



**LABORATORIUM
TAJEMNIC**

✦ NOWOCZESNE METODY CHEMII ANALITYCZNEJ ✦

KONDUKTOMETRIA

Marcin Świątkowski

ŁÓDŹ, 18/11/2025

Czym jest konduktometria?

Konduktometria to dział chemii analitycznej, który zajmuje się pomiarami **przewodnictwa elektrycznego roztworów elektrolitów**. Nazwa pochodzi od łacińskiego słowa "conducere", które oznacza "przewodzić". W praktyce oznacza to pomiar zdolności roztworu do przewodzenia prądu elektrycznego, co jest związane z obecnością i **ruchem jonów – nośników ładunku**.



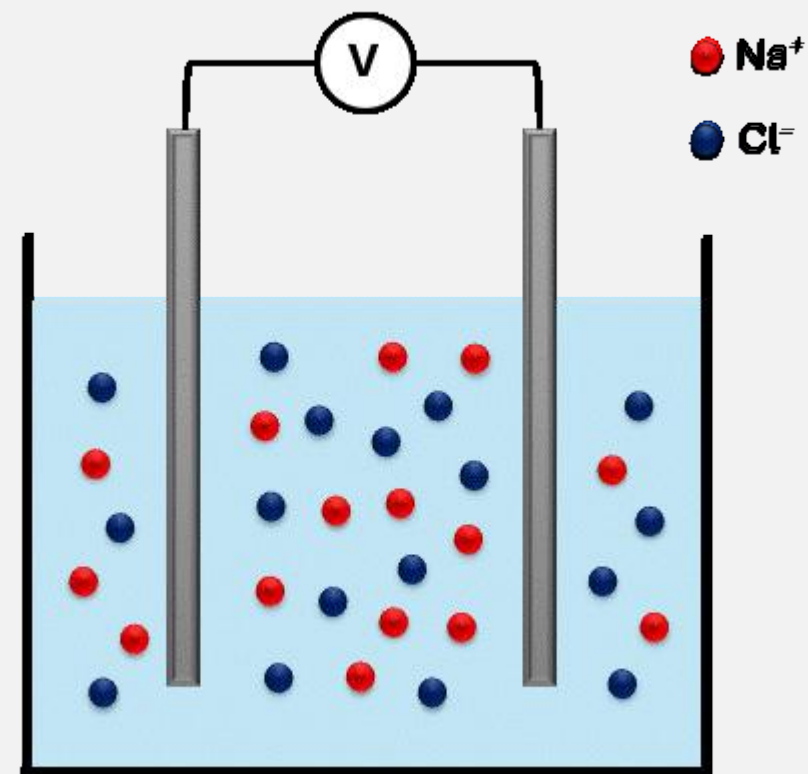
Konduktometr stacjonarny
www.mt.com

Prawo Ohma

$$R = \frac{U}{I}$$

Przewodnictwo elektryczne (G)

$$G = \frac{1}{R}$$



Podstawowe pojęcia, prawa i wzory

Przewodnictwo elektryczne (G)

$$G = \frac{1}{R} \quad \left[S = \frac{1}{\Omega} \right] \text{ SIMENS}$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

długość
przekrój

opór właściwy

$$G = \kappa \frac{S}{l}$$

powierzchnia elektrod
odległość między elektrodami

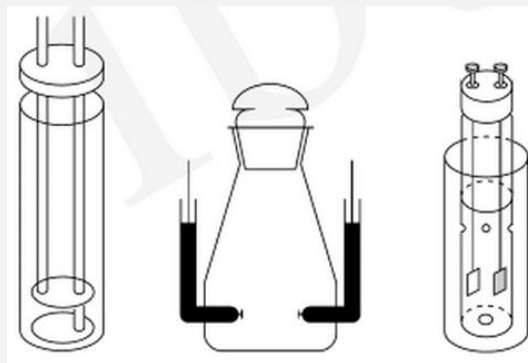
przewodnictwo właściwe

Przewodnictwo właściwe (κ)

$$\kappa = G \frac{l}{S} \quad \kappa = G \cdot k \left[\frac{S}{cm} \right]$$

$k = \frac{l}{S}$

stała naczynka



Różne typy naczynek konduktometrycznych
W. Szczepaniak. Metody instrumentalne w analizie chemicznej. Wydawnictwo Naukowe PWN. 2007.

