcie produkcji kwasu siarkowego; nasycając stopniowo 95% kwas siarkowy gazowym SO_3 , uzyskuje się najpierw 100% kwas siarkowy, a przy dalszym jego nasycaniu tworzy się oleum

Bibliografia

Dudek-Różycki K., Płotek M., Wichur T., *Węglowodory. Repetytorium i zadania*, Kraków 2020.

Dudek-Różycki K., Płotek M., Wichur T., *Kompendium terminologii oraz nazewnictwa związków organicznych. Poradnik dla nauczycieli i uczniów*, Kraków 2020.

Morrison R. T., Robert N. B., *Chemia organiczna*, Warszawa 2010.

Wirtualne laboratorium – I

Laboratorium 1

Przeprowadź doświadczenie w wirtualnym laboratorium chemicznym. Rozwiąż problem badawczy i zweryfikuj hipotezę. W formularzu zapisz obserwacje i wyniki, a następnie sformułuj wnioski.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D2Q6KfpOX>

Wirtualne laboratorium pt. *Sulfonowanie benzenu*

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

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz prawidłowe stwierdzenie. Może być więcej niż jedna poprawna odpowiedź.

- Nowy podstawnik jest kierowany w pozycję para.
- Grupa sulfonowa jest podstawnikiem drugiego rodzaju.
- Grupa sulfonowa jest podstawnikiem pierwszego rodzaju.
- Grupa sulfonowa dezaktywuje pierścień, powodując, że substytucja kwasu benzoowego zachodzi wolniej w porównaniu do benzenu.

Ćwiczenie 2



Uzupełnij tekst, wybierając prawidłowe słowo.

Ze względu na specyficzną budowę , typowym mechanizmem reakcji, którym ulega benzen, jest . Jedną z wielu reakcji, jakim ulega pierścień benzenowy – zgodnie z mechanizmem substytucji – jest reakcja sulfonowania. Zachodzi ona w oleum, gdzie następuje podstawienie w miejsce atomu .

grupy sulfonowej

tlenu

substytucja nukleofilowa

łańcucha

elektrofilowej

grupy karboksylowej

pierścienia aromatycznego

wodoru

substytucja elektrofilowa

nukleofilowej

Ćwiczenie 3



Wybierz wzory indywidualów chemicznych, które mogą pełnić funkcję kwasów Lewisa (czynników elektrofilowych).



Ćwiczenie 4



Ustal wzór sumaryczny kwasu sulfonowego, wiedząc, że zawiera on 51,6% masowych węgla, 5,4% masowych wodoru i 17,2% masowych siarki, a pozostałą część stanowi zawartość procentowa masowa tlenu. Opisz, z jakich grup funkcyjnych zbudowana jest ta cząsteczka.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5



Kwasy sulfonowe ulegają reakcji z NaOH w stanie stałym w podwyższonej temperaturze. W trakcie tej reakcji następuje zamiana grupy sulfonowej na hydroksylową, co prowadzi do otrzymania fenolu. W oparciu o informację wprowadzającą, zapisz równanie procesu, który zachodzi podczas stapiania kwasu 3-metylobenzenosulfonowego z wodorotlenkiem sodu. Podaj nazwę otrzymanego związku.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 6



Kwas 4-aminobenzenosulfonowy nosi nazwę kwasu sulfanilowego. Ze względu na równoczesną obecność grup o charakterze kwasowym i zasadowym, następuje „wewnętrzcząsteczkowe zobojętnienie”, prowadzące do powstania jonu obojnaczego (ang. *zwitterion*), analogicznie jak w przypadku aminokwasów. Zapisz wzór tego jonu.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 7



Kwas benzenosulfonowy jest kwasem mocnym, a w roztworze wodnym jest praktycznie całkowicie zdysocjowany. Zapisz równanie dysocjacji kwasu benzenosulfonowego zapisując cząsteczkę wody jako substrat procesu.

Odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8



W oparciu o wartość stałej dysocjacji kwasowej kwasu benzenosulfonowego: $K_a = 2,82 \cdot 10^{-3}$, oblicz wartość pH roztworu tego kwasu o stężeniu $0,1 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$. Wynik podaj z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 9



Do reakcji sulfonowania należy używać kwasu siarkowego(VI) o stężeniu ponad 95%. W tym celu używa się kwasu bezwodnego lub „dymiącego”, określanego także jako „oleum” – roztworu SO_3 w bezwodnym H_2SO_4 . Oblicz masę SO_3 , niezbędną do związania całej wody obecnej w 1 dm^3 95% roztworu H_2SO_4 o gęstości $1,84 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Podaj wynik z dokładnością do liczb całkowitych.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszyte do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 10



W reakcji sulfonowania 45 g nitrobenzenu, otrzymano 32 g kwasu 3-nitrobenzenosulfonowego. Narysuj wzór produktu i oblicz wydajność reakcji sulfonowania. Wynik podaj w procentach z dokładnością do liczb całkowitych.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszyte do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Elżbieta Korzeniak, Tomasz Korzeniak, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Sulfonowanie benzenu

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

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

XIII. Węglowodory. Uczeń:

11) opisuje właściwości chemiczne węglowodorów aromatycznych na przykładzie reakcji: spalania, z Cl_2 lub Br_2 wobec katalizatora albo w obecności światła, nitrowania, katalitycznego uwodornienia; pisze odpowiednie równania reakcji dla benzenu i metylobenzenu (toluenu) oraz ich pochodnych, uwzględniając wpływ kierujący podstawników (np. atom chlorowca, grupa alkilowa, grupa nitrowa, grupa hydroksylowa, grupa karboksylowa).

