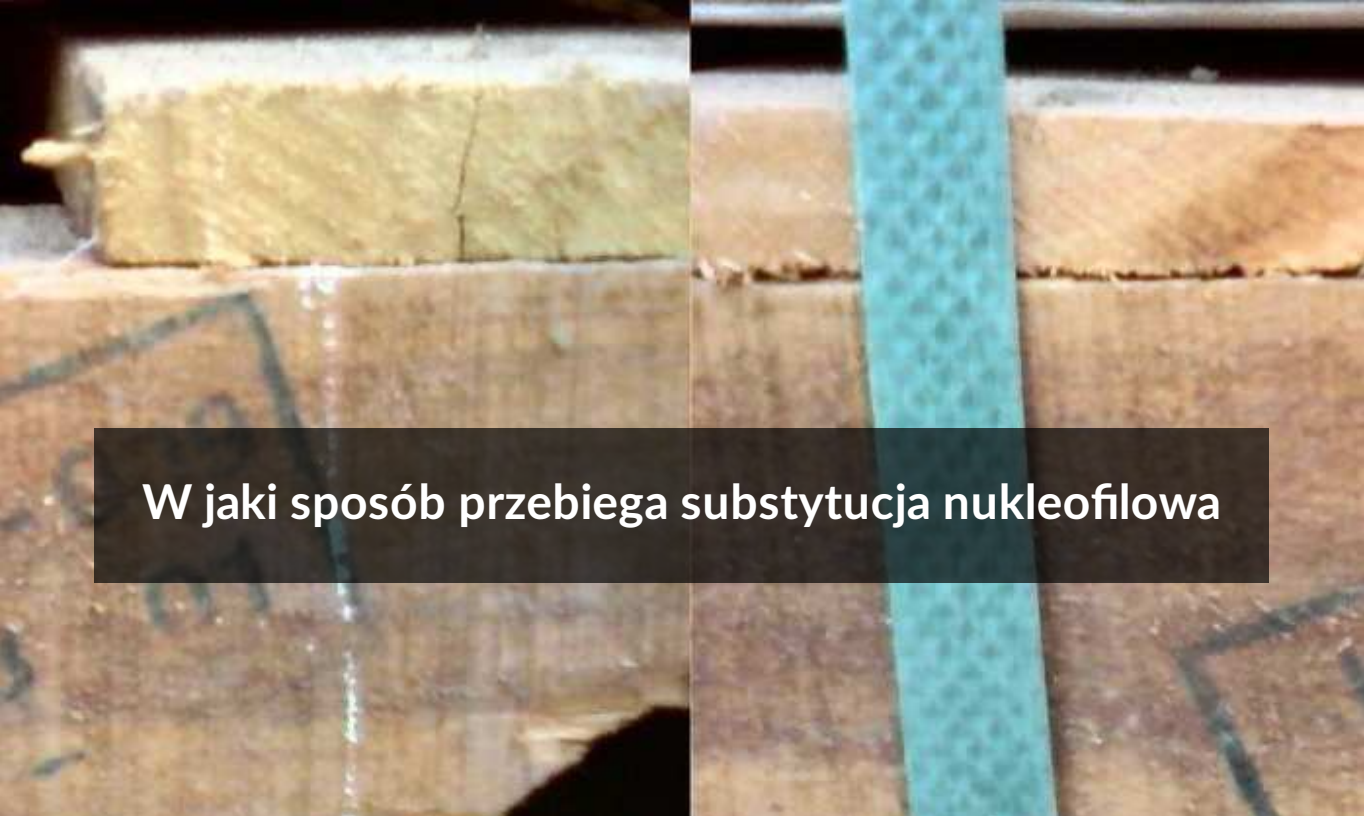




W jaki sposób przebiega substytucja nukleofilowa

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



W jaki sposób przebiega substytucja nukleofilowa

Oznaczenie na palecie z Wietnamu wskazuje, że drewno zostało poddane działaniu bromku metylu w celu zabicia szkodników. Bromek metylu, o systematycznej nazwie bromometan, należy do halogenopochodnych węglowodorów. Związki te najczęściej ulegają reakcjom substytucji nukleofilowej.

Źródło: dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, licencja: CC BY-SA 2.5.

