NOTATKA MATURALNA · ROZDZIAŁ 9

Kwasy karboksylowe, estry i tłuszcze

XVI. Kwasy karboksylowe; XVII. Estry i tłuszcze (podstawa programowa, zakres rozszerzony)

Notatka dla ucznia przygotowana do matury z chemii na poziomie rozszerzonym (podstawa programowa 2024, Dz.U. 2024 poz. 1019). Oryginalne opracowanie – nie jest materiałem Centralnej Komisji Egzaminacyjnej. Do użytku własnego ucznia.

Kwasy karboksylowe: budowa i nazwy

Grupa funkcyjna to **grupa karboksylowa –COOH**, a **reszta kwasowa** to fragment R–COO–. W nazwie systematycznej atom C grupy –COOH należy do łańcucha głównego i ma lokant 1. Nazwa kwasu to nazwa węglowodoru z końcówką „-owy", a nazwa anionu ma końcówkę „-anian".

Wzór	Nazwa systematyczna	Nazwa zwyczajowa
HCOOH	kwas metanowy	kwas mrówkowy
CH_3COOH	kwas etanowy	kwas octowy
C_6H_5COOH	kwas benzenokarboksylowy	kwas benzoesowy
$C_{15}H_{31}COOH$	kwas heksadekanowy	kwas palmitynowy
$C_{17}H_{35}COOH$	kwas oktadekanowy	kwas stearynowy
$C_{17}H_{33}COOH$	kwas (Z)-oktadec-9-enowy	kwas oleinowy

Kwasy alifatyczne mają grupę –COOH przy łańcuchu węglowym, aromatyczne – przy pierścieniu benzenowym. Kwasy tłuszczowe to wyższe kwasy monokarboksylowe: palmitynowy i stearynowy są nasycone, oleinowy ma jedno wiązanie C=C. Nasycony kwas monokarboksylowy i nasycony ester o tej samej liczbie atomów C (wzór ogólny $C_nH_{2n}O_2$) są izomerami konstytucyjnymi, bo różnią się grupą funkcyjną. Zastosowania: kwas octowy (ocet, konserwant), kwas benzoesowy (konserwant), kwasy tłuszczowe (mydła); estry o zapachach owoców (aromaty), tłuszcze (magazyn energii, produkcja mydeł).

Otrzymywanie, kwas metanowy i kwasy nienasycone

Kwasy karboksylowe powstają przez utlenianie **alkoholi pierwszorzędowych** (przez aldehyd) i **aldehydów**. Utleniaczem może być odczynnik Tollensa, świeży wodorotlenek miedzi(II) albo $K_2Cr_2O_7$ w środowisku kwasowym.

- $R–CH_2OH \rightarrow R–CHO \rightarrow R–COOH$;
- $R–CHO + 2Cu(OH)_2 \rightarrow R–COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$ (ceglasty osad).

Kwas metanowy ma atom C grupy –COOH połączony z atomem H, więc jego cząsteczka zawiera fragment H–C=O jak aldehyd i ulega utlenianiu. Dlatego tylko on spośród prostych kwasów daje próbę Tollensa. Kwas etanowy ma przy tym atomie C grupę metylową i próby nie daje.

Kwas nienasycony (oleinowy) odbarwia wodę bromową w reakcji addycji do wiązania C=C. Nasycony kwas stearynowy tego nie robi. Obserwacja to odbarwienie wody bromowej, a nie „zachodzi reakcja".

Moc kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe są **słabe** (K_a rzędu 10^{-4}–10^{-5}), więc dysocjacja jest odwracalna i zapisujesz ją strzałką ⇄. Zgodnie z teorią Brønsteda–Lowry'ego kwas oddaje proton wodzie:

$CH_3CH_2COOH + H_2O \rightleftarrows CH_3CH_2COO^- + H_3O^+$ (anion propanianowy).

