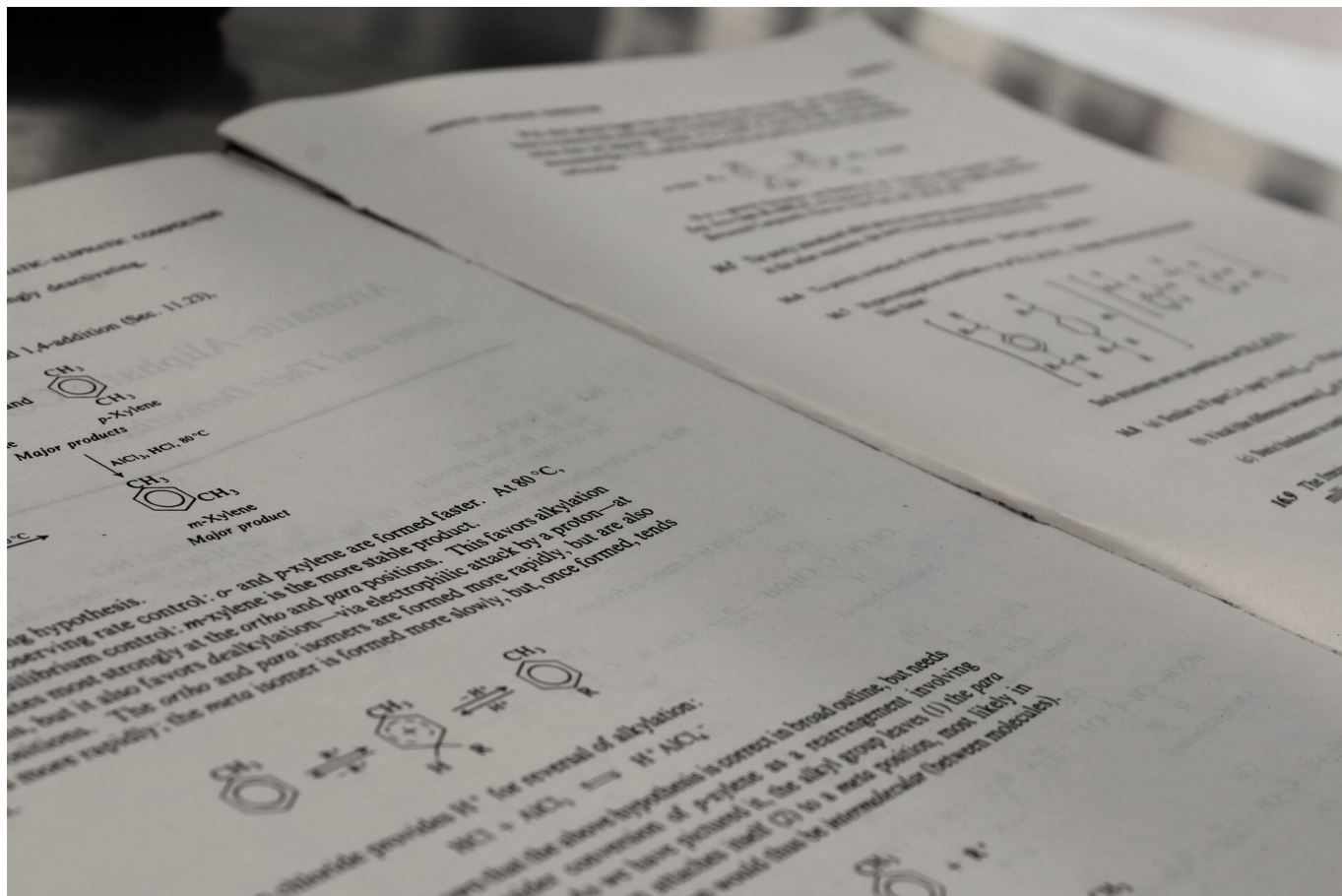
