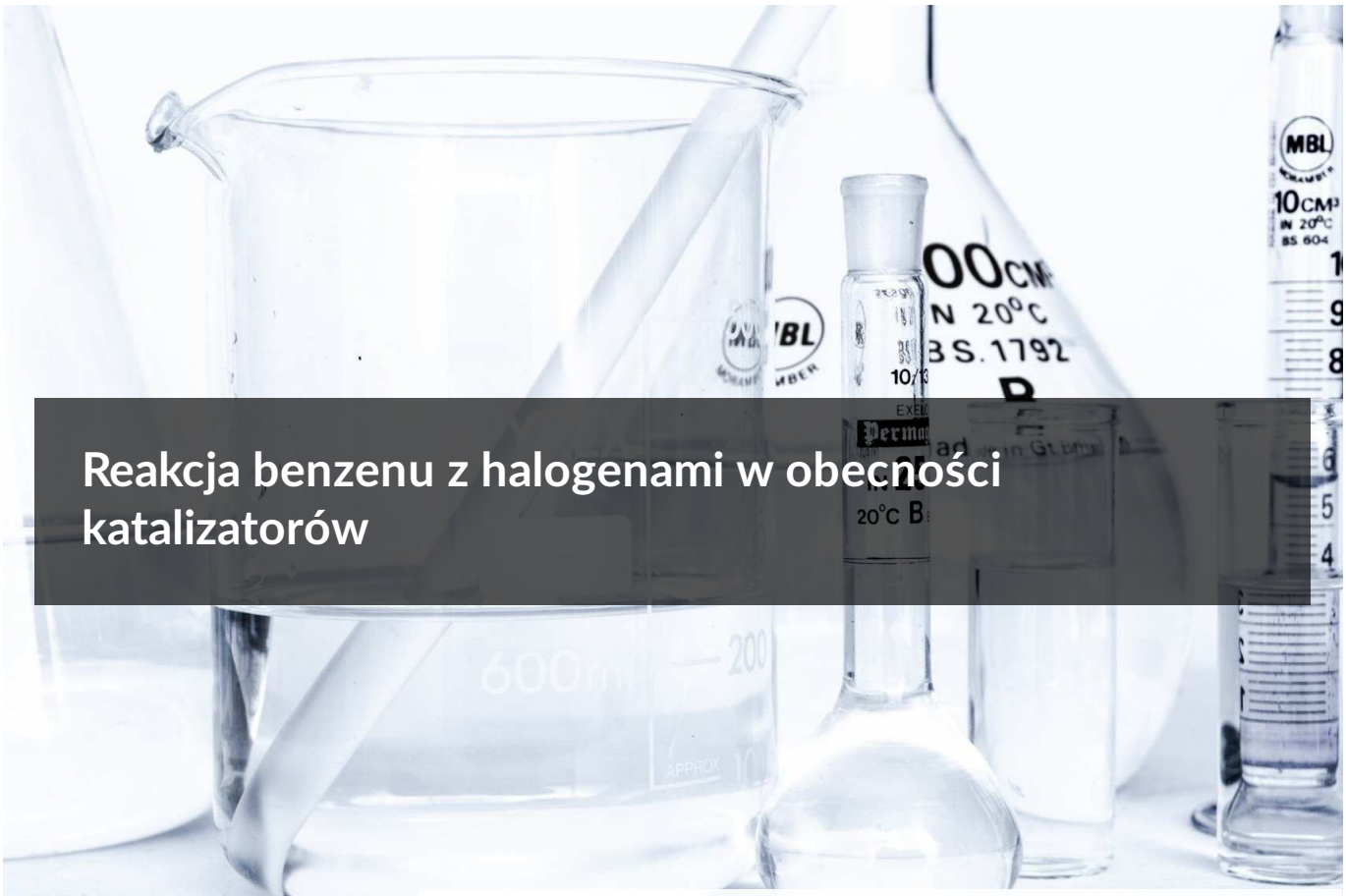
Reakcja benzenu z halogenami w obecności katalizatorów

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Reakcja benzenu z halogenami w obecności katalizatorów

Benzen to najprostszy z przedstawicieli węglowodorów aromatycznych.
Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Wiesz już, jak przebiega halogenowanie węglowodorów alifatycznych (łańcuchowych). Wiesz, że aby otrzymać chlorometan, należy podziałać na metan chlorem w obecności światła. Jeśli zaś chcesz otrzymać chloropochodną etenu, nie muszą być spełnione żadne warunki. Zatem, jak wtedy będzie reagował benzen? Czy reakcja z chlorem, czy bromem przebiegnie równie „gładko", jak w przypadku węglowodorów nienasyconych? Czy benzen będzie ulegał reakcji z halogenami? Tego wszystkiego dowiesz się w tym materiale.

