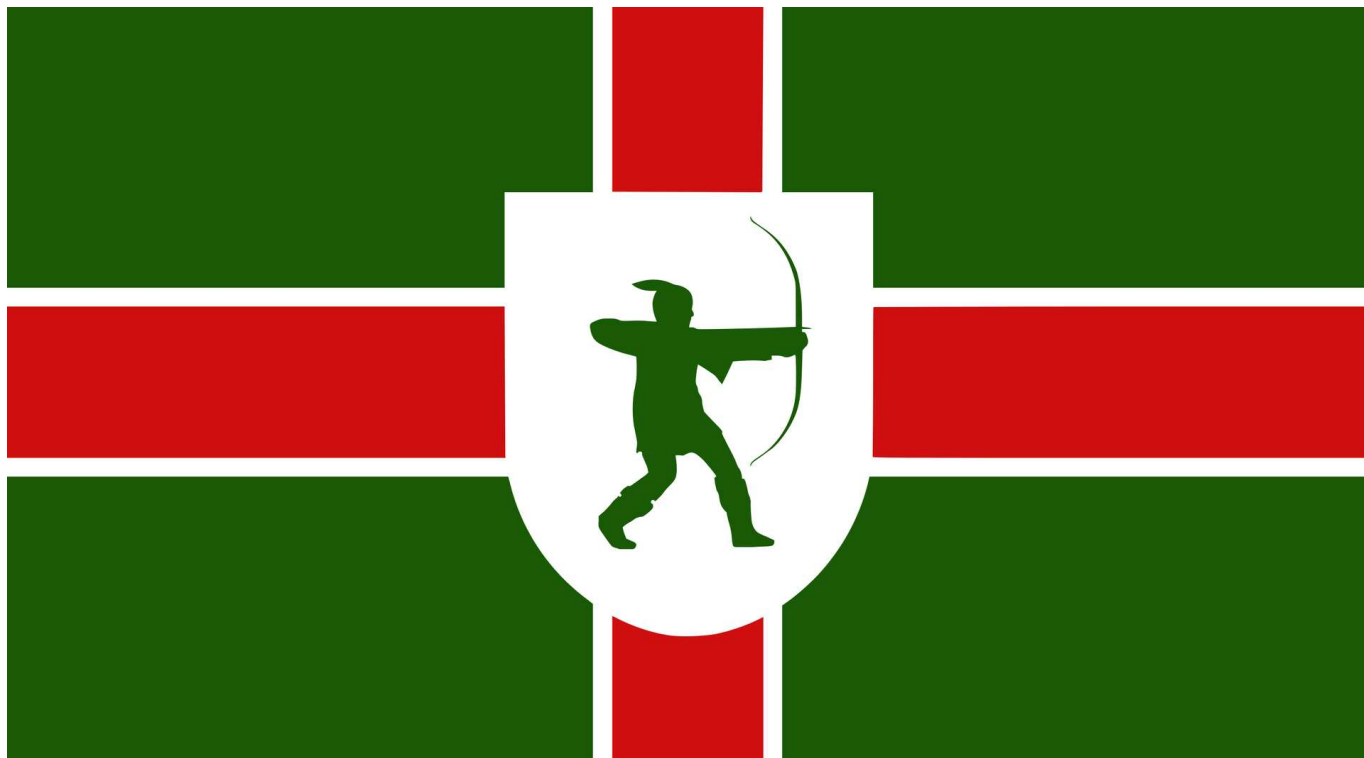




O czym mówi reguła Zajcewa

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



W chemii organicznej, na poziomie szkoły ponadpodstawowej, poznasz pewne niezwykle istotne reguły. Wcześniej omówiona została reguła Markownikowa, która dotyczyła reakcji addycji z udziałem nienasyconych alkenów i alkinów. W dzisiejszym temacie poznasz regułę Zajcewa, która odnosi się do reakcji eliminacji. Zasadę jej działania można określić mianem takiego „chemicznego **anty**-Robin Hooda”. Dowiesz się, na czym dokładnie polega, jak ją zastosować oraz przećwiczysz zdobyte umiejętności.

Twoje cele

- Usystematyzujesz swoją wiedzę dotyczącą reakcji eliminacji.
- Objaśnisz działanie reguły Zajcewa.
- Zastosujesz jej działanie w zadaniach.