Reakcje substytucji nukleofilowej stanowią w dzisiejszych czasach grupę najbardziej rozpowszechnionych i użytecznych reakcji w chemii organicznej. Nazwiska takich chemików jak Paul Walden, Joseph Kenyon i Henry Phillips pozwoliły na odkrycie ich dokładnego mechanizmu, a w szczególności zmian zachodzących w stereochemii związków chemicznych poddanych reakcjom substytucji nukleofilowej. Czym charakteryzują się i w jaki sposób przebiegają reakcje substytucji nukleofilowej?

Twoje cele

- Przedstawisz mechanizm substytucji nukleofilowej typu S_N2 oraz S_N1 .
- Porównasz mechanizmy typu S_N2 i S_N1 .
- Opiszysz podstawowe różnice między mechanizmami typu S_N2 i S_N1 .
- Wyjaśnisz, w jaki sposób zachodzą reakcje substytucji nukleofilowej dla halogenków alkilowych.

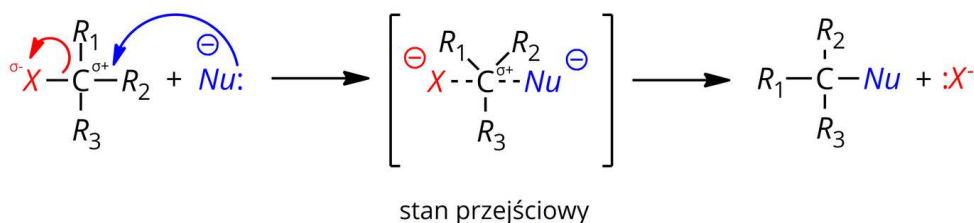
Przeczytaj

Jednym z rodzajów reakcji w chemii organicznej są reakcje **substytucji nukleofilowej**. Są to reakcje podstawienia polegające na wymianie grupy X związanej z atomem węgla na odczynnik nukleofilowy, oznaczany często jako : Nu (lub : B), będący **zasadą Lewisa**. Podstawnikiem X (najczęściej – Cl , – Br , – OH) jest przeważnie grupa elektronoakceptorowa, która polaryzuje wiązanie $C-X$. Podstawnik X z niewiążącą parą elektronową opuszcza zatem cząsteczkę. **Nukleofilem** jest drobina obdarzona ładunkiem ujemnym i/bądź parą elektronową.

Reakcje substytucji nukleofilowej zachodzą w sposób jedno- lub dwuetapowy. Mechanizm jednoetapowy jest znany jako substytucja typu S_N2 , a mechanizm dwuetapowy jest znany jako substytucja S_N1 . Cyfra „1” lub „2” nie odnosi się zatem do liczby kroków w mechanizmie, ale do kinetyki reakcji. Zatem substytucja typu S_N2 jest reakcją **dwucząsteczkową** zachodzącą zgodnie z **kinetyką drugiego rzędu**, podczas gdy substytucja S_N1 jest **reakcją pierwszego rzędu, jednocząsteczkową**.

S_N2 – substytucja nukleofilowa dwucząsteczkowa

Substytucja nukleofilowa typu S_N2 to reakcja **dwucząsteczkowa**. Oznacza to, że w reakcji biorą udział dwie **cząsteczki**: **halogenek alkiłowy** oraz nukleofil (drobina mająca nadmiar elektronów), oznaczana jako $Nu :^-$. Mechanizm substytucji nukleofilowej typu S_N2 przebiega w sposób ciągły, w jednym etapie, z utworzeniem stanu przejściowego, zgodnie z poniższym schematem:



Schemat mechanizmu substytucji nukleofilowej S_N2 , gdzie R_1 , R_2 , R_3 oznaczają grupy węglowodorowe lub atomy wodoru; X oznacza atom halogenu, a Nu – nukleofil.

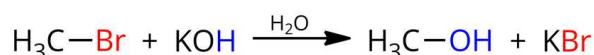
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

W pierwszej kolejności następuje atak nukleofila ($Nu :^-$) na atom węgla od strony przeciwnej niż atom halogenu X , który stanowi grupę opuszczającą. Para elektronowa nukleofila atakuje cząsteczkę z jednej strony, przesuwając elektrony wiązania $C-X$

w kierunku grupy opuszczającej **X**. Dochodzi do utworzenia stanu przejściowego, w którym jednocześnie następuje częściowe rozrywanie wiązania C-**X** i częściowe tworzenie wiązania C-**Nu**. Warto zauważyć, że w stanie przejściowym ładunek ujemny zlokalizowany jest na atomach halogenu oraz nukleofila, co wymusza zmianę hybrydyzacji atomu węgla i w konsekwencji doprowadzenie do powstania płaskiej cząsteczki. Tworzenie stanu przejściowego jest najwolniejszym etapem reakcji. Następnie dochodzi do całkowitego zerwania wiązania atomu węgla z atomem halogenu, który opuszcza cząsteczkę jako anion. Jednocześnie tworzy się obojętna cząsteczka, w której występuje wiązanie węgiel – nukleofil. Substytucja nukleofilowa typu S_N2 zachodzi bez powstawania produktów pośrednich.