Twoje cele

- Zapoznasz się z podstawowymi wiadomościami o reaktywności związków aromatycznych.
- Zapiszesz reakcje substytucji elektrofilowej.
- Napiszesz wzory halogenopopochodnych benzenu i odpowiednio je nazwiesz.
- Dowiesz się, jak reagują związki aromatyczne z halogenami.
- Zapoznasz się z warunkami katalitycznego halogenowania benzenu.
- Zaproponujesz wieloetapowy schemat otrzymywania danego związku.

Przeczytaj

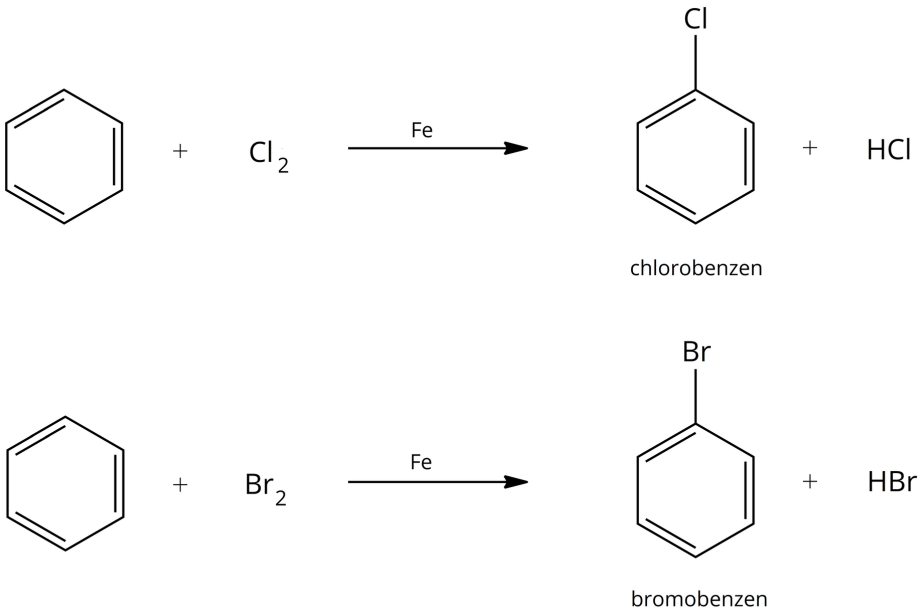
Czym jest proces halogenowania?

Halogenowanie jest to reakcja chemiczna polegająca na addycji (dodaniu), substytucji (podstawieniu) lub przegrupowaniu atomów pierwiastków z grupy fluorowców (halogenów) do cząsteczek związków organicznych, w wyniku czego powstają halogenopochodne.

Halogenowanie benzenu

Związki aromatyczne biorą udział w reakcjach, w których zostaje zachowany nienaruszony układ zdelokalizowanych elektronów π. Do takich reakcji należy substytucja elektrofilowa.

Reakcja z halogenami, a przede wszystkim z chlorem lub bromem, zachodzi w obecności kwasu Lewisa, np. $FeCl_3$ lub $FeBr_3$. W praktyce używa się metalicznego żelaza w postaci pyłu lub opiłków. Żelazo reaguje z bromem lub chlorem, tworząc chlorek lub bromek żelaza(III). W reakcji tej tworzą się m.in. odpowiednie halogenopochodne benzenu – chlorobenzen lub bromobenzen.