Przeczytaj

Reakcja eliminacji

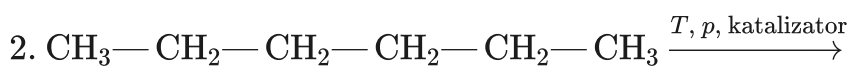
Jak zapewne pamiętasz, alkeny można otrzymać z alkanów lub ich pochodnych poprzez **reakcje eliminacji**. Są to procesy chemiczne, w wyniku których z substratu usunięta zostaje cząsteczka pierwiastka (np. H_2 , Cl_2) lub cząsteczka związku nieorganicznego (takiego jak H_2O czy HBr). W efekcie w cząsteczce produktu powstaje wiązanie π .

Pierwszym przykładem jest reakcja eliminacji wodoru, nazywana inaczej reakcją odwodornienia czy dehydrogenacji. Cząsteczka alkanu, pod wpływem katalizatora, odpowiedniej temperatury i ciśnienia, traci cząsteczkę H_2 .

Zapamiętajmy jednak, że jest to mało praktyczny sposób otrzymywania alkenów. Dlaczego? W przypadku związków o większej liczbie atomów węgla w łańcuchu, jako produkty otrzymamy mieszaninę izomerów.

Polecenie 1

Uzupełnij równania reakcji dehydrogenacji. Ile organicznych produktów powstaje w każdej z nich?



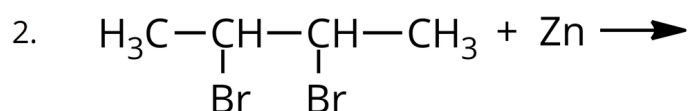
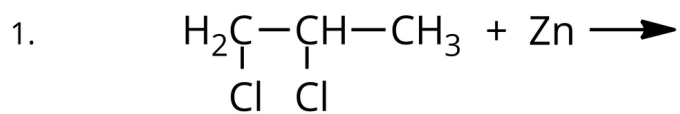
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Innym sposobem na otrzymanie alkenu jest reakcja eliminacji chlorowca (**dehalogenacja**). Działamy na dihalogenopochodną alkanu metalem, zazwyczaj Zn lub Mg .

Polecenie 2

Uzupełnij równania reakcji dehalogenacji.



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

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

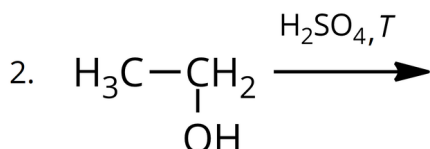
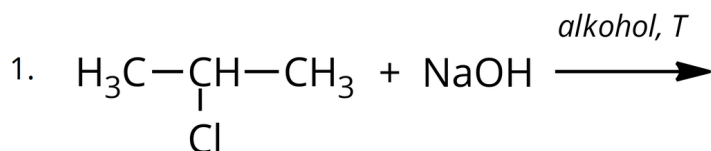
Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Nie możemy zapomnieć o reakcji eliminacji chlorowcowodoru – **dehydrohalogenacji**. Na monochlorowcopochodną alkanu działamy mocną zasadą, w środowisku alkoholowym i w podwyższonej temperaturze.

Alkeny możemy też uzyskać poprzez reakcję **dehydratacji** – eliminacji cząsteczki wody. Cząsteczka alkoholu ulega tej reakcji pod wpływem działania odczynnika odwadniającego (np. Al_2O_3 czy stężony H_2SO_4) i podwyższonej temperatury. Powstaje cząsteczka alkenu i H_2O .

Polecenie 3

Uzupełnij równania reakcji dehydrohalogenacji i dehydratacji. Ilu produktów organicznych spodziewasz się w każdej z nich?



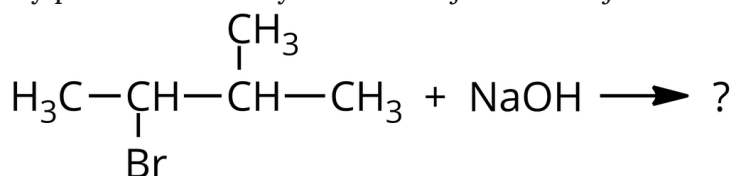
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