Ten typ substytucji obserwuje się w przypadku reakcji wszystkich **halogenków metylowych, halogenków pierwszorzędowych i niektórych halogenków drugorzędowych** z wodnymi roztworami wodorotlenków, jak pokazano na poniższych przykładach.

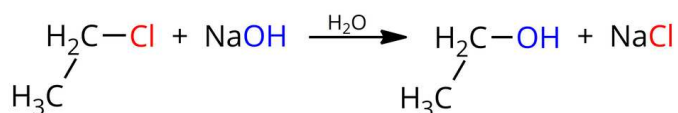
- Reakcja bromometanu z wodorotlenkiem potasu w temperaturze pokojowej oraz środowisku wodnym prowadzi do powstania metanolu



W wyniku reakcji bromometanu z wodorotlenkiem potasu powstaje metanol.

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

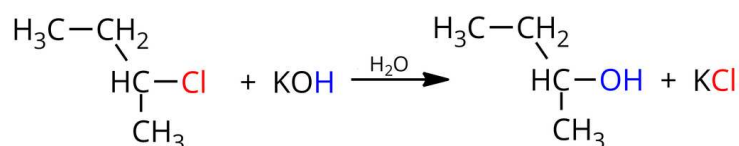
- Reakcja chloroetanu z wodorotlenkiem sodu w temperaturze pokojowej oraz środowisku wodnym prowadzi do powstania etanolu



W wyniku reakcji chloroetanu z wodorotlenkiem sodu powstaje etanol.

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

- Reakcja 2-chlorobutanu z wodorotlenkiem potasu w temperaturze pokojowej oraz środowisku wodnym prowadzi do powstania butan-2-olu



W wyniku reakcji 2-chlorobutanu z wodorotlenkiem potasu powstaje butan-2-ol.

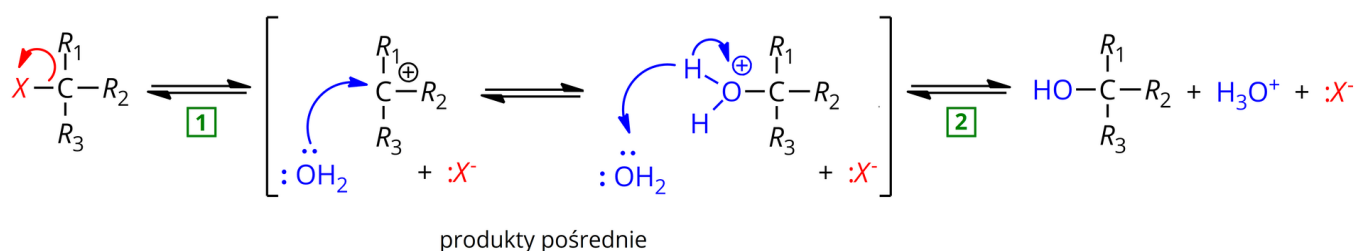
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Reakcja substytucji nukleofilowej typu S_N2 zachodzi z inwersją (odwróceniem) konfiguracji, tzn. w wyniku podstawienia powstaje analogiczna cząsteczka będąca odbiciem lustrzanym związku wyjściowego (**enancjomer**).

S_N1 – substytucja nukleofilowa jednocząsteczkowa

Substytucja nukleofilowa typu S_N1 to reakcja jednocząsteczkowa, zachodząca w dwóch etapach. W pierwszym etapie następuje **rozpad heterolityczny** cząsteczki R-X prowadzący do powstania karbokationu. W drugim etapie karbokation ten zostaje poddany atakowi nukleofila Nu^- , którym jest najczęściej cząsteczka wody (oznaczana jako $:OH_2$), dając odpowiedni produkt pośredni, a następnie obojętny alkohol.