Halogenowanie benzenu

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

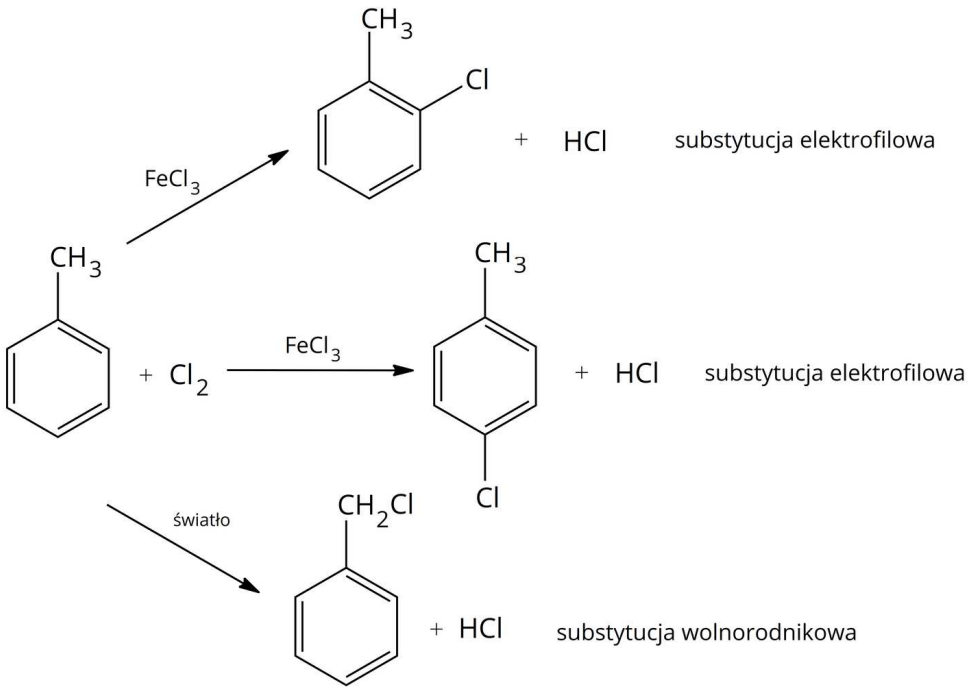
Mechanizm katalitycznego halogenowania benzenu

Reakcja przebiega w trzech etapach: tworzenie elektrofila, tworzenie kompleksu sigma oraz odtworzenie układu aromatycznego i katalizatora. W wyniku oddziaływania chmury elektronów π układu aromatycznego z powstałą (z bromu i $\mathrm{FeBr_3}$) parą jonową, powstaje kompleks zwany kompleksem π. W kolejnym etapie tworzy się wiązanie sigma między elektrofilem a jednym z atomów węgla układu aromatycznego. W powstałym kompleksie (zwanym kompleksem sigma) atom węgla, wiązany z elektrofilem, zmienia hybrydyzację z sp^2 na sp^3, a ładunek dodatni jest w nim zdelokalizowany pomiędzy pozostałe pięć atomów węgla. Ostatnim etapem jest eliminacja protonu, połączona z aromatyzacją układu cyklicznego. Wyeliminowany proton rozkłada anion $\mathrm{FeBr_4^-}$, odtwarzając katalizator ($\mathrm{FeBr_3}$).

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

Halogenowanie pochodnych benzenu

W przypadku związków aromatycznych z bocznym łańcuchem alkilowym (np. toluenu), podczas reakcji w obecności katalizatora ($FeCl_3$) następuje podstawienie pierścienia aromatycznego w pozycje *orto*- i *para*- (powstają dwa izomery). Gdy zaś reakcję prowadzi się w warunkach sprzyjających tworzeniu wolnych rodników (światło, nadtlenki), to wówczas podstawieniu ulega atom wodoru w łańcuchu bocznym.