Przewodnictwo molowe (Λ)

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c} \cdot 1000 \left[\frac{S \cdot cm^2}{mol} \right]$$

1000 - przelicznik dm³ na cm³

Podstawowe pojęcia, prawa i wzory



Prawo Kohlrauscha (prawo niezależnej wędrówki jonów) w warunkach nieskończonego rozcieńczenia każdy jon wnosi do całkowitego przewodnictwa swoisty, stały wkład, niezależny od obecności innych jonów. Dlatego **graniczne przewodnictwo molowe (Λ^0)** elektrolitu jest po prostu sumą wkładów poszczególnych jonów, z uwzględnieniem ich liczby wynikającej z dysocjacji (ν^+ i ν^-).

$$\Lambda^0 = \nu^+ \lambda^{0+} + \nu^- \lambda^{0-}$$

$$\kappa = 10^{-3} \cdot \sum c_i \lambda_i$$

(10^{-3} – przelicznik dm^3 na cm^3)

Graniczne przewodnictwa molowe jonów w temperaturze 25°C

Kation	λ^0 [$\text{S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$]	Anion	λ^0 [$\text{S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$]
H^+	349,8	OH^-	197,6
Li^+	38,7	Cl^-	76,3
Na^+	50,1	Br^-	77,7
K^+	73,5	I^-	76,8
NH_4^+	73,5	NO_3^-	71,4
Ag^+	61,9	SO_4^{2-}	160,0
Ca^{2+}	119,0	CO_3^{2-}	166,6
Ba^{2+}	130,0	CH_3COO^-	40,9

Od czego zależy przewodnictwo roztworów?

1. Rodzaj elektrolitu i rozpuszczalnika

- Stopień dysocjacji – mocne elektrolity (np. NaCl, HCl) vs słabe elektrolity (np. CH₃COOH).
- Ruchliwość jonów – przewodnictwo molowe jonu.
- Lepkość rozpuszczalnika – im jest wyższa, tym trudniej jonom się poruszać.

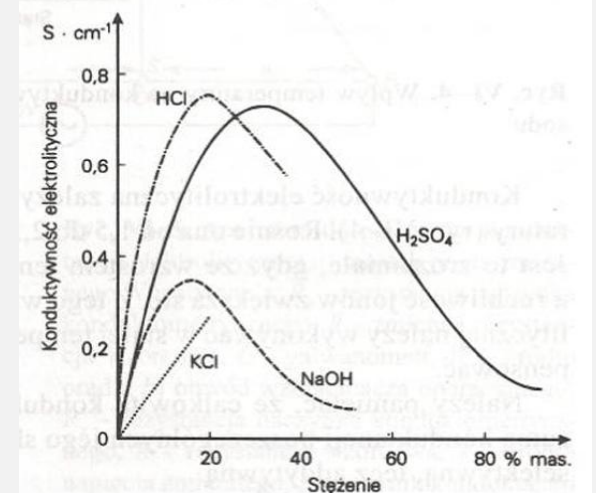
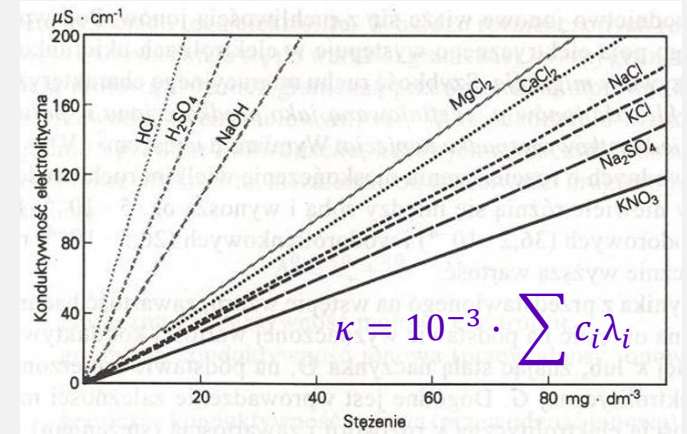
2. Stężenie elektrolitu

- Rozcieńczone roztwory – proporcjonalna zależność między przewodnictwem właściwym a stężeniem elektrolitu
- Stężone roztwory - oddziaływania między jonami, malejący stopień dysocjacji (zwłaszcza w przypadku słabych elektrolitów).