Mechanizm substytucji nukleofilowej typu S_N1 przebiega dwuetapowo, zgodnie z kinetyką I rzędu, z utworzeniem produktu pośredniego, co przedstawia poniższy schemat:



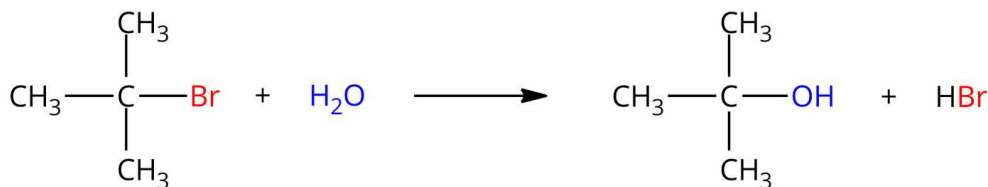
Schemat mechanizmu substytucji nukleofilowej S_N1 , gdzie R_1 , R_2 , R_3 oznaczają grupy węglowodorowe lub atomy wodoru; X oznacza atom halogenu.

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

W pierwszym etapie reakcji następuje spontaniczna dysocjacja fluorowca X halogenopochodnej węglowodoru, prowadząca do powstania karbokationu. Fluorowiec opuszcza cząsteczkę substratu jako anion $:X^-$ (1). Jest to najwolniejszy etap reakcji, determinujący szybkość jej zachodzenia. Atom węgla, obdarzony ładunkiem dodatnim, zostaje poddany atakowi nukleofila, czyli pary elektronowej wody. Prowadzi to do powstania kolejnego produktu pośredniego, którym jest protonowany alkohol. Cząsteczka ta traci proton, z którego zostaje utworzony kation oksoniowy (H_3O^+) przez związanie z kolejną cząsteczką wody oraz cząsteczka alkoholu (2).

Ten typ reakcji substytucji obserwuje się w przypadku reakcji **halogenopochodnych węglowodorów** (zwłaszcza trzeciorzędowych) z wodą.

- Reakcja 2-bromo-2-metylopropanu z wodą prowadzi do otrzymania 2-metylopropan-2-olu.

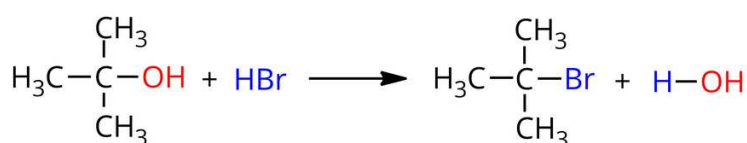


W wyniku reakcji 2-bromo-2-metylopropanu z wodą powstaje 2-metylopropan-2-ol.

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

Reakcja substytucji nukleofilowej typu S_N1 zachodzi również w warunkach kwasowych, kiedy grupą opuszczającą jest cząsteczka wody. Przykładem mogą być reakcje trzeciorzędowych alkoholi z HBr lub HCl (tzw. próba Lucasa, pozwalająca na rozróżnienie alkoholi o różnej rzędowości). W tym przypadku alkohol najpierw ulega protonowaniu za pomocą protonu pochodzącego od kwasu, a następnie traci wodę stając się karbokationem. Karbokation z kolei reaguje z anionem halogenkowym, tworząc halogenek alkilowy jako ostateczny produkt.

- Reakcja 2-metylopropan-2-olu z kwasem bromowodorowym prowadzi do otrzymania 2-bromo-2-metylopropanu.



W wyniku reakcji 2-metylopropan-2-olu z kwasem bromowodorowym powstaje 2-bromo-2-metylopropan.

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

Ważne!

Ze względu na jednakowe prawdopodobieństwo ataku wynikające z płaskiej budowy karbokationu, w przypadku substytucji nukleofilowej typu S_N1 uzyskuje się **mieszaninę racemiczną** produktów reakcji.

Słownik

substytucja nukleofilowa

reakcja podstawienia polegająca na wymianie grupy X związanej z atomem węgla na odczynnik nukleofilowy (oznaczany często jako Nu); podstawnik X stanowi przeważnie grupa elektronoakceptorowa (np. $-\text{Cl}$, $-\text{Br}$, $-\text{OH}$), a nukleofil stanowi drobina obdarzona ładunkiem ujemnym bądź/i parą elektronową

nukleofil

indywiduum chemiczne obdarzone ładunkiem ujemnym (np. Br^- , Cl^- , OH^-) lub cząsteczka obojętna posiadająca wolne pary elektronowe (np. H_2O , Br_2 , Cl_2); jest to zasada Lewisa