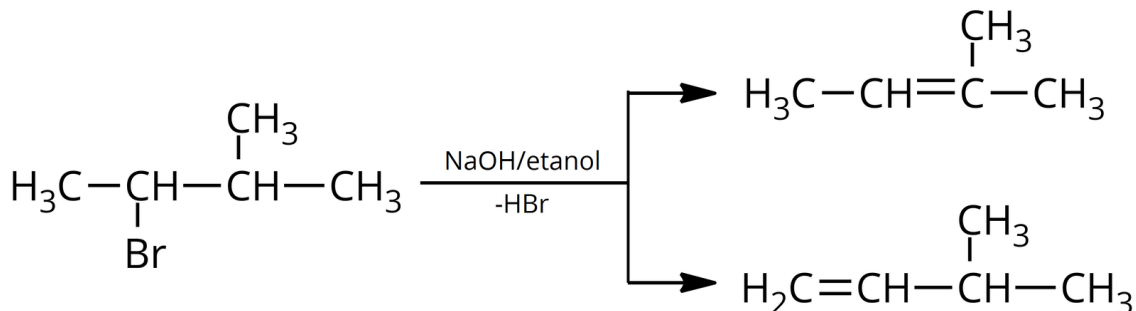
Uzupełnienie produktów reakcji z polecenia nr 3 nie powinno przynosić nam większych trudności. A co w przypadku reakcji eliminacji pochodnych alkanów o dłuższym lub bardziej rozgałęzionym szkielecie węglowym?

Jaki produkt organiczny powstanie w wyniku reakcji eliminacji 2-bromo-3-metylobutanu?



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

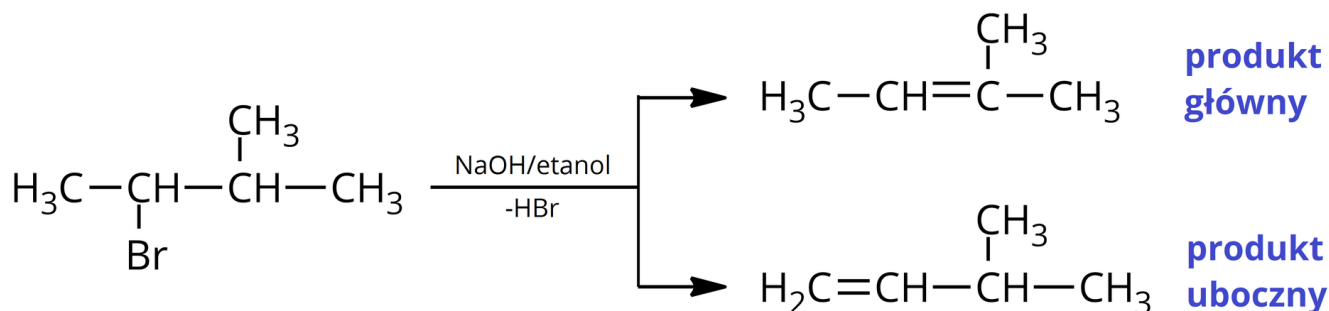
Możemy przewidzieć dwa produkty tej reakcji: 2-metylobut-2-en oraz 3-metylobut-1-en. Ale czy rzeczywiście powstaną oba? W takim samym, a może różnym stosunku molowym?



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

W wyniku przedstawionej reakcji, powstaną oba produkty organiczne, ale w różnym stosunku. Znacznie więcej uzyskamy 2-metylobut-2-en (produkt główny), a 3-metylobut-1

-en stanowić będzie produkt uboczny. Dlaczego tak się dzieje? Skąd wiemy, który ze związków będzie produktem głównym reakcji?



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

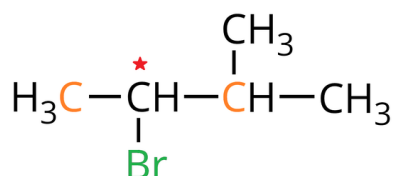
Reguła Zajcewa

Musimy zdawać sobie sprawę z tego, że w przypadku każdej reakcji chemicznej, produkt główny będzie powstawał z trwalszego termodynamicznie stanu przejściowego. Przypomnij sobie znane Ci mechanizmy reakcji. Związek taki tworzy się szybciej i w większej ilości od produktów pobocznych. Co to dla nas oznacza?

Wyjaśnia to tzw. [reguła Zajcewa](#). W reakcji eliminacji cząsteczki HX (gdzie — X to — OH, — Cl, — Br, — I), jako produkty główne powstają bardziej rozgałęzione izomery. Inaczej mówiąc, produktem głównym reakcji eliminacji zawsze będzie związek o największej liczbie podstawników alkilowych, przyłączonych do atomu węgla sąsiadującego z tym, od którego oderwany został atom X.

