

Z Katedry Chemii Nieorganicznej Wydziału Mat.-Fiz.-Chem. UMCS
Kierownik: prof. dr Włodzimierz Hubicki

Włodzimierz HUBICKI, Alina STASIEWICZ

**Polarograficzna redukcja niektórych jonów nieorganicznych
w ciekłym amoniakacie rodanku amonu**

**Полярографическое восстановление некоторых неорганических ионов
в жидком $\text{NH}_4\text{NCS}\cdot n\text{NH}_3$**

**Polarographische Reduktion von einigen anorganischen Ionen
im flüssigen $\text{NH}_4\text{NCS}\cdot n\text{NH}_3$**

Ciekły amoniak rodanku amonu jako rozpuszczalnik i roztwór podstawowy w analizie polarograficznej po raz pierwszy został zastosowany do katodowej redukcji jonów Tl^+ i Pb^{2+} przez Hubickiego [10], a nieco później przez Curtiego i Locchiego [3, 4].

Ciekły amoniak rodanku amonu, jak już wykazano w poprzedniej pracy, jest dobrym rozpuszczalnikiem dla wielu substancji nieorganicznych i organicznych [21].

Z dotychczas poznanych ciekłych amoniaków w analizie polarograficznej zastosowano następujące:

amoniak azotanu amonu $\text{NH}_4\text{NO}_3\cdot n\text{NH}_3$ zwany cieczą Diversa (AAA), [24, 9],

amoniak azotanu litu $\text{LiNO}_3\cdot n\text{NH}_3$ (AAL), [11],

amoniak nadchloranu litu $\text{LiClO}_4\cdot n\text{NH}_3$ (ANL), [13],

amoniak jodku amonu $\text{NH}_4\text{I}\cdot n\text{NH}_3$ (AJA), [12],

amoniak rodanku sodu $\text{NaNCS}\cdot n\text{NH}_3$, (ARS), [10].

Wszystkie te amoniaki mogą być uważane jako roztwory odpowiednich soli w ciekłym NH_3 , a ich zastosowanie w analizie polarograficznej za poszerzenie zakresu zastosowania ciekłego NH_3 jako rozpuszczalnika w temp. powyżej 0°C . Badania polarograficzne w ciekłym amoniaku jako rozpuszczalniku niewodnym prowadzone były przez

szereg lat przez Laitinen a i współprac. [14—17]. Potencjał rozkładu ciekłego NH_3 ($-2,3$ V) jest bardziej ujemny niż wymienionych amoniaków, jednak konieczność stosowania niskich temperatur (-36°C) i odpowiedniej aparatury znacznie ogranicza jego zastosowanie. Ostatnie wzmianki w literaturze o możliwości zastosowania ciekłego NH_3 w analizie polarograficznej w temp. pokojowej podają, że badania takie były przeprowadzane w odpowiedniej aparaturze i pod ciśnieniem około 10 atm. [20].

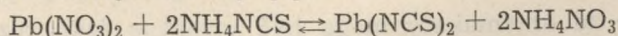
Trwałość ciekłego amoniaku rodanku amonu w szerokim zakresie temperatur (od -76°C do 80°C) oraz mała prężność amoniaku nad roztworem umożliwiają jego zastosowanie w temperaturze pokojowej. Przewodnictwo elektryczne $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ według pomiarów Foote'a i Huntera [6] wynosi $0,1979 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (w temp. 0°C i przy zawartości 75% NH_3). W dalszym ciągu pracy na określenie $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ używać będziemy skrótu ARA (amoniak rodanku amonu).

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Ciekły amoniak rodanku amonu (ARA) otrzymano przez działanie na bezwodny NH_4NCS gazowym suchym amoniakiem w sposób opisany w poprzedniej pracy [21]. Nasycanie prowadzone było w temp. pokojowej. Otrzymana w ten sposób ciecz daje się zupełnie dobrze przechowywać dowolnie długo w temp. około 18°C . Skład otrzymanego amoniaku wyraża się stosunkiem $\text{NH}_4\text{NCS} : \text{NH}_3 = 1 : 2,4$; gęstość cieczy 0,9345.