zasady Lewisa

według teorii kwasów i zasad Lewisa to jony lub cząsteczki zawierające wolne pary elektronowe; są to nukleofile

halogenki alkilowe

związki chemiczne, w których atom fluorowca przyłączony jest do grupy alkilowej

reakcja pierwszego rzędu

reakcja, której szybkość jest wprost proporcjonalna do stężenia substratu; równanie kinetyczne przyjmuje postać:

$$v = k \cdot [A]$$

gdzie A jest substratem, natomiast k stałą szybkości; w równaniu kinetycznym reakcji biegnącej zgodnie z kinetyką pierwszego rzędu suma wykładników potęg jest więc równa 1

reakcja drugiego rzędu

reakcja, dla której równanie kinetyczne przyjmuje postać:

$$v = k \cdot [A]^2 \text{ lub } v = k \cdot [A] \cdot [B]$$

gdzie A i B są substratami, natomiast k stałą szybkości; w równaniu kinetycznym reakcji biegnącej zgodnie z kinetyką drugiego rzędu suma wykładników potęg jest więc równa 2

mieszanina racemiczna

równomolowa mieszanina enancjomerów, nie wykazująca aktywności optycznej

enancjomer

każdy z dwóch izomerów przestrzennych danego związku organicznego, będący zwierciadlanym, nienakładalnym odbiciem drugiego

cząsteczkowość

ilość cząsteczek substratów biorących udział w reakcji chemicznej

heteroliza

rozpad heterolityczny; reakcja heterolityczna; rozerwanie wiązania kowalencyjnego w cząsteczce związku przebiegające z utworzeniem 2 różnoimiennych jonów; w reakcji heterolitycznej para elektronów tworząca wiązanie chemiczne pozostaje przy jednym z atomów; przykładem heterolizy jest dysocjacja elektrolityczna HCl:



możliwy jest również rozpad heterolityczny cząsteczek złożonych z identycznymi atomami ($\text{AA} \rightarrow \text{A}^+ + \text{A}^-$)

Bibliografia

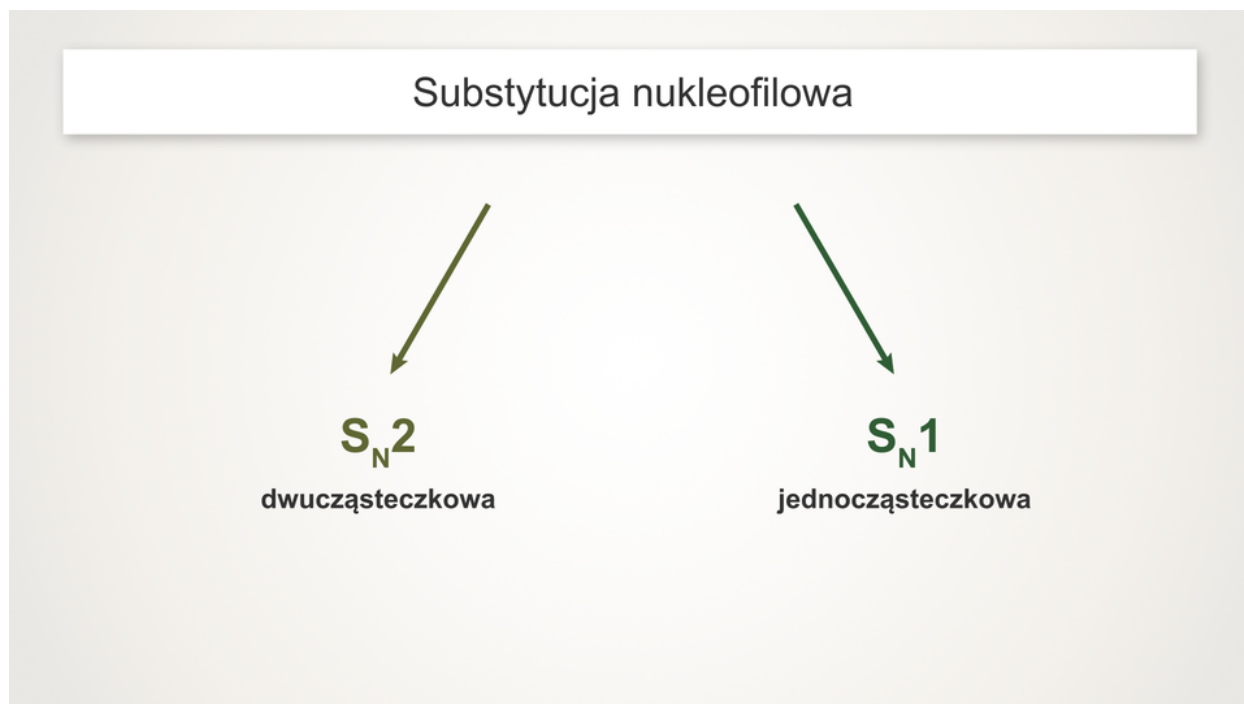
Encyklopedia PWN

McMurry J., *Chemia organiczna*, Warszawa 2000.