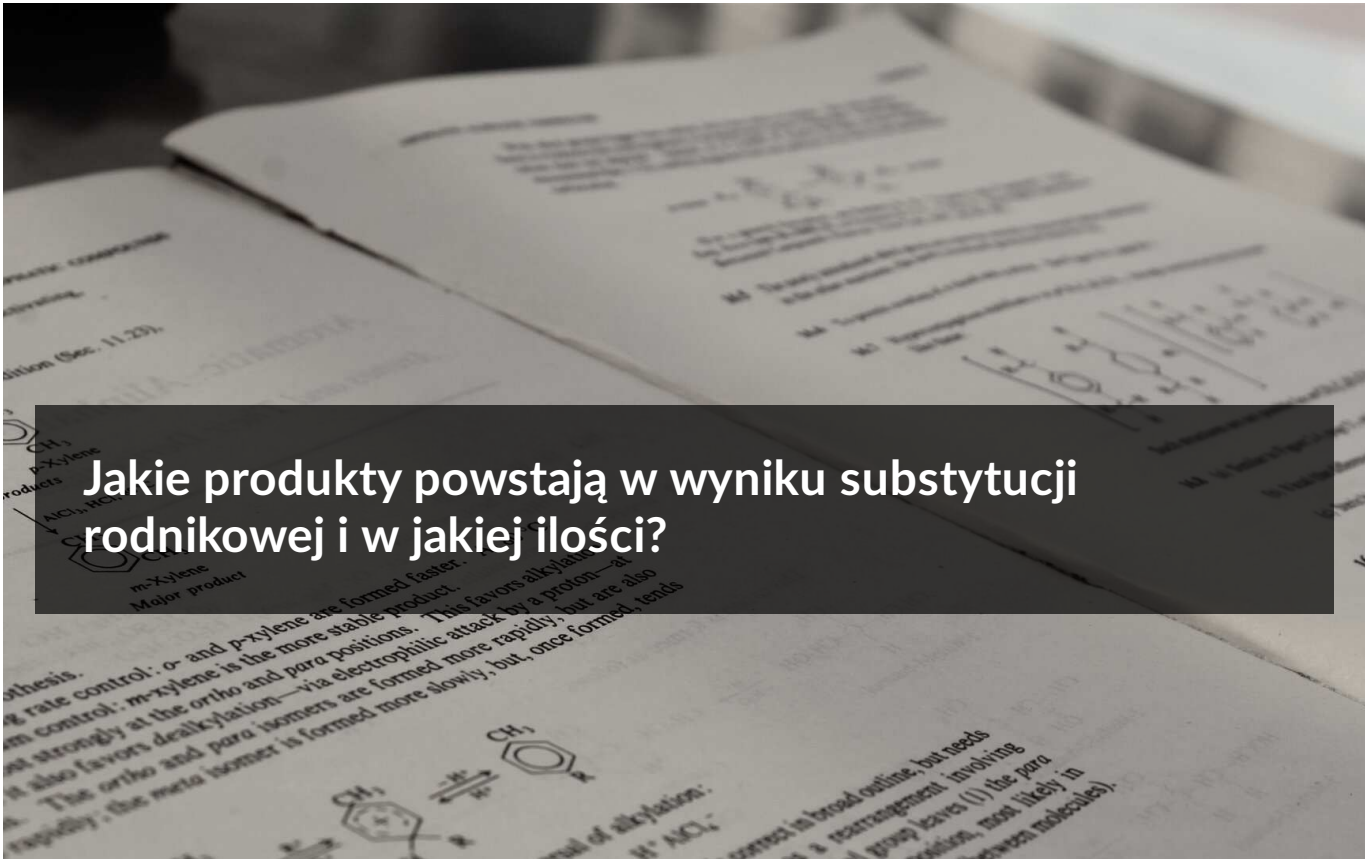