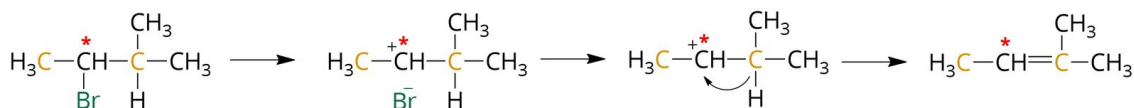
Jak można to przyłożyć na bardziej zrozumiały język? Rozpatrzmy to na wcześniejszym przykładzie.

Czerwoną gwiazdką zaznaczono atom węgla tworzący wiązanie z atomem bromu, który zostanie oderwany. W żółtą czcionką przedstawiono atomy węgla sąsiadujące z tym, z którym połączony jest atom bromu.



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

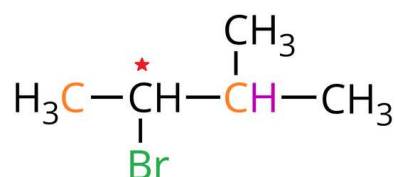
Dzięki działaniu zasady, wiązanie atomu węgla z bromem zostaje rozerwane, a na atomie węgla powstaje cząstkowy ładunek dodatni. Równocześnie, sąsiadujący atom węgla odda związany z nim atom wodoru, a sam wytworzy wiązanie podwójne z atomem węgla z czerwoną gwiazdką.



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

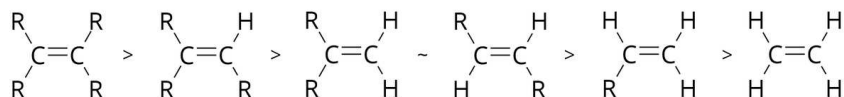
Pozostaje pytanie: który z zaznaczonych sąsiadujących atomów węgla weźmie udział w tym procesie?

Zgodnie z regułą Zajcewa, ten który posiada większą liczbę podstawników alkilowych będzie produktem głównym – oderwany zostanie atom wodoru zaznaczony na fioletowo. W niewielkiej ilości będziemy mieć też produkt uboczny, o czym zostało wspomniane wyżej.



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

Jak prościej można to zapamiętać? Reguła Zajcewa mówi nam, że w reakcjach eliminacji cząsteczki HX odrywamy atom wodoru od tego sąsiadującego atomu węgla, który jest połączony z mniejszą liczbą atomów H (posiada więcej podstawników alkilowych). Można powiedzieć, że dla tego atomu węgla jesteśmy „chemicznym anty-Robin Hoodem” – odbieramy wodór temu, który miał go mniej. Wyjaśnienie to wynika z trwałości termodynamicznej alkenów, która rośnie wraz ze wzrostem rozgałęzienia związku.



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

Podsumowując, sformułujmy regułę Zajcewa (w dwóch wariantach):

W reakcji eliminacji cząsteczki HX (gdzie — X to — OH, — Cl, — Br, — I) głównym produktem jest związek, gdzie atom wodoru został odłączony od tego z atomów węgla, który był związany z mniejszą liczbą atomów wodoru.

W reakcji eliminacji cząsteczki HX (gdzie — X to — OH, — Cl, — Br, — I) głównym produktem jest związek, który posiada największą liczbę podstawników, przyłączonych do atomów węgla przy wiązaniu podwójnym.

Słownik

reakcja eliminacji

reakcja chemiczna, w wyniku której z substratu usunięta zostaje cząsteczka pierwiastka (np. H_2 , Cl_2) lub cząsteczka związku nieorganicznego (np. H_2O czy HBr), w wyniku czego powstaje wiązanie π

reguła Zajcewa

w reakcji eliminacji cząsteczki HX (gdzie $-X$ to $-OH$, $-Cl$, $-Br$, $-I$) głównym produktem jest związek, w którym atom H został odłączony od tego z atomów C , który był związany z mniejszą liczbą atomów H

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, na czym polega reakcja eliminacji? Czy znasz regułę Zajcewa? Skąd wiadomo, który z dwóch produktów reakcji eliminacji powstaje w większej ilości? Zapoznaj się z poniższą animacją, a następnie wykonaj zadania.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DQ9WuP1wu>

Animacja pt. *Reguła Zajcewa*

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

Animacja dotyczy mechanizmu reakcji eliminacji Zajcewa.

Ćwiczenie 1

Zaznacz prawidłowe brzmienie reguły Zajcewa.