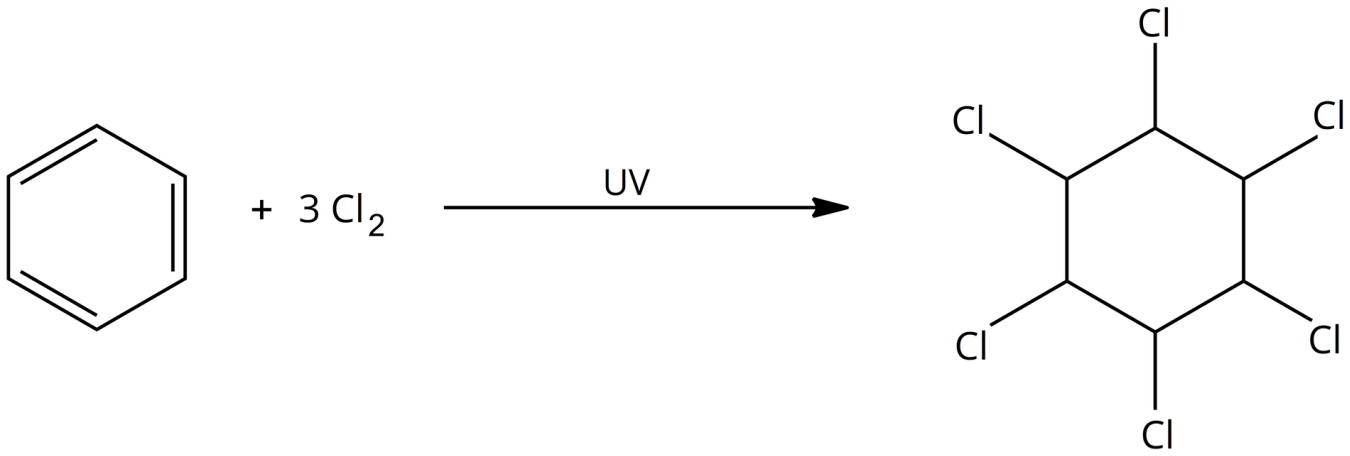


Halogenowanie pochodnych benzenu

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

Chlorowanie benzenu w obecności światła

Benzen pod wpływem światła ultrafioletowego może ulec reakcji addycji do 1,2,3,4,5,6-heksachlorocykloheksanu. Reakcję tę po raz pierwszy przeprowadził Michael Faraday w 1825 roku:

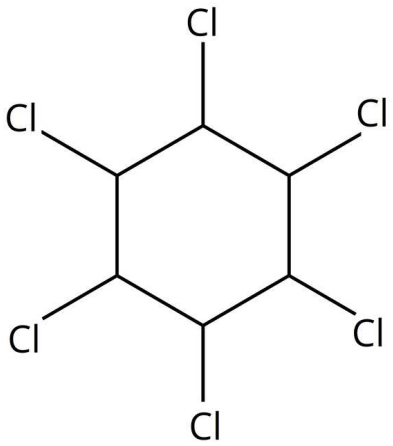


Reakcja addycji benzenu

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

Ciekawostka

1,2,3,4,5,6-heksachlorocykloheksan (lidan) jest powszechnie stosowany jako pestycyd, a także jako aktywny składnik preparatów do zwalczania szkodników, głównie w leśnictwie i w uprawach roślin przemysłowych. 1,2,3,4,5,6-heksachlorocykloheksan jest substancją krystaliczną o słabym zapachu stęchlizny. Wykazuje on właściwości owadobójcze, z tego powodu stosowano go do ochrony zielników przed owadami. W medycynie jest wykorzystywany jako lek do stosowania zewnętrznego przeciw wszawicy i świerzbowi.



1,2,3,4,5,6-heksachlorocykloheksan (lidan)

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

Słownik

halogenowanie

reakcja chemiczna polegająca na addycji (dodaniu), substytucji (podstawieniu) lub przegrupowaniu atomów pierwiastków z grupy fluorowców (halogenów) do cząsteczek związków organicznych, w wyniku czego powstają halogenopochodne

substytucja elektrofilowa

(dokładniej: aromatyczna substytucja elektrofilowa) reakcja substytucji zachodząca dla związków aromatycznych, w wyniku której dochodzi do wymiany atomu wodoru na reagent elektrofilowy; substytucja elektrofilowa jest oznaczana symbolem S_E lub S_EAr

pozycja orto

wzajemne ułożenie podstawników w pierścieniu benzenowym w pozycji 1 i 2

pozycja para

wzajemne ułożenie podstawników w pierścieniu benzenowym w pozycji 1 i 4

podstawniki I-rodzaju

kierują następny podstawnik w pozycje orto i para względem siebie oraz ułatwiają reakcję substytucji; podstawnikami I-rodzaju są grupy: alkilowe, aminowe, alkoksylowe oraz grupa hydroksylowa; atomy chlorowców kierują kolejny podstawnik w pozycje orto i para, ale utrudniają jednocześnie reakcje podstawienia w pierścieniu aromatycznym

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.