Jakie produkty powstają w wyniku substytucji rodnikowej i w jakiej ilości?

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



Jakie produkty powstają w wyniku substytucji rodnikowej i w jakiej ilości?

Znajomość reguł obowiązujących w chemii organicznej ułatwia przewidywanie rodzajów produktów powstających w reakcjach chemicznych.

Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Wydawać by się mogło, że określenie dokładnej ilości produktu powstającego w reakcji jest równie mało prawdopodobne, jak trafienie „szóstki” w totka. Czy zgadzasz się z tym stwierdzeniem? Czy pamiętasz mechanizm substytucji rodnikowej? Czy wiesz, w jaki sposób można przewidzieć rodzaj i ilość powstających produktów w przypadku, gdy halogenowaniu poddawane są alkan o łańcuchu dłuższym niż w etanie? W tym materiale poznasz reguły, które pozwolą Ci rozwiązać ten problem.

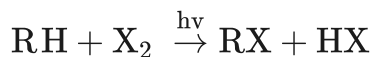
Twoje cele

- Zidentyfikujesz produkty powstałe w reakcji substytucji rodnikowej i narysujesz ich wzory strukturalne oraz podasz nazwy systematyczne.
- Wykorzystasz znajomość rzędowości atomów węgla do oceny ilości produktów halogenowania alkanów.
- Porównasz względną szybkość odrywania atomów wodoru od atomów węgla o różnej rzędowości w reakcjach chlorowania i bromowania.
- Obliczysz ilość (w procentach) produktów powstających w wyniku substytucji rodnikowej.

Przeczytaj

Już wiesz

Reakcja **substytucji** rodnikowej przebiega zgodnie z ogólnym schematem:

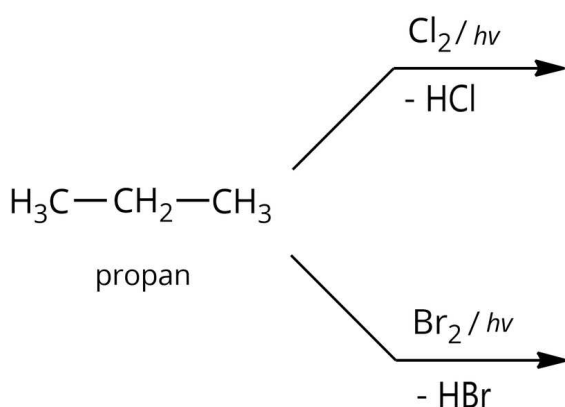


R – reszta cząsteczki danego alkanu

X – fluorowiec (w praktyce chlor albo brom)

Polecenie 1

Przyjrzyj się równaniu reakcji chlorowania i bromowania propanu. Jak myślisz, jakie produkty powstaną w obu przypadkach? Czy potrafisz zapisać wzory strukturalne powstających izomerów? Jakie **rodniki** tworzą się w trakcie reakcji? Narysuj proponowane wzory półstrukturalne produktów chlorowania i bromowania, a następnie sprawdź poprawną odpowiedź.



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.

Jak przewidzieć ilość powstających produktów w reakcji substytucji wolnorodnikowej alkanów?

Podczas halogenowania alkanów o łańcuchach dłuższych niż w etanie powstają produkty izomeryczne. W jaki sposób można przewidzieć, który atom zostanie podstawiony atomem halogenu?

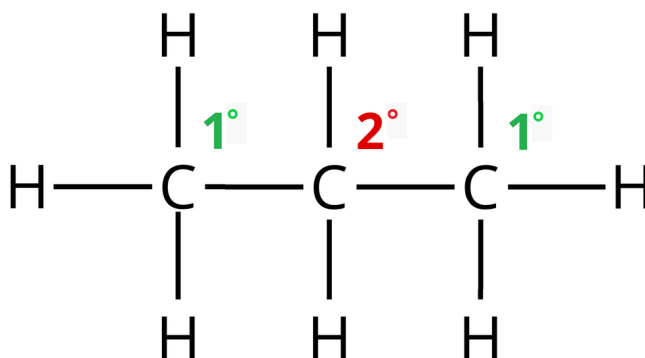
Czy w ten sam sposób przebiega chlorowanie i bromowanie alkanów?

1. Chlorowanie

Polecenie 2

Przeanalizuj poniższe kroki i sprawdź, jak obliczyć liczbę powstających izomerów w trakcie chlorowania propanu.

Krok 1. Oceń rzędowość każdego atomu węgla i liczbę atomów wodorów z nimi związanych.



Propan posiada 6 atomów wodoru przy 1° (pierwszorzędowych) atomach węgla oraz 2 atomy wodoru przy 2° (drugorzędowym) atomie węgla.