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:

- omawia mechanizm substytucji elektrofilowej w pierścieniu aromatycznym;
- wskazuje elektrofil w równaniu reakcji;
- pisze wzór produktu przejściowego reakcji sulfonowania benzenu.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- wirtualne laboratorium;
- ćwiczenia uczniowskie;
- analiza materiału źródłowego;
- technika bateria.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do Internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w emateriale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda,
- rzutnik multimedialny.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje uczniom pytanie: „Co to oznacza, że benzen jest związkiem aromatycznym”?
2. Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie starają się odpowiedzieć na pytania: Jakie poznaliście już reakcje benzenu? Na czym polega ich mechanizm?
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują na kartkach i gromadzą w portfolio.

Faza realizacyjna:

1. Uczniowie zapoznają się z treściami zawartymi w e-materiale w sekcji „przeczytaj” dotyczącymi sulfonowania benzenu. Po wyznaczonym czasie, nauczyciel zadaje uczniom pytanie: Jaką grupą można zastąpić atom wodoru w pierścieniu aromatycznym?
2. Nauczyciel wspólnie z uczniami najpierw omawia sposób otrzymywania elektrofila, a następnie określa budowę elektrofila w reakcji sulfonowania.
3. Zapisanie na tablicy przez chętnych uczniów poszczególnych etapów sulfonowania benzenu.
4. Na podstawie wzoru cząsteczki kwasu benzenosulfonowego uczniowie opisują właściwości i reaktywność.

5. Nauczyciel poleca pracę w parach z wirtualnym laboratorium. Uczniowie zapoznają się z poleceniem i wykonują zadanie. Po wyznaczonym czasie, chętne osoby przedstawiają efekty pracy. Pozostali uczniowie i nauczyciel weryfikują poprawność merytoryczną rozwiązania.
6. Uczniowie pracują w parach z częścią „Sprawdź się”. Uczniowie wykonują zadania. Nauczyciel może wyświetlić treść poleceń na tablicy multimedialnej. Po każdym przeczytanym poleceniu, daje uczniom określony czas na zastanowienie się, a następnie chętny uczeń z danej pary udziela odpowiedzi/prezentuje rozwiązanie na tablicy. Pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej, proponując ewentualnie swoje pomysły. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje, udziela uczniom informacji zwrotnej. Ćwiczenia, których uczniowie nie zdążą wykonać podczas lekcji mogą być zlecone do wykonania w ramach pracy domowej.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie na planszy z narysowaną baterią i zaznaczonymi poziomami jej naładowania, np. co 5-10% zaznaczają małymi samoprzylepnymi kolorowymi karteczkami w jakim stopniu opanowali zagadnienia wynikające z zamierzonych do osiągnięcia celów lekcji. W przypadku, gdy bateria nie jest naładowana w 100%, zastanawiają się w jaki sposób podnieść swój poziom posiadanej wiedzy?

Praca domowa:

Uczniowie wykonują zawarte w e-materiale w sekcji „Sprawdź się” pozostałe ćwiczenia, których nie zdążyli wykonać na lekcji.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Wirtualne laboratorium może zostać wykorzystane podczas przygotowywania się ucznia do sprawdzianu lub do zdobycia wiedzy w przypadku nieobecności ucznia na lekcji.

Materiały pomocnicze:

1. Nauczyciel przygotowuje planszę z narysowaną baterią i zaznaczonymi poziomami jej naładowania, np. co 5-10% do oceny stopnia opanowania zagadnień oraz małe samoprzylepne kolorowe karteczki dla uczniów.
2. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):
 - Sulfonowanie, to jaki jest typ reakcji?
 - Jaki jest mechanizm sulfonowania benzenu?
 - Jaki jest wzór półstrukturalny produktu reakcji sulfonowania benzenu?

2. Literatura:

- R. T. Morrison, Robert N. Boyd, *Chemia organiczna*, Warszawa 2010.
- K. Dudek-Różycki, M. Płotek, T. Wichur, *Węglowodory. Repetytorium i zadania*, Kraków 2020.
- K. Dudek-Różycki, M. Płotek, T. Wichur, *Kompendium terminologii oraz nazewnictwa związków organicznych. Poradnik dla nauczycieli i uczniów*, Kraków 2020.