- ☐ W przypadku addycji niesymetrycznych cząsteczek typu $\text{H}-\text{X}$ do alkenów, wodór przyłącza się do bardziej uwodornionego atomu węgla.
- ☐ W reakcjach eliminacji, w których powstaje wiązanie $\text{C}=\text{C}$, powstają zawsze w przewodzie bardziej rozgałęzione izomery.
- ☐ W przypadku addycji niesymetrycznych cząsteczek typu $\text{H}-\text{X}$ do alkenów, wodór przyłącza się do mniej uwodornionego atomu węgla.
- ☐ W reakcjach eliminacji, w których powstaje wiązanie $\text{C}=\text{C}$, powstają zawsze w przewodzie mniej rozgałęzione izomery.

Ćwiczenie 2

Jaki będzie główny produkt reakcji eliminacji wody dla 2-metylocykloheksan-1-olu? Podaj nazwę systematyczną tego produktu.

Odpowiedź:

Ćwiczenie 3

Zaznacz, jaką rolę odgrywa zasada w reakcji eliminacji?

☐ Odrywa z cząsteczki heteroatom.

☐ Jest rozpuszczalnikiem.

☐ Deprotonuje cząsteczkę.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1

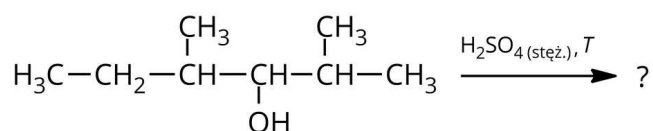


Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 2



Jakiego głównego produktu (produktów) organicznego możemy się spodziewać w przedstawionej reakcji dehydratacji? Zapisz wzór tego związku za pomocą wzoru półstrukturalnego.



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

☐ dimetylo-2,4-heks-2-en

☐ metylo-3-heks-3-en

☐ dimetylo-2,4-heks-3-en

☐ trimetylo-2,3,4-heks-2-en

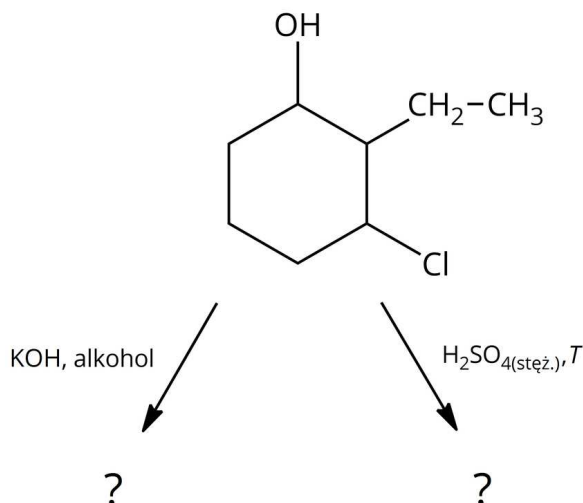
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszytcie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 3



Za pomocą wzorów półstrukturalnych, przedstaw produkty główne zaznaczone na schemacie reakcji.



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

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 4



Przedstaw schemat przemian chemicznych, jakie należy przeprowadzić, aby otrzymać pent-2-en z pen-1-enu. Załóż, że masz do dyspozycji wszelkie niezbędne odczynniki.

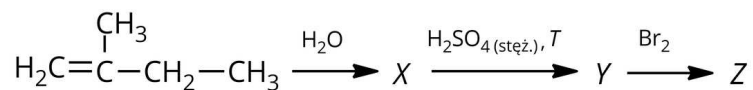
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5



Rozwiąż chemograf. W miejsce liter X , Y , Z wpisz wzory półstrukturalne odpowiednich związków.



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

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 6



Zapisz równanie reakcji 2,2-dijodobutanu z wodorotlenkiem potasu w stosunku molowym 1 : 2, zachodzącej pod wpływem alkoholu etylowego i warunkach podwyższonej temperatury.

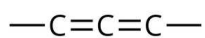
Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszyte do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

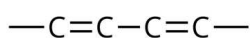
Ćwiczenie 7



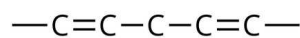
Poniżej przedstawiono schematycznie typy układów wiązań podwójnych:



skumulowany układ
wiązań podwójnych



sprzężony układ
wiązań podwójnych



izolowany układ
wiązań podwójnych

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

Uzupełnij luki propozycjami z listy tak, aby powstało prawdziwe zdanie.

W wyniku reakcji eliminacji cząsteczki HBr z 3-bromo-4-metylopent-1-enu, zgodnie z

, jako produkt główny powstanie , ponieważ .