Animacja

Polecenie 1

Czy wiesz, w jaki sposób zachodzi reakcja benzenu z halogenami w obecności katalizatorów? Czy wiesz, jakie katalizatory są wykorzystywane w tej reakcji? Zapoznaj się z poniższą animacją i wykonaj zadania.

Film dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D10XFax6j

Animacja pt. „Reakcja benzenu z halogenami w obecności katalizatorów"

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

Film nawiązujący do treści materiału dotyczącej reakcji benzenu z halogenkami w obecności katalizatorów.

Ćwiczenie 1

Napisz, jaką nazwę nosi produkt trzykrotnego chlorowania aniliny w obecności chlorku żelaza(III)?

Odpowiedź:

Ćwiczenie 2

Napisz równanie reakcji bromowania benzenu w obecności bromku żelaza(III).

Równanie reakcji zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 3

Zaproponuj dwa główne produkty reakcji monobromowania toluenu w obecności bromku żelaza(III). Podaj ich nazwy systematyczne.

Odpowiedź:

Ćwiczenie 4

Zaznacz prawidłowe zdanie.

- Atomy centralne w chlorkach lub bromkach żelaza(III) lub glinu(III) nie posiadają deficytu elektronowego i osiągają oktet na powłoce walencyjnej, w związku z czym są donorami pary elektronowej.
- Katalizatory, używane w opisanej reakcji benzenu z halogenami, czyli chlorki i bromki żelaza(III) oraz glinu(III) są kwasami Lewisa.
- W trakcie reakcji halogenowania benzenu na żadnym z etapów nie powstaje karbokation.
- Bromek żelaza(II) może być wykorzystany jako katalizator reakcji halogenowania benzenu.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Zaznacz poprawną odpowiedź.

Halogenowanie jest to:

- reakcja chemiczna polegająca na addycji, substytucji lub przegrupowaniu atomów pierwiastków z grupy litowców do cząsteczek związków organicznych, w wyniku czego powstają halogenopochodne.
- reakcja chemiczna polegająca na addycji, substytucji lub przegrupowaniu atomów pierwiastków z grupy fluorowców do cząsteczek związków nieorganicznych, w wyniku czego powstają halogenopochodne.
- reakcja chemiczna polegająca na addycji, substytucji lub przegrupowaniu atomów pierwiastków z grupy fluorowców do cząsteczek związków organicznych, w wyniku czego powstają halogenopochodne.

Ćwiczenie 2

Napisz reakcję addycji chloru do pierścienia benzenowego w obecności światła ultrafioletowego.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 3

Oceń prawdziwość zdań. Zaznacz „Prawda", jeśli zdanie jest prawdziwe, lub „Fałsz", jeśli jest fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Benzen, ze względu na swój aromatyczny charakter, nie ulega reakcji addycji w temperaturze pokojowej.	◯	◯
Halogenowanie katalityczne benzenu jest reakcją substytucji elektrofilowej.	◯	◯
Substytucja elektrofilowa z udziałem pierścienia aromatycznego wymaga obecności światła lub podwyższonej temperatury.	◯	◯
Czynnik elektrofilowy to reagent, który ma nadmiar elektronów.	◯	◯

Ćwiczenie 4

Dysponując benzenem i dowolnymi odczynnikami nieorganicznymi, zaproponuj ciąg reakcji chemicznych prowadzących do otrzymania następujących związków:

- 1,2-dichlorobenzen;
- 1-chloro-4-metylobenzen;
- (chlorometylo)benzen.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5

Zapoznaj się z tekstem, a następnie rozwiąż zadanie.

W trzech próbówkach $1, 2, 3$) zmieszano toluen i roztwór bromu w rozpuszczalniku organicznym w stosunku molowym $1:1$. Następnie zawartość próbówki nr 1 naświetlano, do próbówki nr 2 dodano bromku żelaza(III), a próbkę nr 3 pozostawiono na pewien czas w ciemności i bez dodatku katalizatora. Uzupełnij informacje dotyczące typu i mechanizmu reakcji. Podaj wzory półstrukturalne (grupowe) głównych organicznych produktów reakcji i określ typ zachodzącej reakcji oraz jej mechanizm lub zaznacz, że reakcja nie zachodzi.