Krok 2. Oceń ilość równocennych atomów wodoru.

Krok 3. Ustalenie stosunku procentowego powstających izomerów.

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

2. Bromowanie

Polecenie 3

Przeanalizuj poniższe kroki i sprawdź, jak obliczyć liczbę powstających izomerów w trakcie bromowania propanu.

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

Podsumowanie

Wyznaczona doświadczalnie względna reaktywność atomów wodoru połączonych z atomami węgla o różnej **rzędowości** wskazuje jednoznacznie, że łatwiej ulega oderwaniu atom wodoru połączony z atomem węgla o wyższej rzędowości.

Rzędowość atomów wodoru		1°	2°	3°
Selektywność halogenowania	Chlorowanie	1	3,8	5
	Bromowanie	1	82	1600

Co istotne, bromowanie jest bardziej selektywną reakcją. Podczas bromowania wyjątkowo produkt główny jest zwykle jeden i jego wydajność sięga ok. 99%.

Słownik

substytucja

(łac. *substitutio* „podstawianie”) (inaczej reakcja podstawiania, podstawienie) reakcja chemiczna, w której następuje podstawienie atomu lub grupy atomów innym atomem lub grupą atomów

karborodnik

(łac. *carbo* „węgiel”) rodnik, w którym niesparowany elektron jest zlokalizowany na atomie węgla

rodnik

indywiduum zbudowane z jednego lub powiązanych ze sobą atomów, z niesparowanym elektronem na powłoce walencyjnej jednego z atomów, w umownym zapisie oznacza się go kropką

rzędowość

rzędowość atomu węgla to w praktyce liczba atomów węgla bezpośrednio z nim połączonych; określanie rzędowości atomów wodoru lub atomów węgla o innej hybrydyzacji niż sp^3 jest błędem

atomy równocenne

atomy są równocenne wówczas, gdy podstawienie jednego z nich innym atomem daje ten sam związek chemiczny

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.

Encyklopedia PWN

Majewski W., *Mechanizmy reakcji organicznych*, Lublin 2012.

Morrison R. T., Boyd R. N., *Chemia organiczna*, tłum. W. Antkowiak i in., t. 1-2, Warszawa 2010.

Vollhardt P., Schore N. E., *Organic Chemistry structure and function*, 6th Edition, New York 2007.

Grafika interaktywna

Polecenie 1

Jak przebiega i z jakich etapów składa się substytucja rodnikowa? Zapoznaj się z grafiką interaktywną przedstawiającą etapy substytucji rodnikowej na przykładzie reakcji pomiędzy chlorem i metanem, a następnie odpowiedz na pytania.

Etapy substytucji rodnikowej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o. oprac. na podst. McMurry J., *Chemia organiczna*, PWN, Warszawa, 2005, licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 2

Mając do dyspozycji 2-metylobutan, zastanów się, jakie produkty można otrzymać w wyniku substytucji rodnikowej w reakcji z chlorem i bromem? Przeanalizuj grafikę interaktywną na ten temat, a następnie odpowiedz na pytania.

Substytucja rodnikowa 2-metylobutanu.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., McMurry J., *Chemia organiczna*, wyd. 3, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005, ISBN 83-01-14406-8, licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 1

Jaki jest główny produkt bromowania cząsteczki 2-metylobutanu? Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ 2-bromo-3-metylobutan

☐ 2-bromo-2-metylobutan

☐ 1-bromo-3-metylobutan

☐ 1-bromo-2-metylobutan

Ćwiczenie 2

Rozpisz proces inicjacji substytucji rodnikowej dla cząsteczki bromu.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 3

Przyporządkuj poszczególne reakcje chemiczne do odpowiednich etapów substytucji wolnorodnikowej.

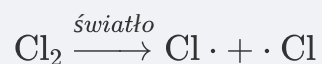
Inicjacja



Propagacja



Terminacja



Sprawdź się

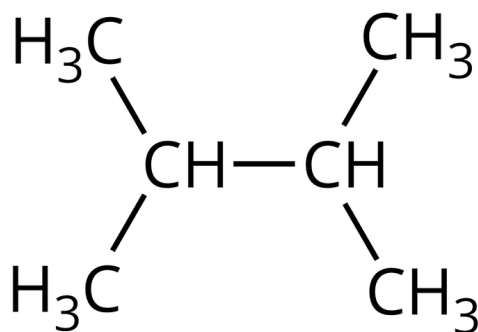
Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Za pomocą rzędowości określany jest stopień podstawienia atomu w cząsteczce.