Markownikowa

nie ma preferencji układu wiązań podwójnych w związkach chemicznych

Hückela

4-metylopent-1,3-dien

skumulowany układ wiązań podwójnych jest korzystny

regułą Zajcewa

sprzężony układ wiązań podwójnych jest korzystny

Ćwiczenie 8



W wyniku szeregu reakcji chemicznych otrzymano 2-bromo-1-metylo-4-(prop-1-en-2-ylo)cykloheksan, zwany umownie związkiem A. Widząc, że w celu otrzymania 1-metylo-4-(prop-1-en-2-ylo)cykloheks-1-enu (limonenu), należy dokonać reakcji dehydrohalogenacji związku A, zapisz równanie reakcji, posługując się wzorami szkieletowymi związków organicznych.

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: Patrycja Leszczenko, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: O czym mówi reguła Zajcewa?

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

XII. Wstęp do chemii organicznej. Uczeń:

7) klasyfikuje reakcje związków organicznych ze względu na typ procesu (addycja, eliminacja, substytucja, polimeryzacja, kondensacja).

XIV. Hydroksylowe pochodne węglowodorów – alkohole i fenole. Uczeń:

3) opisuje właściwości chemiczne alkoholi na przykładzie reakcji: spalania, reakcji z HCl, zachowania wobec sodu, utlenienia do związków karbonylowych, eliminacji wody, reakcji z kwasami karboksylowymi; pisze odpowiednie równania reakcji.

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.

XIV. Hydroksylowe pochodne węglowodorów – alkohole i fenole. Uczeń:

3) opisuje właściwości chemiczne alkoholi na przykładzie reakcji: spalania, z HCl i HBr, zachowania wobec sodu, utlenienia do związków karbonylowych, eliminacji wody, reakcji z nieorganicznymi kwasami tlenowymi i kwasami karboksylowymi; 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:

- definiuje pojęcia: reakcja eliminacji, produkt główny, produkt uboczny;
- pisze równania reakcji eliminacji alkanów;
- interpretuje regułę Zajcewa w zadaniach;
- określa produkty główne i uboczne reakcji eliminacji.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- pogadanka;
- analiza materiałów źródłowych;
- ćwiczenia uczniowskie;
- animacja;
- technika termometr.

Formy pracy:

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

Środki dydaktyczne:

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

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie tematem. Nauczyciel może zapisać na tablicy dowolną reakcję dehydrohalogenacji lub dehydratacji nieco bardziej złożonego alkanu w celu wywołania wśród uczniów dyskusji na temat spodziewanych produktów. Warto wspomnieć o znaczeniu reguły Zajcewa w projektowaniu syntez wieloetapowych.
2. Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie odpowiadają na postawione pytanie: Na czym polega reguła Zajcewa?
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. Przypomnienie i uporządkowanie wiedzy uczniów na temat reakcji eliminacji (rodzaje, odczynniki, produkty). Uczniowie mogą korzystać z e-materiału w sekcji „przeczytaj”.
2. Postawienie uczniów przed problemem – przykład reakcji dehydrohalogenacji/dehydratacji alkanu, w którym może powstać więcej niż jeden produkt – polecenie 2 i 3 w e-materiale w sekcji „przeczytaj”.
3. Na podstawie przykładu z punktu 2, uczniowie podejmują próbę nadania brzmienia regule Zajcewa. Nauczyciel podsumowuje pomysły uczniów i podaje brzmienie reguły Zajcewa.
4. Uczniowie w parach pracują z medium bazowym – animacją. Uczniowie wykonują polecenie i przypisane do niego ćwiczenia. Po wyznaczonym czasie wszyscy uczniowie dyskutują nad otrzymanymi wynikami i wyciągniętymi wnioskami. Zadaniem nauczyciela jest sprawdzenie poprawności odpowiedzi.
5. 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. Na zakończenie nauczyciel stosuje narzędzie do oceny stopnia opanowania wiadomości i umiejętności z zastosowaniem termometru przez uczniów. Uczniowie na skali temperatury zaznaczają cenkami, 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?

Praca domowa:

Dokończenie zadań z zestawu ćwiczeń interaktywnych – dla uczniów, którzy nie zdążyli wykonać na lekcji.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Uczniowie mogą wykonywać zadania w medium interaktywnym pojedynczo lub w parach, jednak każdy powinien prowadzić swoje notatki.

Materiały pomocnicze:

Nauczyciel przygotowuje narzędzie do oceny stopnia opanowania wiadomości i umiejętności z zastosowaniem termometru przez uczniów oraz cenki dla uczniów.