Probówka numer 1:

- Wzór produktu organicznego

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

- Typ reakcji

- Mechanizm reakcji

Probówka numer 2:

- Wzór produktu organicznego

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

- Typ reakcji

- Mechanizm reakcji

Probówka numer 3:

- Wzór produktu organicznego

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

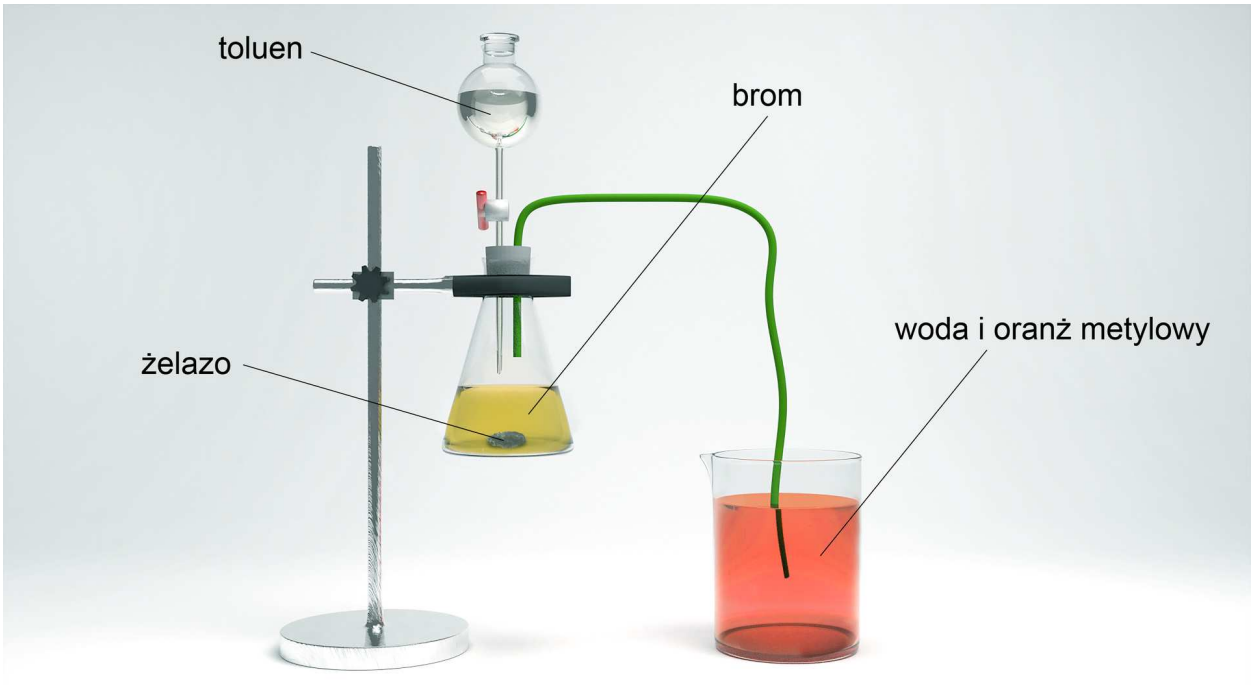
Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

- Typ reakcji

- Mechanizm reakcji

Ćwiczenie 6

Na podstawie poniższego schematu doświadczenia zapisz obserwacje.



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

Ćwiczenie 7

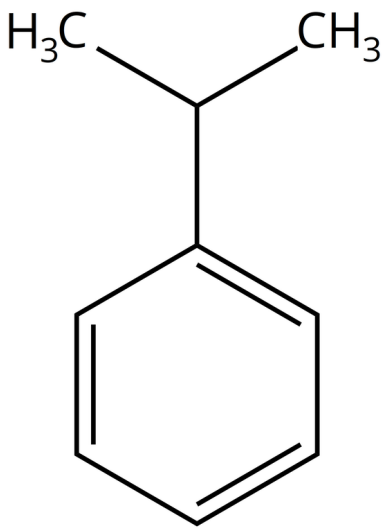
Kumen, (propan-2-ylo)benzen, to organiczny związek chemiczny z grupy węglowodorów aromatycznych. Jest cieczą, otrzymywaną z benzenu przez alkilowanie propenem w obecności katalizatora (np. chlorku glinu $\mathrm{AlCl_3}$) lub ze smoły węglowej i ropy naftowej w procesie reformingu. Znajduje zastosowanie w syntezie organicznej do jednoczesnej produkcji fenolu i acetonu, jako rozpuszczalnik farb i lakierów oraz jako dodatek do paliw lotniczych (zwiększa liczbę oktanową).