- **Dłuższy łańcuch alkilowy** – kwas słabszy, bo grupa alkilowa przesuwa elektrony w stronę grupy –COOH.
- **Silnie elektroujemny podstawnik** (np. Cl przy C2) – kwas mocniejszy.
- Szereg mocy: H_2SO_4 > kwasy karboksylowe > H_2CO_3.

pH słabego kwasu: przy małym stopniu dysocjacji $[H^+] = \sqrt{(K_a \cdot c)}$, a $pH = -\log[H^+]$. Wynik podajesz z dokładnością wskazaną w poleceniu.

Porównanie mocy z doświadczenia: kwas mocniejszy wypiera słabszy z roztworu jego soli. Jeśli kwas etanowy rozkłada węglan z wydzieleniem CO_2, jest mocniejszy od kwasu węglowego. Brak zmian po dodaniu kwasu węglowego do etanianu sodu oznacza, że jest od niego słabszy.

Sole i amidy

Sole kwasów karboksylowych powstają w reakcjach z czterema typami reagentów:

Reagent	Przykład (kwas etanowy)	Obserwacja
metal aktywny	$2CH_3COOH + Mg \rightarrow (CH_3COO)_2Mg + H_2\uparrow$	pęcherzyki gazu, metal ubywa
tlenek metalu	$2CH_3COOH + CaO \rightarrow (CH_3COO)_2Ca + H_2O$	tlenek się roztwarza
wodorotlenek	$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$	brak widocznych zmian (zobojętnianie)
sól słabszego kwasu	$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O$	pęcherzyki CO_2

Forma jonowa skrócona dla kwasu słabego zachowuje jego cząsteczkę: $2CH_3COOH + CO_3^{2-} \rightarrow 2CH_3COO^- + CO_2 + H_2O$. Nie zapisujesz H_2CO_3 jako produktu, bo rozkłada się na CO_2 i H_2O. Roztwór soli kwasu karboksylowego ma odczyn zasadowy: $RCOO^- + H_2O \rightleftarrows RCOOH + OH^-$.

Amidy $R–CONH_2$ powstają m.in. przez ogrzewanie soli amonowych: $CH_3COONH_4 \rightarrow CH_3CONH_2 + H_2O$.

Hydroksykwasy

Hydroksykwas ma w cząsteczce grupy **–OH i –COOH**, np. kwas mlekowy i jabłkowy (grupa –OH alkoholowa) oraz salicylowy (grupa –OH fenolowa). W kwasach mlekowym i jabłkowym z NaOH i z HCO_3^- reagują wyłącznie grupy –COOH, bo alkoholowa grupa –OH nie ma właściwości kwasowych wobec roztworów wodnych. W kwasie salicylowym z HCO_3^- reaguje tylko –COOH, a z NaOH w nadmiarze także fenolowa –OH (2 mole NaOH na mol kwasu).

Hydroksykwasy alkoholowe tworzą dwa rodzaje estrów:

- **międzycząsteczkowe** – laktyd (estr cykliczny z dwóch cząsteczek) albo poliester. Powstawanie poliestru to **polikondensacja**, w której wydziela się woda, a w łańcuchu powtarza się mer –O–CH(R)–CO–;
- **wewnątrzcząsteczkowe – lakton**, gdy w cząsteczce powstaje trwały pierścień pięcio- lub sześcioczłonowy. Pierścień zawiera atom tlenu, a wzór laktonu to wzór hydroksykwasu minus H_2O. Z kwasu 4-hydroksybutanowego powstaje pierścień pięcioczłonowy: cztery atomy C i jeden O.

Wzór poliestru nie jest produktem polimeryzacji i nie powstaje przez otwarcie wiązania C=C.

Estry, estryfikacja i równowaga

Estry zawierają grupę estrową –COO–. Nazwa: anion kwasu + nazwa grupy alkilowej alkoholu, np. etanian etylu, butanian metylu. Kolejność reszt we wzorze ma znaczenie: R–COO–R′ to inny ester niż R′–COO–R.