Animacje

Polecenie 1

Wyróżnia się dwa typy substytucji nukleofilowej: pierwszym z nich jest S_N2 , a drugim jest S_N1 . Czy potrafisz omówić mechanizmy obu tych typów reakcji? Zapoznaj się z poniższą animacją i wykonaj ćwiczenia.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RlwX6Bm7ojlE>

Animacja pt. „W jaki sposób przebiega substytucja nukleofilowa?”

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

W filmie omówiono mechanizmy reakcji substytucji nukleofilowej jedno- i dwucząsteczkowej.

Ćwiczenie 1

Uzupełnij zdania dotyczące jednego z mechanizmów reakcji przedstawionych w animacji, a następnie odpowiedz, który z mechanizmów reakcji został w niej opisany.

Mechanizm reakcji rozpoczyna się od rozpadu homolitycznego chloru, prowadzącego do powstania karbokationu / stanu przejściowego . Chlor opuszcza cząsteczkę jako anion chloru / chlorkowy . Jest to najwolniejszy / najszybszy etap reakcji, determinujący szybkość jej zachodzenia. Następuje wówczas atak wody / wodorotlenku na dodatnio naładowany atom węgla. Jest to atak elektrofilowy / nukleofilowy . Prowadzi to do kolejnego produktu pośredniego, którym jest protonowany / deprotonowany alkohol. Następnie cząsteczka traci proton, utworzony zostaje kation oksoniowy / wodorowy (H_3O^+) oraz obojętny alkohol.

Tekst dotyczył mechanizmu reakcji

☐ $\text{S}_{\text{N}}2$

☐ $\text{S}_{\text{N}}1$

Ćwiczenie 2

Uzupełnij zdania wybierając słowa spośród poniższych. Niektóre z nich nie pasują do żadnej luki.

Zgodnie z mechanizmem typu $\text{S}_{\text{N}}2$ zachodzi reakcja z , prowadząca do powstania .

Zgodnie z mechanizmem typu $\text{S}_{\text{N}}1$ zachodzi reakcja z , prowadząca do powstania .

NaOH

etanolu

HCl

HBr

etenu

NaOH

2-chloro-2-metylopropanu

chloroetenu

propan-2-olu

H_2O

2-metylopropan-2-olu

HCl

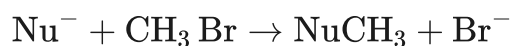
chlorometanu

2-metylopropan-2-olu

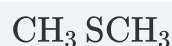
chloroetanu

Ćwiczenie 3

Wyobraź sobie, że reakcja zachodzi w taki sam sposób jak w przedstawionej animacji, z tą różnicą, że zmienia się wzór nukleofila (Nu^-). Schematyczny zapis reakcji wygląda następująco:

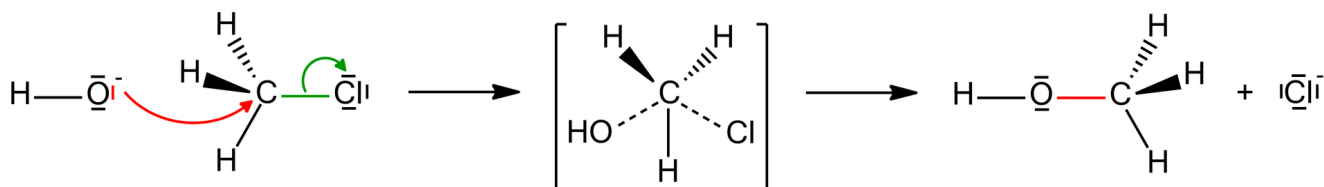


Przyporządkuj wzorom nukleofilów odpowiednie wzory produktów, które powstaną w wyniku omawianej reakcji chemicznej.



Ćwiczenie 4

Poniżej przedstawiono mechanizm reakcji substytucji nukleofilowej dla podobnej reakcji do tej przedstawionej w animacji. Podaj wzór nukleofila atakującego cząsteczkę chlorometanu oraz grupę opuszczającą.