Do pomiarów polarograficznych używano polarografu Heyrovskiego V 301, akumulatorów ołowianych oraz normalnej kapilary rtęciowej o charakterystyce $t = 3,2$ sek., $m = 2,852$ mg. Zbiornik rtęci znajdował się zawsze na wysokości 37 cm. Anodę tworzyła spoczynkowa (kałużowa) elektroda rtęciowa. Używane naczynka polarograficzne miały kształt probówek. Powierzchnia rtęci tworzącej elektrodę kałużową wynosiła ok. 1 cm^2 . Wtopiony drut platynowy w dno naczynka pozwalał na zamknięcie obwodu elektrolizy. Roztwory badanych rodanków miały stężenia ok. $0,001 \text{ mol/l}$. Bezpośrednio przed pomiarem przez badany roztwór przepuszczano gazowy bezwodny NH_3 .

Do badań polarograficznych używano bezwodnych rodanków odpowiednich metali otrzymanych według przepisów podanych w literaturze $\text{Pb}(\text{NCS})_2$ — w myśl reakcji [2]:



Otrzymaną sól suszono w eksykatorze próżniowym nad stęż. H_2SO_4 .

CuSCN — przez wprowadzenie do wodnego roztworu CuSO_4 gazowego SO_2 i roztworu NH_4NCS . Wytrącony bezwodny krystaliczny osad CuSCN sączono, przemywano gorącą wodą i suszono w temp. 105°C [22].

Wszystkie pozostałe rodanki, $\text{Zn}(\text{NCS})_2$ [23], $\text{Co}(\text{NCS})_2$ [8], $\text{Cd}(\text{NCS})_2$ [7], $\text{Ni}(\text{NCS})_2$ [19] i $\text{Cr}(\text{NCS})_3$ [1], otrzymano działając na odpowiednie siarczany rodankiem baru. Po odsączeniu wytrąconego BaSO_4 roztwory rodanków zateżano na łaźni wodnej, a następnie dwukrotnie krystalizowano z H_2O . Bezwodne sole otrzymywano przez suszenie początkowo w ekzykatorze nad stęż. H_2SO_4 , a następnie przez kilka tygodni w ekzykatorze próżniowym nad stęż. H_2SO_4 .

CuSO_4 — (cz. d. a. F. O. Ch. — Gliwice) odwadniano w temp. 200°C .

Czysty roztwór ARA daje dobrze odtwarzalne polarogramy bez żadnych zakłóceń. Przy czułości galwanometru 1/200 rozkład cieczy następuje przy potencjale — 1,55 V względem anody rtęciowej (ryc. 1, krzywa 1). Niewielki dodatek wody nie wywołuje zmiany ani krzywej polarograficznej, ani potencjału rozkładowego cieczy podstawowej. Pomiarzy prowadzone były w temp. pokojowej.

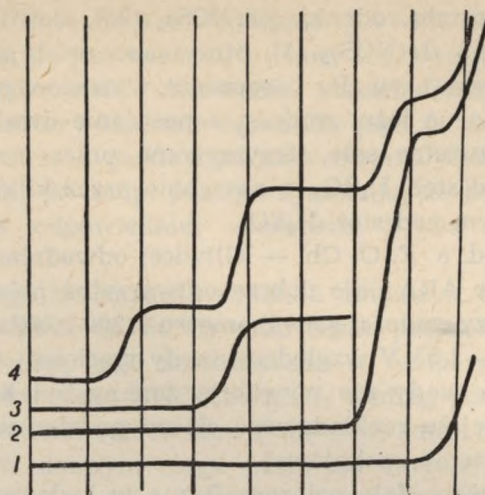
Dobrze zarysowane fale polarograficzne w badanym rozpuszczalniku otrzymano dla następujących kationów: Pb^{2+} , Cd^{2+} , Tl^+ , In^{3+} , Sn^{4+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} i Cr^{3+} . Z wyżej wymienionych kationów tylko Cu^{2+} ulega dwustopniowej redukcji, pozostałe jony dają pojedyncze fale polarograficzne.

Pb^{2+} — daje jedną dobrze zarysowaną falę polarograficzną o potencjale półfali wyznaczonym metodą graficzną — 0,36 V względem wewnętrznej elektrody rtęciowej (ryc. 1, krzywa 4).

Zn^{2+} — obserwowana fala redukcji cynku wykazuje maksimum dobrze tłumione żelatyną $E_{1/2} = -1,26$ V (ryc. 1, krzywa 2).

Cd^{2+} — $E_{1/2}$ otrzymanej fali wynosi — 0,75 V (ryc. 1, krzywa 3).