Estryfikacja: $R–COOH + R'–OH \rightleftarrows R–COO–R' + H_2O$ (stęż. H_2SO_4, ogrzewanie). Kwas traci grupę –OH, alkohol – atom wodoru, więc tlen wiązania estrowego pochodzi z alkoholu. Stężony H_2SO_4 jest **katalizatorem** i wiąże wodę, co sprzyja estrowi. Katalizator przyspiesza osiągnięcie stanu równowagi, ale nie zmienia jego położenia.

$K_c = [ester][H_2O] / ([kwas][alkohol])$. Zgodnie z regułą przekory wydajność estru rośnie, gdy:

- stosujesz **nadmiar** jednego z substratów,
- **usuwasz wodę lub ester** z układu (np. oddestylowujesz ester).

Dodatek katalizatora, dłuższy czas i sama zmiana temperatury bez uzasadnienia nie są poprawną odpowiedzią na pytanie o położenie równowagi.

Estry kwasów nieorganicznych powstają z alkoholi i kwasów, np. $H_3BO_3 + 3CH_3OH \rightleftarrows B(OCH_3)_3 + 3H_2O$ (boran trimetylu) oraz $CH_3(CH_2)_{11}OH + H_2SO_4 \rightarrow CH_3(CH_2)_{11}OSO_3H + H_2O$ (monoester). Alkohol łączy się z kwasem przez atom tlenu, a nie wiązaniem C–S.

Hydroliza estrów

Hydroliza to rozkład wiązania estrowego z udziałem wody. Przebieg zależy od środowiska:

Cecha	Środowisko kwasowe	Środowisko zasadowe
odczynnik	woda z katalizatorem H^+ (np. H_2SO_4)	roztwór NaOH lub KOH, ogrzewanie
produkty	kwas karboksylowy + alkohol	sól kwasu karboksylowego + alkohol
przebieg	odwracalna, stan równowagi (⇄)	praktycznie nieodwracalna (→)
przykład	$CH_3CH_2COOC_2H_5 + H_2O \rightleftarrows CH_3CH_2COOH + C_2H_5OH$	$CH_3CH_2COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3CH_2COONa + C_2H_5OH$

W środowisku zasadowym zasada reaguje z powstającym kwasem i przesuwa równowagę, dlatego reakcja zachodzi do końca. W zasadowej hydrolizie nie zapisujesz kwasu jako produktu. Jeżeli ester ma też grupę fenolową (np. salicylan metylu), z NaOH reaguje i grupa estrowa, i fenolowa, więc zużywasz 2 mole NaOH.

Podgląd • Pierwsza Ławka

Tłuszcze

Tłuszcze to estry glicerolu (propano-1,2,3-triolu) i wyższych kwasów tłuszczowych. Cząsteczka ma trzy wiązania estrowe, np. tripalmitynian glicerolu: $(C_{15}H_{31}COO)_3C_3H_5$.

- **Tłuszcze stałe** – przeważają reszty kwasów nasyconych.
- **Tłuszcze ciekłe (oleje)** – przeważają reszty kwasów nienasyconych; wiązania C=C w konfiguracji *cis* utrudniają ścisłe upakowanie cząsteczek.
- **Uwodornienie** wiązań C=C (utwardzanie) zmienia olej w tłuszcz stały.
- **Zmydlanie** to hydroliza zasadowa: $(RCOO)_3C_3H_5 + 3NaOH \rightarrow C_3H_5(OH)_3 + 3RCOONa$.

W hydrolizie kwasowej powstają glicerol i trzy cząsteczki kwasu tłuszczowego: $(RCOO)_3C_3H_5 + 3H_2O \rightleftarrows C_3H_5(OH)_3 + 3RCOOH$.

Liczbę wiązań C=C w tłuszczu można ustalić z ilości dodanego bromu (stosunek molowy tłuszczu do Br_2), a z niej – ile reszt kwasów nienasyconych zawiera cząsteczka.