Zaznacz prawdziwe zdania.

- [ ] Kumen jest związkiem cyklicznym, ale nie aromatycznym.
- [ ] Kumen w obecności bromku żelaza(III) nie odbarwia wodnego roztworu bromu.
- [ ] Związek o nazwie $1,3,5$-trimetylobenzen to izomer kumenu.
- [ ] Kumen w obecności światła w reakcji z chlorem tworzy odpowiednie chloropochodne.

Ćwiczenie 8

Wzór kumenu ma następującą postać:



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

Jakiego głównego związku organicznego można się spodziewać po stronie produktów w schemacie A, a jakich w schemacie B? Narysuj wzory tych związków.

A. kumen $\xrightarrow{Cl_2,\ \text{światło}}$ główny produkt organiczny

B. kumen $\xrightarrow{Cl_2,\ FeCl_3}$ główne produkty organiczne

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

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 9

W wyniku chlorowania toluenu w obecności światła powstaje odpowiednia chloropochodna. Oblicz, ile dm^3 chloru (odmierzonego w warunkach normalnych) należy użyć, aby zareagował z $230\ \mathrm{g}$ toluenu.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Jakub Skuta, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Reakcja benzenu z halogenami w obecności katalizatorów.

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:

- pisze równanie chlorowania benzenu w obecności światła;
- wyjaśnia, jak przebiega reakcja halogenowania (substytucji elektrofilowej przy pierścieniu aromatycznym);
- pisze równanie reakcji katalitycznego halogenowania benzenu i toluenu;
- pisze wzory i nazwy produktów katalitycznego halogenowania benzenu i toluenu;
- planuje wieloetapowy schemat otrzymywania danych związków.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna;
- problemowa.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- analiza materiału źródłowego;
- ćwiczenia uczniowskie;
- eksperyment chemiczny;
- pogadanka;
- animacja;
- roża wiatrów.

Formy pracy:

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

Środki dydaktyczne:

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

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje uczniom pytanie: „Dlaczego benzen jest aromatyczny”?
2. Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie starają się odpowiedzieć na pytanie: „Czym jest proces halogenowania?”.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują na kartkach i gromadzą w portfolio.
4. Zasady BHP. Nauczyciel zapoznaje uczniów z kartami charakterystyk substancji, które będą używane na lekcjach.

Faza realizacyjna:

1. Nauczyciel pyta uczniów, jak wg nich wyglądałaby reakcja halogenowania benzenu – ochotnicy zapisują swoje propozycje reakcji na tablicy. Nauczyciel dopytuje o warunki

i o łatwość przebiegu tej reakcji. Spośród propozycji zapisanych równań, nauczyciel wybiera to, które jest poprawnie zapisane, ewentualnie sam zapisuje poprawne równanie na tablicy wraz z warunkami reakcji. Powrót do fazy wstępnej i skonfrontowanie wypowiedzi uczniów.