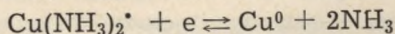
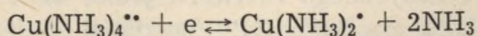
Cr^{3+} — w ciekłym ARA daje falę polarograficzną o potencjale półfali względem anody rtęciowej — 1,05 V. Kształt fali sugeruje redukcję nieodwracalną. Podobny obraz polarograficzny daje metaliczny chrom, który stosunkowo szybko rozpuszcza się w ARA (ryc. 2, krzywa 1). Jeżeli natomiast wprowadzić do roztworu bezwodny Cr_2O_3 otrzymuje się trzy fale polarograficzne różnej wysokości (ryc. 2, krzywa 2). Pierwsza fala o potencjale $E_{1/2} = -0,78$ V, druga i trzecia zlewają się ze sobą. Wysokości tych fal przedstawiają się następująco: najwyższa jest druga fala (odpowiada ona fali obserwowanej w przypadku użycia roztworu $\text{Cr}(\text{NCS})_3$, najniższa jest fala trzecia. To różne zachowanie się Cr^{3+} wynikać może z odmiennej struktury powstających kompleksów. Laitinen [18] z nasyconego roztworu jodku czterobutyloamoniowego w ciekłym amoniaku dla jonu Cr^{3+} otrzymał dwie fale, których potencjały półfali względem elektrody rtęciowej wynoszą $E_{1/2}^1 = -1,04$ V $E_{1/2}^2 = -1,72$ V. Brak drugiej fali w roztworze ARA, odpowiadającej redukcji $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^0$, wywołany jest wcześniejszym rozkładem elektrolitu podstawowego.



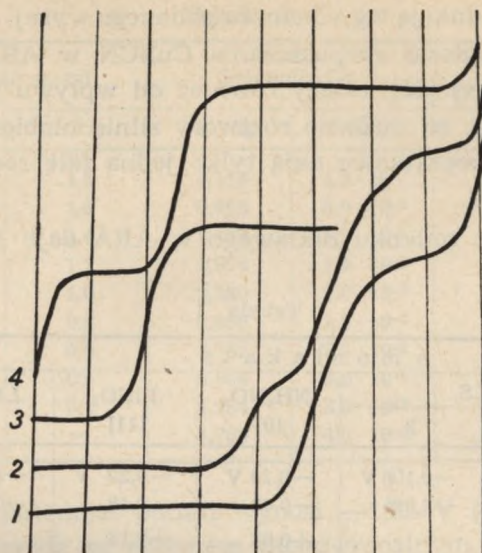
Ryc. 1. Krzywe redukcji kationów w $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$; 1 — czystego rozpuszczalnika, 2 — $\text{Zn}(\text{NCS})_2$ stęż. 0,01 m cz. galw. $\frac{1}{300}$, 3 — $\text{Cd}(\text{NCS})_2$, cz. galw. $\frac{1}{200}$, 4 — $\text{Pb}(\text{NCS})_2 + \text{Cd}(\text{NCS})_2 + \text{Zn}(\text{NCS})_2$, cz. galw. $\frac{1}{300}$

Cu^+ — Na polarogramach otrzymanych ze świeżo sporządzonych roztworów rodanku miedziowego obserwuje się zawsze jedną falę polarograficzną przy potencjale bliskim $-0,4$ V (ryc. 2, krzywa 3). Otwarcie naczynka i zamieszanie jego zawartości powoduje bez zmiany wysokości fali przesuwanie się potencjału półfali miedzi w kierunku wartości bardziej ujemnych z równoczesnym powstaniem nowej fali w zakresie potencjałów dodatnich. Roztwór CuSO_4 w ciekłym ARA daje dwie fale, pierwsza o potencjale bliskim 0 V (fala ta nie ma części początkowej) oraz drugą o potencjale półfali $-0,51$ V (ryc. 2, krzywa 4). Po zmieszaniu roztworów CuSO_4 i CuSCN bezwzględna wartość $E_{1/2}$ drugiej fali jest mniejsza od 0,51.