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

Nukleofil atakujący cząsteczkę:



Grupa opuszczająca:



Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij poniższy tekst, wybierając odpowiedni typ substytucji nukleofilowej (S_N2 , S_N1).

Ze względu na liczbę cząsteczek biorących udział w stadium decydującym o szybkości reakcji substytucji nukleofilowej, można wyróżnić dwa skrajne mechanizmy reakcji:

- jednocząsteczkowe podstawienie nukleofilowe ,
- dwucząsteczkowe podstawienie nukleofilowe .

S_N2

S_N1

Ćwiczenie 2



Zaznacz prawdziwe zakończenie poniższego zdania.

Jony OH^- pełnią w reakcji substytucji nukleofilowej rolę:

☐ kwasu Lewisa.

☐ zasady Brönsteda.

☐ nukleofila.

☐ katalizatora.

☐ kwasu Brönsteda.

Ćwiczenie 3



Dopasuj liczbę etapów (jeden/dwa) reakcji do typu substytucji nukleofilowej (S_N1/S_N2).

S_N1

dwa

S_N2

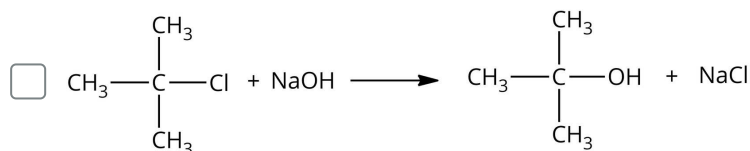
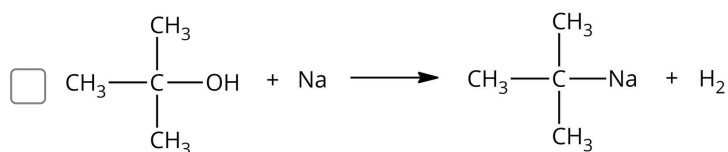
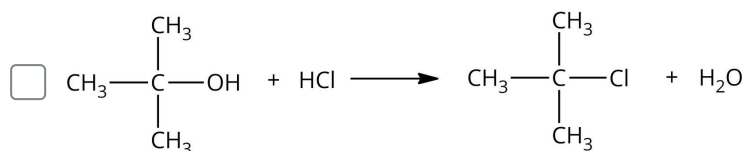
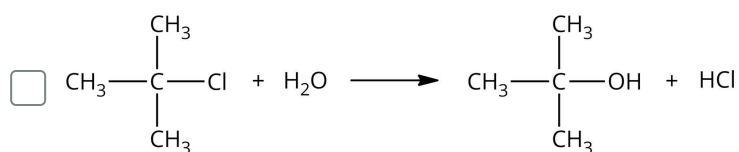
jeden

Ćwiczenie 4



Próba Lucasa to reakcja chemiczna alkoholi z kwasem solnym, zachodząca w obecności chlorku cynku, której szybkość pozwala na określenie rzędowości badanego alkoholu. W próbie wykorzystuje się roztwór Lucasa (inaczej odczynnik Lucasa), czyli roztwór chlorku cynku w stężonym kwasie solnym. Alkohole w takich warunkach ulegają substytucji nukleofilowej z wytworzeniem nierozpuszczalnych w środowisku reakcji chlorków alkilowych.

Zaznacz, którego równania reakcji dotyczy powyższy tekst.



Ćwiczenie 5



Wybierz prawidłowe dokończenie poniższego tekstu.

W substytucji nukleofilowej typu S_N2 powstaje stan przejściowy, w którym ujemny ładunek zlokalizowany jest na atomach halogenu oraz nukleofila, co wymusza zmianę hybrydyzacji atomu węgla i w konsekwencji doprowadzenie do powstania:

☐ mieszaniny racemicznej.

☐ przestrzennej cząsteczki.

☐ płaskiej cząsteczki.

☐ enancjomerów.

Ćwiczenie 6



Określ, czy dane stwierdzenia są prawdziwe, czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Karbokation to stan przejściowy w reakcji substytucji nukleofilowej typu S_N2 .	☐	☐
Karbokation to produkt przejściowy w reakcji substytucji nukleofilowej typu S_N2 .	☐	☐
Karbokation to produkt przejściowy w reakcji substytucji nukleofilowej typu S_N1 .	☐	☐
Stan przejściowy powstaje w reakcji jednocząsteczkowej i charakteryzuje się dużą nietrwałością.	☐	☐

Ćwiczenie 7



Uzupełnij schemat równania reakcji zachodzącej według mechanizmu typu S_N2 i prowadzącej do otrzymania propan-1-olu. Wstaw elementy w brakujące miejsca.