2. Eksperyment chemiczny – „Otrzymywanie bromopochodnych węglowodorów". Nauczyciel wyznacza uczniów do roli asystentów, którzy w obecności nauczyciela przeprowadzą eksperyment. W tym celu wybierają odpowiednie szkło, sprzęt laboratoryjny oraz odczynniki chemiczne, a następnie na forum ustalają procedurę przeprowadzenia eksperymentu (przykładowa dla nauczyciela w materiałach pomocniczych). Nauczyciel rozdaje karty pracy, uczniowie samodzielnie formułują pytanie badawcze i hipotezę, rysują schemat doświadczenia. Uczniowie asystenci wykonują eksperyment wg wcześniej ustalonej procedury. Pozostali obserwują zmiany podczas eksperymentu, zapisują równania reakcji chemicznych, wyciągają wnioski (wszystko zapisują w kartach pracy). Na forum całej klasy następuje weryfikacja pod względem merytorycznym zaprezentowanych efektów pracy przez chętnych uczniów. Równania reakcji chemicznych także chętne osoby zapisują na tablicy, celem sprawdzenia poprawności zapisu. Nauczyciel wyjaśnia ewentualnie zaistniałe niezrozumiałe kwestie.
3. Uczniowie samodzielnie analizują tekst źródłowy e-materiału, zawarty w sekcji „Przeczytaj", dotyczący halogenowania pochodnych benzenu, po czym nauczyciel inicjuje pogadankę w odniesieniu do otrzymywania halogenopochodnych. Ewentualne niezrozumiałe kwestie wyjaśnia je na forum klasy.
4. Nauczyciel poleca uczniom pracę w parach z animacją załączoną do e-materiału. Uczniowie zapoznają się z poleceniem i wykonują zawarte w medium ćwiczenia.
5. Prowadzący zapowiada uczniom, że w kolejnym kroku będą rozwiązywać ćwiczenia nr 3–8. Uczniowie wykonują zadania w parach. Po ustalonym czasie, wybrani uczniowie przedstawiają odpowiedzi, a reszta klasy wspólnie ustosunkowuje się do nich. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje, udziela uczniom informacji zwrotnej. Prowadzący zapowiada uczniom, że w kolejnym kroku będą rozwiązywać ćwiczenia nr 1 i 2 z sekcji „Sprawdź się". Każdy z uczniów robi to samodzielnie. Po ustalonym czasie, wybrane osoby przedstawiają rozwiązania. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje, udziela uczniom informacji zwrotnej.

Faza podsumowująca:

1. Róża wiatrów (patrz materiały pomocnicze). Nauczyciel poprzez zastosowanie tego narzędzia może dokonać ewaluacji zajęć, umieszczając nazwy elementu podlegającego ocenie, np. atmosfera zajęć, przydatność materiałów, stopień zaangażowania uczniów, zainteresowanie tematem, stopień opanowania zagadnienia wynikający z zamierzonych do osiągnięcia celów lekcji, stopień trudności materiału, atrakcyjność lekcji i etc. Przygotowaną „różę" nauczyciel rozdaje uczniom i prosi o zaznaczenie na

każdej osi punktu odpowiadającego ocenie. Następnie punkty na sąsiednich osiach uczniowie łączą ze sobą i w ten sposób każdy otrzymuje swoją „różę", którą wręcza prowadzącemu. Nauczyciel może odnieść się do tego ogólnie na podsumowanie, po wcześniej analizie.

Praca domowa:

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

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Animację uczniowie mogą wykorzystać podczas przygotowywania się do lekcji lub pracy kontrolnej.

Materiały pomocnicze:

1. Nauczyciel przygotowuje do ewaluacji lekcji różę wiatrów. Róża wiatrów jest jedną z graficznych metod pozwalających ocenić jednocześnie wiele elementów zajęć. W przypadku ewaluacji zajęć, na osiach w miejsce kierunku umieść się nazwę elementu podlegającego ocenie (atmosfera zajęć, przydatność materiałów, stopień zaangażowania uczniów, zainteresowanie tematem, stopień opanowania zagadnienia wynikający z zamierzonych do osiągnięcia celów lekcji, stopień trudności materiału, atrakcyjność lekcji). Liczba osi jest dowolna i może być rozbudowywana w zależności od potrzeb. Linię osi podziel na odcinki i przypisz im odpowiednie wartości – od 1 do 10 lub skalę ocen 1-6. Tak przygotowaną „różę" rozdaj uczestnikom i poproś o zaznaczenie na każdej osi punktu odpowiadającego ocenie. Następnie punkty na sąsiednich osiach uczniowie łączą ze sobą i w ten sposób każdy z uczniów otrzymuje swoją „różę", którą wręcza prowadzącemu.
2. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach): Czym różni się reakcja substytucji od addycji? Jakie są warunki halogenowania benzenu? Jakie stosuje się w tej reakcji katalizatory?
3. Doświadczenie chemiczne „Otrzymywanie bromopochodnych węglowodorów":

Plik o rozmiarze 164.30 KB w języku polskim

4. Karty charakterystyk substancji chemicznych.
5. Karta pracy ucznia:

Plik o rozmiarze 66.05 KB w języku polskim