3. Temperatura

Wzrost temperatury powoduje zwiększenie przewodnictwa z powodu:

- zwiększenia ruchliwości jonów
- zmniejszenia lepkości rozpuszczalnika



Zależność przewodnictwa właściwego wodnych roztworów od ich stężenia (temp. 20°C) dla roztworów rozcieńczonych (góra) oraz w szerokim zakresie stężeń roztworów (dół)

M. Jarosz, E. Malinowska. Pracowania Chemiczna. Analiza Instrumentalna. WSiP. 1999.

Przykładowe zadania



Zadania obliczeniowe

1. W naczynku konduktometrycznym o stałej $k = 1,05 \text{ cm}^{-1}$ umieszczono roztwór NaCl o stężeniu $0,005 \text{ mol/dm}^3$ i zmierzono opór $R = 1800 \text{ } \Omega$. Oblicz przewodnictwo molowe tego roztworu.

$$G = \frac{1}{R} = 5,55 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

$$\kappa = k \cdot G = 5,85 \cdot 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$$

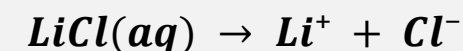
$$\Lambda = \frac{\kappa \cdot 1000}{c} = 116,7 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

2. Oblicz graniczne przewodnictwo molowe Λ^0 roztworów chlorku litu (LiCl) i chlorku wapnia (CaCl_2) w roztworze o nieskończonym rozcieńczeniu.

Graniczne przewodnictwa molowe jonów w temperaturze 25°C

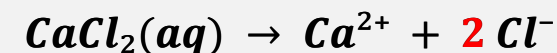
Kation	λ^0 [S·cm ² ·mol ⁻¹]	Anion	λ^0 [S·cm ² ·mol ⁻¹]
Li ⁺	38,7	Cl ⁻	76,3
Ca ²⁺	119,0		

$$\Lambda^0 = \nu^+ \lambda^{0+} + \nu^- \lambda^{0-}$$



$$\Lambda^0(\text{LiCl}) = \lambda^0(\text{Li}^+) + \lambda^0(\text{Cl}^-)$$

$$\Lambda^0(\text{LiCl}) = 38,7 + 76,3 = 115,0 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Lambda^0(\text{CaCl}_2) = \lambda^0(\text{Ca}^{2+}) + 2 \cdot \lambda^0(\text{Cl}^-)$$

$$\Lambda^0(\text{CaCl}_2) = 119,0 + 2 \cdot 76,3 = 271,6 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$



Zastosowanie konduktometrii



Konduktometria bezpośrednia polega na jednorazowym pomiarze przewodnictwa roztworu i na tej podstawie określeniu jego stężenia. Wymaga to jednak wcześniejszego przygotowania tzw. krzywej wzorcowej. Sporządza się ją, mierząc przewodnictwo serii roztworów wzorcowych o znanych stężeniach, a następnie tworząc wykres zależności przewodnictwa od stężenia. Znając przewodnictwo badanej próbki, można z wykresu odczytać odpowiadające mu stężenie.

Przykłady zastosowań

- Badania środowiskowe - badania jakości gleby, zasolenia wód powierzchniowych
- Kontrola procesów przemysłowych - monitorowanie stężenia soli w wodach kotłowych
- Przemysł spożywczy – kontrola jakości produktów spożywczych na podstawie zawartości składników mineralnych: soki, mleko, miody itd.
- Przemysł farmaceutyczny i kosmetyczny – kontrola czystości wody do przygotowywania produktów farmaceutycznych i kosmetycznych