Ćwiczenie 8



Z podanych elementów skonstruuj schemat równania reakcji zachodzącej według mechanizmu substytucji nukleofilowej typu S_N2 .

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

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Daria Szeliga, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: W jaki sposób przebiega substytucja nukleofilowa?

Grupa docelowa: Uczniowie III etapu edukacyjnego, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym.

Podstawa programowa:

Poziom podstawowy i rozszerzony

Wymagania ogólne

I. Pozyskiwanie, przetwarzanie i tworzenie informacji. Uczeń:

1) pozyskuje i przetwarza informacje z różnorodnych źródeł z wykorzystaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych.

II. Rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów. Uczeń:

1) opisuje właściwości substancji i wyjaśnia przebieg procesów chemicznych;

4) wskazuje na związek między właściwościami substancji a ich budową chemiczną.

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 podstawowe różnice między mechanizmami typu S_N2 oraz S_N1 ;
- zestawia ze sobą i porównuje mechanizmy typu S_N2 oraz S_N1 ;
- pisze równania reakcji substytucji nukleofilowej dla różnych związków chemicznych;

- wyjaśnia, w jaki sposób zachodzą reakcje substytucji nukleofilowej dla halogenków alkilowych.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- analiza materiałów źródłowych;
- mapa myśli;
- pogadanka;
- burza mózgów;
- ćwiczenia uczniowskie;
- animacje, technika bateria.

Formy pracy:

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

Środki dydaktyczne:

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

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje pytanie: Gdzie mogą mieć zastosowanie reakcje substytucji nukleofilowej? Uczniowie mogą skorzystać z dostępnych źródeł informacji.
2. Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie odpowiadają na postawione pytania celem przypomnienia wiadomości: Na czym polegają reakcje substytucji? Jakie znane są rodzaje substytucji? Jakie związki chemiczne mogą zostać poddane substytucji? Co to jest nukleofil?
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. Nauczyciel rysuje na tablicy wzory grupowe cząsteczek: 2-chloro-2-metylopropanu oraz chloroetanu i zadaje pytanie uczniom: W jaki sposób otrzymać z nich odpowiednio: 2-metylopropan-2-ol oraz etanol? Uczniowie podają swoje propozycje i zapisują równania reakcji chemicznych na tablicy.
2. Nauczyciel wyświetla na tablicy multimedialnej pierwszą animację zawartą w multimedium e-materiału.
3. Nauczyciel wyświetla na tablicy multimedialnej drugą animację, zawartą w multimedium e-materiału.
4. Nauczyciel wskazuje na to, że reakcja substytucji nukleofilowej typu S_N1 zachodzi również w warunkach kwasowych, kiedy grupą opuszczającą jest cząsteczka wody. Przykładem mogą być reakcje trzeciorzędowych alkoholi z HCl lub HBr (tzw. próba Lucasa pozwalająca na rozróżnienie alkoholi różniących się rzędowością).
5. Chętny uczeń zapisuje na tablicy przykładowe równanie reakcji trzeciorzędowego alkoholu ze stężonym HCl. Pozostali uczniowie i nauczyciel weryfikują poprawność zapisu.
6. Uczniowie pracują w parach z częścią „Sprawdź się”. Uczniowie wykonują zadania. Nauczyciel może wyświetlić treść poleceń na tablicy multimedialnej. Po każdym przeczytanym poleceniu nauczyciel 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 kolorowymi samoprzylepnymi 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 pozostałe ćwiczenia w e-materiale – „Sprawdź się”, których nie zdążyli wykonać na lekcji.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Animacja może być wykorzystana przez uczniów w trakcie przygotowywania się do lekcji i/lub pracy kontrolnej.

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 kolorowe samoprzylepne karteczki dla uczniów.
2. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):
 - Na czym polegają reakcje substytucji nukleofilowej?
 - Jakie znane są typy substytucji nukleofilowej?
 - Na czym polega substytucja nukleofilowa zachodząca poprzez mechanizm jednocząsteczkowy?
 - Na czym polega substytucja nukleofilowa zachodząca poprzez mechanizm dwucząsteczkowy?