Oceń liczbę równocennych atomów wodoru 2,3-dimetylobutanu. Zaznacz prawidłowe odpowiedzi.



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

- ☐ dwa atomy wodoru związane z trzeciorzędowymi atomami węgla
- ☐ dwanaście atomów wodoru związanych z pierwszorzędowymi atomami węgla
- ☐ trzy atomy wodoru związane z pierwszorzędowymi atomami węgla
- ☐ dziewięć atomów wodoru związanych z pierwszorzędowymi atomami węgla

Ćwiczenie 2



Produktami monochlorowania 2,3-dimetylobutanu, przebiegającego według mechanizmu rodnikowego, są:

- ☐ wyłącznie 2-chloro-2,3-dimetylobutan
- ☐ 1-chloro-2,3-dimetylobutan oraz 2-chloro-2,3-dimetylobutan
- ☐ wyłącznie 1-chloro-2,3-dimetylobutan i chlorowodór
- ☐ wyłącznie 1-chloro-2,3-dimetylobutan

Ćwiczenie 3



W reakcji monochlorowania propanu, która zachodzi w temperaturze 25°C pod wpływem światła, powstają dwa izomery: 1-chloropropan z wydajnością 45% i 2-chloropropan z wydajnością 55%. Reakcja monobromowania propanu, przebiegająca w temperaturze 127°C pod wpływem światła, prowadzi do powstania analogicznych izomerów, ale w innych proporcjach: 1-bromopropan otrzymuje się z wydajnością równą 3%, a 2-bromopropan – z wydajnością 97%. W reakcji bromowania obserwuje się więc dużą selektywność w stosunku do atomu wodoru ulegającego podstawieniu.

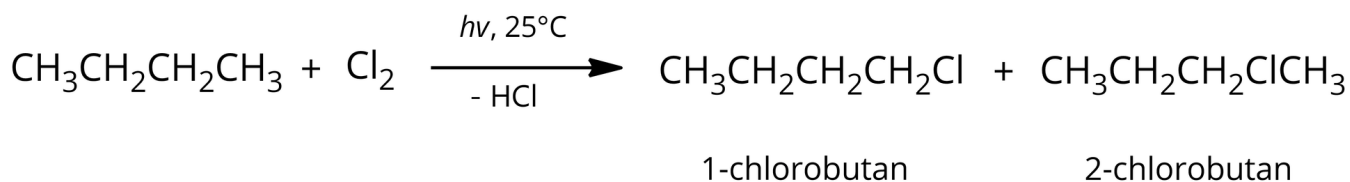
Wstaw w puste pola odpowiednie słowo, by poniższy tekst przedstawiał poprawne informacje.

Podczas halogenowania alkanów łatwiej ulega podstawieniu atom wodoru połączony z atomem węgla o rzędowości. Im reaktywny jest atom halogenu, tym bardziej selektywnie atakuje cząsteczkę alkanu. Wynika z tego, że brom jest reaktywny niż chlor.

Ćwiczenie 4



Dokonano chlorowania butanu zgodnie z równaniem reakcji:



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

W celu obliczenia stosunków powstających izomerów, korzysta się z ogólnego wzoru, uwzględniając reaktywność atomów wodoru połączonych z atomami węgla o różnej rzędowości.

$$\frac{\text{izomer 1}}{\text{izomer 2}} = \frac{\text{liczba atomów wodoru związana z I-rzędowym atomem węgla}}{\text{liczba atomów wodoru związana z II-rzędowym atomem węgla}} \cdot \frac{\text{reaktywność atomów wodoru związanych z I-rzędowym atomem węgla}}{\text{reaktywność atomów wodoru związanych z II-rzędowym atomem węgla}}$$

Uzupełnij podane poniżej równanie odpowiednimi liczbami. Jaki jest stosunek izomerycznych produktów chlorowania?

$$\frac{\text{1-chlorobutan}}{\text{2-chlorobutan}} = \text{---} \cdot \frac{1}{3,8} = \text{---}$$

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

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5



Wykonano doświadczenie, w którym dokonano chlorowania pentanu. W tym celu do probówki z gazowym chlorem wprowadzono pentan i probówkę wystawiono na działanie promieni słonecznych.