Przykładowe zadania

Informacja do zadania

Jednym z kluczowych parametrów pozwalających na odróżnienie miodu nektarowego (kwiatowego) od spadziowego jest jego przewodnictwo elektryczne właściwe. Zależy ono głównie od zawartości składników mineralnych, określanych jako "popiół". Im więcej składników mineralnych, tym wyższe przewodnictwo. Zależność ta jest na tyle dobrze zbadana, że pozwala na obliczenie zawartości popiołu (P) w procentach na podstawie pomiaru przewodnictwa właściwego (κ). Empirycznie wyznaczony wzór, wiążący zawartość popiołu (P) w miodzie z przewodnictwem właściwym (κ) jego roztworu przygotowanego zgodnie z procedurą pomiarową, ma postać:

$$P [\%] = 0,274 \cdot \kappa - 0,046$$

gdzie κ to przewodnictwo właściwe wyrażone w milisimensach na centymetr [mS/cm].

W laboratorium analitycznym badano próbkę ciemnego miodu. W tym celu przygotowano zgodnie z procedurą pomiarową roztwór zawierający 20 g suchej masy miodu w 100 ml wody dejonizowanej i zmierzono jego **przewodnictwo właściwe** w temperaturze 20°C, które wyniosło **1,15 mS/cm**

Polecenie:

1. Na podstawie przedstawionego wzoru i wyniku pomiaru oblicz zawartość popiołu (P) w badanej próbce miodu.
2. Określ, czy badany miód jest miodem nektarowym, czy spadziowym. Uzasadnij swoją odpowiedź.

Odpowiedź:

$$P = 0,274 \cdot \kappa - 0,046$$

$$P = 0,274 \cdot 1,15 - 0,046$$

$$P = 0,2691 \% \approx 0,27 \%$$

Klasyfikacja miodów na podstawie zawartości popiołu:

- miód nektarowy (kwiatowy): $P < 0,17 \%$
- miód spadziowy lub kasztanowy: $P \geq 0,17 \%$

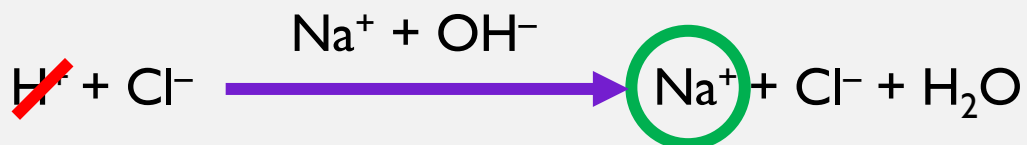
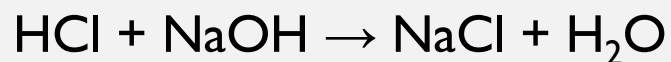
Miód spadziowy