Mydła, detergenty i usuwanie brudu

Mydła to sole sodowe lub potasowe wyższych kwasów tłuszczowych. **Detergenty** (np. dodecylosiarczan sodu) to inne związki o podobnej budowie. Obie grupy to substancje powierzchniowo czynne: mają **długi niepolarny (hydrofobowy) łańcuch** i **polarną (jonową, hydrofilową) głowę**.

- W anionie dodecylosiarczanowym fragment hydrofobowy to $CH_3(CH_2)_{11}-$, a hydrofilowy $-OSO_3^-$. W anionie mydła głowa to $-COO^-$.
- W wodzie cząsteczki tworzą **micele**: ogony kierują się do wnętrza, głowy ku wodzie. Brud tłuszczowy jest zamknięty w micelach i spłukiwany.
- Roztwór mydła ma odczyn zasadowy (hydroliza anionu).
- W **wodzie twardej** aniony mydła tworzą z Ca^{2+} i Mg^{2+} trudno rozpuszczalne sole: $2C_{17}H_{35}COO^- + Ca^{2+} \rightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca\downarrow$.

Ciągi przemian i obliczenia

Ciąg przemian: alkohol → aldehyd → kwas → ester → hydroliza. Gdy znasz produkt, cofaj się: nazwa estru wskazuje i kwas, i alkohol. Etanian propan-2-ylu pochodzi z kwasu etanowego i propan-2-olu, a alkohol drugorzędowy utlenia się do ketonu, nie do kwasu.

Obliczenia z wydajnością: licz ilość teoretyczną z równania, potem mnóż przez η. Masy molowe bierz z tablic CKE z dokładnością podaną w poleceniu.

Przykład: z 0,100 mol kwasu etanowego i nadmiaru etanolu teoretycznie powstaje 0,100 mol etanianu etylu ($M \approx 88{,}1\ g \cdot mol^{-1}$, czyli 8,81 g). Przy wydajności 70% otrzymasz $8{,}81\ g \cdot 0{,}70 \approx 6{,}17\ g$.

Równowaga: zapisz tabelę „początek – zmiana – stan równowagi" w molach. Jeżeli zmiany ilości są takie same dla substratów i produktów (współczynniki 1:1:1:1), objętość się skraca w K_c. Wydajność względem kwasu to ilość estru w równowadze podzielona przez początkową ilość kwasu.

Hydroliza z miareczkowaniem: ester ogrzewasz z nadmiarem zasady, nadmiar odmiareczkowujesz kwasem, a z ilości zużytej zasady wyznaczasz masę molową estru (stosunek molowy ester : zasada = 1 : 1 dla estru kwasu monokarboksylowego).

Podgląd • Pierwsza Ławka

CO JESZCZE JEST W ŚRODKU

Notatki do matury z chemii (poziom rozszerzony) – rozdział 9: Kwasy karboksylowe, estry i tłuszcze, dla ucznia

Podgląd pokazał 3 z 4 stron. Pełna wersja: 4 stron A4, PDF do druku.

- Kwasy karboksylowe: budowa i nazwy
- Otrzymywanie, kwas metanowy i kwasy nienasycone
- Moc kwasów karboksylowych
- Sole i amidy
- Hydroksykwasy
- Estry, estryfikacja i równowaga
- Hydroliza estrów
- Tłuszcze
- Mydła, detergenty i usuwanie brudu
- Ciągi przemian i obliczenia
- ramka „Słowa kluczowe z zasad oceniania” – czego wymaga klucz CKE przy poleceniach z tego działu,
- ramka „Najczęstsze błędy na maturze” – tak traci się punkty i tak jest dobrze,
- ramka „Zapamiętaj” – reguły i skróty do szybkiej powtórki.

Kup pełną wersję – plik od razu na e-mail

pierwszalawka.pl/material/chemia-matura-notatka-rozdzial-09-kwasy-karboksylowe-i-estry