Zaznacz atomy wodoru w cząsteczce pentanu, które ulegną najszybciej podstawieniu atomem chloru podczas tej reakcji.

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

Ćwiczenie 6



Ilu produktów należy się spodziewać w reakcji monochlorowania pentanu? Podaj ich nazwy systematyczne oraz narysuj ich wzory półstrukturalne.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 7



Pewien alkan o rozgałęzionym łańcuchu węglowym poddano chlorowaniu, otrzymując dwie izomeryczne monochloropochodne o masie molowej $M = 78,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

Zapisz nazwę i wzór sumaryczny alkanu poddanego chlorowaniu oraz narysuj wzory półstrukturalne (grupowe) obu otrzymanych monochloropochodnych.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8



Zapisz równanie reakcji chlorowania 2-metylopropanu i podaj wzory półstrukturalne produktów oraz ich nazwy systematyczne. Ustal procentową zawartość produktów chlorowania 2-metylopropanu i oceń, której monochloropochodnej w mieszaninie poreakcyjnej jest najwięcej.

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: Agata Jarszak-Tyl, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Jakie produkty powstają w wyniku substytucji rodnikowej i w jakiej ilości?

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

XIII. Węglowodory. Uczeń:

2) opisuje właściwości chemiczne alkanów na przykładzie reakcji: spalania, substytucji (podstawiania) atomu (lub atomów) wodoru przez atom (lub atomy) chloru przy udziale światła; pisze odpowiednie równania reakcji.

Zakres rozszerzony

XIII. Węglowodory. Uczeń:

3) opisuje właściwości chemiczne alkanów na przykładzie reakcji: spalania, substytucji atomu (lub atomów) wodoru przez atom (lub atomy) chloru albo bromu przy udziale światła; 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:

- identyfikuje produkty powstałe w reakcji substytucji rodnikowej i rysuje ich wzory strukturalne oraz podaje nazwy systematyczne;
- wykorzystuje znajomość rzędowości atomów węgla do oceny ilości produktów halogenowania alkanów;
- porównuje względną szybkość odrywania atomów wodoru od atomów węgla o różnej rzędowości w reakcjach chlorowania i bromowania;
- oblicza ilość (w procentach) produktów powstających w wyniku substytucji rodnikowej.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- grafika interaktywna;
- analiza materiału źródłowego;
- metoda JIGSAW;
- ćwiczenia uczniowskie;
- technika zdań podsumowujących.

Formy pracy:

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

Środki dydaktyczne:

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

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel zadaje pytanie: Czy reakcja alkanów z chlorowcami umożliwia otrzymanie jednej pochodnej czy wielu izomerów? Na czym polega reakcja substytucji rodnikowej?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie starają się odpowiedzieć na pytanie: Jak przewidzieć ilość powstających produktów w reakcji substytucji

rodnikowej alkanów?

3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują w portfolio.

Faza realizacyjna:

1. Praca metodą JIGSAW. Nauczyciel dzieli losowo uczniów na grupy – są to tzw. grupy eksperckie. Każdy uczestnik zostaje ekspertem, który w istotny sposób przyczyni się do sukcesu całej grupy. Każdy uczeń występuje w roli uczącego się i nauczającego.
2. Grupy otrzymują arkusze papieru A3 i mazaki. Nauczyciel przydziela im różne zagadnienia do opracowania w ciągu 8 minut:
 - I grupa: chlorowanie alkanów (polecenie 1 i 2 w części przeczytaj);
 - II grupa: bromowanie alkanów (polecenie 1 i 3 w części przeczytaj);
 - III grupa: pojęcie równocześnieść, rzędowość;
 - IV grupa: pojęcie substytucji rodnikowej, pojęcie izomerii.
3. Każda grupa zapoznaje się z informacjami w ramach swojego zagadnienia, korzystając z e-materiału (zwłaszcza informacje przedstawione w części przeczytaj), podręcznika tradycyjnego oraz internetu. W opracowaniach grupy zwracają uwagę na sposób obliczania procentowej zawartości danego izomeru w mieszaninie poreakcyjnej. Efektem pracy powinno być wspólne opracowanie na podstawie dyskusji oraz uczenia się nawzajem.
4. Na umówiony znak uczniowie tworzą nowe grupy tak, aby w każdej nowej grupie znaleźli się eksperci z wszystkich pozostałych grup.
5. Eksperci kolejno relacjonują to, czego nauczyli się w swoich pierwotnych grupach, czyli ekspert grupy I uczy pozostałych tego, czego się nauczył sam przed chwilą itd. Uczący uczestnicy przekazują wiedzę pozostałym uczniom. Każda z grup w ten sposób zapoznaje się z całym materiałem przewidzianym do realizacji na danej jednostce lekcyjnej (czas ok. 7 min).
6. Eksperci wracają do swoich pierwotnych grup, konfrontują zdobytą wiedzę, uzupełniają, sprawdzają, czy wszyscy posiadają zbieżne informacje w omawianych kwestiach.
7. Powrót do notatki z burzy mózgów (faza wstępna lekcji). Uzupełnienie informacji o wiadomości poznane na lekcji. Nauczyciel sprawdza, uzupełnia, ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.
8. Na zakończenie pracy z tekstem nauczyciel prosi uczniów o pracę z medium „grafika interaktywna”. Uczniowie wykonują ćwiczenia do medium. Efektem pracy z medium ma być poznanie warunków reakcji halogenowania alkanów oraz wpływu światła na jej przebieg, a także produktów powstałych w reakcji.
9. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę wykonując ćwiczenia zawarte w e-materiale – sprawdź się.

Faza podsumowująca:

1. Na zakończenie nauczyciel stosuje narzędzie do oceny stopnia opanowania wiadomości i umiejętności z zastosowaniem termometru przez uczniów. Uczniowie na skali temperatury zaznaczają samoprzylepnymi karteczkami, w jakim stopniu opanowali zagadnienia wynikające z zamierzonych do osiągnięcia celów lekcji. Jeżeli ze skali będzie wynikał niski poziom temperatury, uczniowie zastanawiają się, w jaki sposób podnieść swój poziom posiadanej wiedzy?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:

- Dziś nauczyłem/łam się...
- Zrozumiałem/łam, że...
- Zaskoczyło mnie...
- Dowiedziałem/łam się...
- Łatwe było dla mnie...
- Trudność sprawiało mi...

Praca domowa:

1. Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia w e-materiale – sprawdź się.
2. Opisz praktyczne aspekty chlorowania alkanów.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Nauczyciel może wykorzystać medium w sekcji „grafika interaktywna” do pracy przed lekcją. Uczniowie zapoznają się z jego treścią i przygotowują do pracy na zajęciach w ten sposób, żeby móc samodzielnie rozwiązać zadania w temacie i wykonać doświadczenie.

Materiały pomocnicze:

1. Podręczniki do dyspozycji na lekcji:
 - K. Dudek-Różycki, M. Płotek, T. Wichur, *Węglowodory. Repetytorium i zadania*, Wydawnictwo Szkolne OMEGA, Kraków 2020.
 - K. Dudek-Różycki, M. Płotek, T. Wichur, *Kompendium terminologii oraz nazewnictwa związków organicznych. Poradnik dla nauczycieli i uczniów*, Wydawnictwo Szkolne OMEGA, Kraków 2020.
 - K. H. Lautenschläger, W. Schröter, A. Wanninger, *Nowoczesne kompendium chemii*, tłum. A. Dworak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.
 - R. T. Morrison, R. N. Boyd, *Chemia organiczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, t. 1.
2. Nauczyciel przygotowuje narzędzie do oceny stopnia opanowania wiadomości i umiejętności z zastosowaniem termometru przez uczniów.

3. Nauczyciel przygotowuje arkusze papieru A3 i mazaki.