Zastosowanie konduktometrii



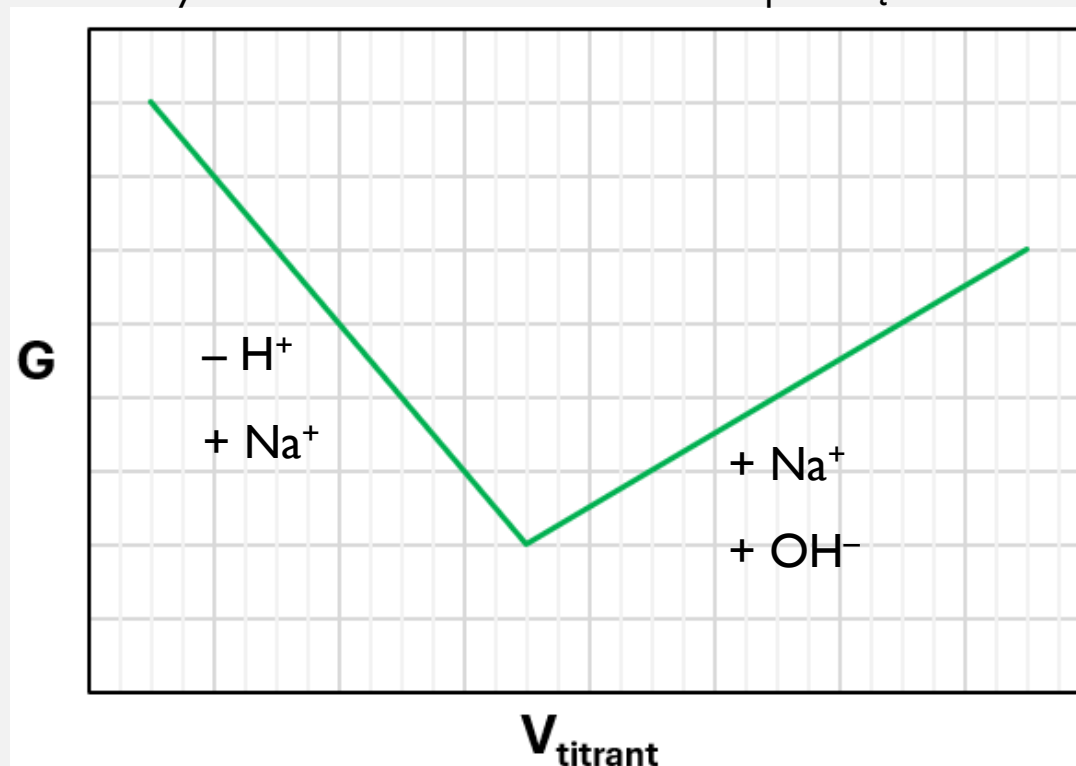
Miareczkowanie konduktometryczne to technika, w której punkt końcowy miareczkowania wyznacza się na podstawie zmian przewodnictwa roztworu, w trakcie miareczkowania. W wyniku zachodzącej reakcji chemicznej jedne jony są zastępowane przez inne, często o innej ruchliwości. Punkt końcowy miareczkowania wyznacza się graficznie, kreśląc wykres zależności przewodnictwa od objętości dodanego titranta. Punkt przecięcia prostych wykreślonych dla danych sprzed i po punkcie końcowym wskazuje na ten punkt.



Graniczne przewodnictwa molowe jonów w temperaturze 25°C

Kation	λ^0 [S·cm ² ·mol ⁻¹]	Anion	λ^0 [S·cm ² ·mol ⁻¹]
H ⁺	349,8	OH ⁻	197,6
Na ⁺	50,1	Cl ⁻	76,3

Krzywa miareczkowania roztworu HCl za pomocą NaOH



Przykładowe zadania

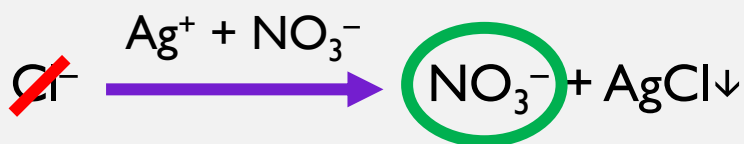
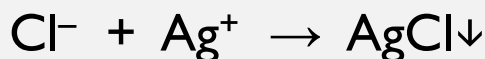
Informacja do zadania

Zawartość jonów chlorkowych (Cl^-) jest jednym z podstawowych parametrów oceny jakości wód pitnych i powierzchniowych. Ich nadmierne stężenie może wskazywać na zanieczyszczenie ściekami komunalnymi lub przemysłowymi, a także wpływać na smak wody i korozyjność rurociągów. Jedną z metod oznaczania chlorków jest miareczkowanie strąceniowe roztworem azotanu(V) srebra(I). Punkt końcowy tej reakcji można precyzyjnie wyznaczyć śledząc zmiany przewodnictwa elektrycznego roztworu.

Do analizy pobrano $100,0 \text{ cm}^3$ próbki wody ze studni głębinowej. Jako titranta użyto roztworu AgNO_3 o stężeniu $c = 0,020 \text{ mol/dm}^3$.

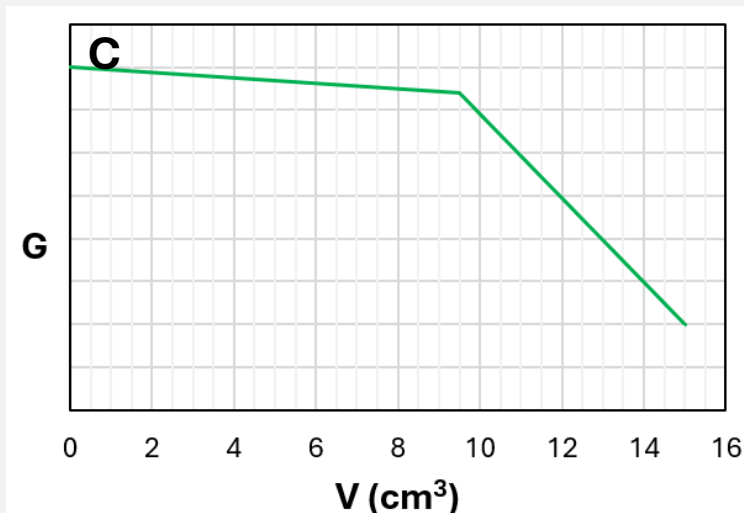
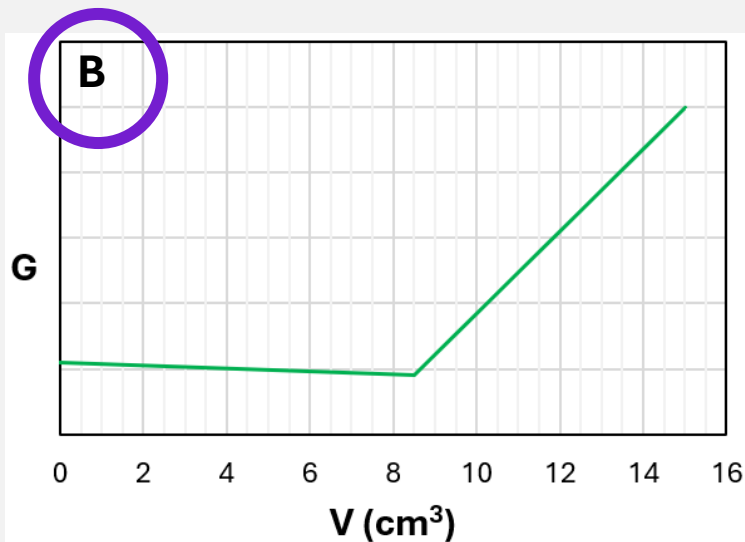
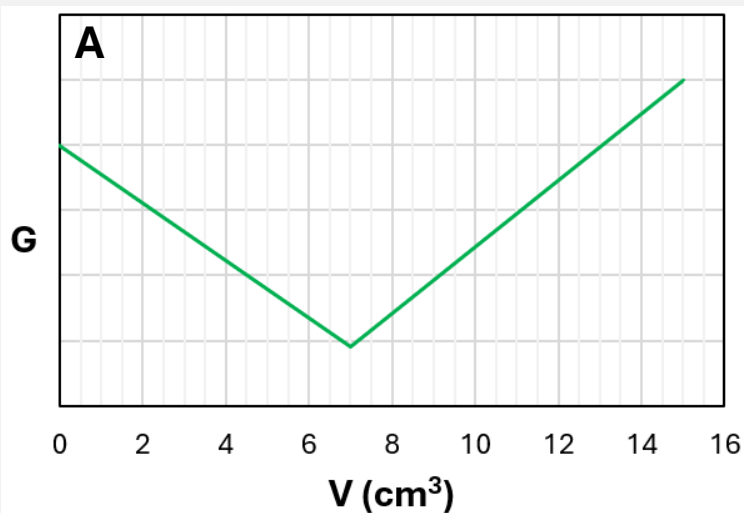
Polecenie I

Poniżej przedstawiono trzy krzywe miareczkowania (A, B, C). Wybierz tę, która poprawnie przedstawia zmiany przewodnictwa podczas miareczkowania roztworu zawierającego jony chlorkowe roztworem AgNO_3 .



Graniczne przewodnictwa molowe jonów w temperaturze 25°C

Kation	λ^0 [S·cm ² ·mol ⁻¹]	Anion	λ^0 [S·cm ² ·mol ⁻¹]
Ag^+	61,9	Cl^-	76,3
		NO_3^-	71,4



Przykładowe zadania

Polecenie 2

Uzasadnij swój wybór, analizując zmiany stężeń i ruchliwości jonów w roztworze (Tabela I). Wybierz jedno uzasadnienie spośród A-C oraz jedno spośród D-F

	Przed punktem końcowym:	Przed punktem końcowym:
A	przewodnictwo gwałtownie spada, ponieważ z roztworu usuwane są jony srebra(I) (Ag^+) w postaci osadu AgCl , a w roztworze przybywa jonów azotanowych(V) (NO_3^-) o dużo niższej ruchliwości.	D przewodnictwo rośnie, ponieważ po całkowitym strąceniu jonów chlorkowych dalsze dodawanie titranta (AgNO_3) powoduje wzrost stężenia jonów Ag^+ i NO_3^- w roztworze.
B	przewodnictwo gwałtownie rośnie, ponieważ dodawane do roztworu jony srebra(I) (Ag^+) mają znacznie większą ruchliwość niż obecne w roztworze jony chlorkowe.	E przewodnictwo gwałtownie spada, ponieważ nadmiar jonów Ag^+ powoduje wytrącanie się dodatkowych, nieprzewodzących prądu związków srebra.
C	przewodnictwo nieznacznie spada, ponieważ oznaczane jony chlorkowe (Cl^-) są usuwane z roztworu w postaci osadu AgCl , a w ich miejsce wprowadzane są jony azotanowe(V) (NO_3^-) o nieco mniejszej ruchliwości.	F przewodnictwo pozostaje na stałym, niskim poziomie, ponieważ po wytrąceniu całego osadu roztwór staje się nasycony i nie przewodzi już prądu.

Polecenie 3

Z wybranego wykresu odczytaj objętość roztworu AgNO_3 potrzebną do całkowitego strącenia jonów chlorkowych. Oblicz następnie stężenie jonów chlorkowych (Cl^-) w badanej wodzie. Wynik wyraż w mg/dm^3 z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Objętość AgNO_3 : $8,5 \text{ cm}^3$ $\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$

$$n_{\text{Cl}^-} = n_{\text{Ag}^+}$$

$$c_{\text{Cl}^-} \cdot V_{\text{Cl}^-} = c_{\text{Ag}^+} \cdot V_{\text{Ag}^+}$$

$$c_{\text{Cl}^-} = \frac{c_{\text{Ag}^+} \cdot V_{\text{Ag}^+}}{V_{\text{Cl}^-}}$$

$$c_{\text{Cl}^-} = \frac{0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 0,0085 \text{ dm}^3}{0,1 \text{ dm}^3} = 1,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Zamiana jednostki stężenia z mol/dm^3 na mg/dm^3 wymaga przemnożenia przez masę molową chloru ($35,45 \text{ g/mol}$) i zamiany gramów na miligramy:

$$c_{\text{Cl}^-} = 1,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 35,45 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1000 \frac{\text{mg}}{\text{g}} = 60,3 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^3}$$



Przykładowe zadania

Zadanie typu prawda/fałsz

ZDANIE	P/F
W czystej wodzie destylowanej przewodnictwo właściwe w 25°C jest dokładnie równe 0 S/cm.	F
Stała naczynka konduktometrycznego (k) zależy od rodzaju i stężenia badanego elektrolitu, dlatego musi być wyznaczana przed każdym pomiarem innej próbki.	F
Przewodnictwo molowe (Λ) mocnego elektrolitu, np. KBr, rośnie wraz ze wzrostem jego stężenia w roztworze.	F
Podwyższenie temperatury wodnego roztworu NaCl z 20°C do 30°C spowoduje spadek jego przewodnictwa właściwego	P
Wyższe przewodnictwo miodu spadziowego w porównaniu do nektarowego sugeruje, że jest on bogatszy w składniki mineralne.	P
Podczas miareczkowania konduktometrycznego mocnego kwasu mocną zasadą, do momentu osiągnięcia punktu równoważnikowego obserwuje się spadek przewodnictwa roztworu.	P





LABORATORIUM
TAJEMNIC



Dziękuję za uwagę

Zapraszamy do kontaktu:
biuro@fundacja.p.lodz.pl



FUNDACJA
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



Ministerstwo
Edukacji Narodowej

Dofinansowano ze środków Budżetu Państwa, których
dysponentem jest Ministerstwo Edukacji Narodowej