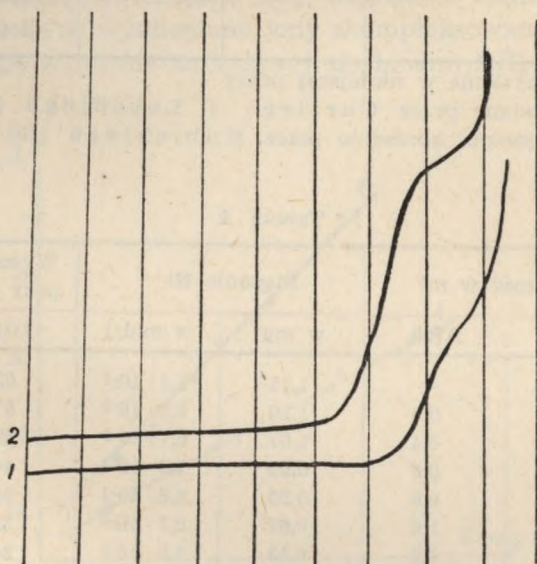
Curti i Locchi [4], badając zachowanie się CuSO_4 w ciekłym ARA, stwierdzili istnienie dwóch fal, których $E_{1/2}$ względem spoczynkowej elektrody rtęciowej wynoszą $-0,106$ V i $-0,505$ V. W ciekłym NH_3 natomiast $E_{1/2}$ drugiej fali wynosi $-0,52$ V. Dwie fale polarograficzne w przypadku jonów Cu^{2+} są związane z powstawaniem kompleksów i odpowiednio ich stopniową redukcją:



Wpływ powietrza na zmianę krzywej polarograficznej w przypadku jonów Cu^+ prawdopodobnie należy tłumaczyć utlenieniem jonu miedziowego do miedziowego, tworzeniem się kompleksów amminowych



Ryc. 2, Krzywe redukcji polarograficznej roztworów o stężeniu ok. $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l w roztworze $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$; 1 — $\text{Cr}(\text{NCS})_3$ cz. galw. $\frac{1}{300}$, 2 — Cr_2O_3 cz. galw. $\frac{1}{300}$, 3 — CuSCN cz. galw. $\frac{1}{100}$, 4 — CuSO_4 , cz. galw. $\frac{1}{100}$



Ryc. 3. Typowe krzywe polarograficzne dla jonów Ni^{+2} i Co^{+2} o stężeniu $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l w roztworze $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$; 1 — $\text{Co}(\text{NCS})_2$, cz. galw. $\frac{1}{300}$, 2 — $\text{Ni}(\text{NCS})_2$ cz. galw. $\frac{1}{150}$

$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ i ich redukcją wg schematu podanego wyżej. Barwa roztworów otrzymywanych podczas rozpuszczania CuSCN w ARA, jak omówiono w pracy poprzedniej [21], zależy również od wpływu powietrza. Zaznaczyć należy jednak, że zarówno roztwory silnie niebieskie, jak i bardzo słabo zabarwione początkowo dają tylko jedną falę redukcji, której $E_{1/2}$ wynosi ok. $-0,4$ V.

Ni^{2+} — Roztwór rodanku niklowego w ARA daje jedną falę polaro-

Tabela 1

A m o n i a k a t y						Ciekły NH_3 [18]
Jon NH_4NCS		NH_4NO_3 [9]	LiNO_3 [11]	LiClO_4 [5]		
1	2					
Cu^{2+}	od 0 V -0,51	-0,106 V -0,505	-0,19 V -0,43	-0,22 V -0,43	-0,24 V -0,51	-0,15 V -0,52
Cu^+	-0,4		+0,03 -0,20	+0,13 -0,14		
Pb^{2+}	-0,36	-0,35 ³⁾	-0,38	-0,37	-0,40	-0,32
Cd^{2+}	-0,75	-0,782	-0,72	-0,78	-0,80	-0,76
Cr^{3+}	-1,05				-1,60	-1,04 -1,72
Zn^{2+}	-1,28	-1,229			-1,36	-1,20
Ni^{2+}	-1,22				-1,26	-1,10
Co^{2+}	-1,40				-1,43	-1,42

1) — wyniki uzyskane w niniejszej pracy

2) — wyniki podane przez Curtiego i Locchiego [4])

3) wartość otrzymana uprzednio przez Hubickiego [10].

Tabela 2

Nr próbki	Objętość w ml		Stężenie Ni^{2+}		Wysokość fali w mm przy cz. galwanometru	
	Ni^{2+}	ARA	w mg	w mol/l	1/150	1/100
1	2,0	—	1,33	$1,1 \cdot 10^{-2}$	63	—
2	1,8	0,2	1,20	$1,0 \cdot 10^{-2}$	57	—
3	1,6	0,4	1,07	$9,1 \cdot 10^{-3}$	49	—
4	1,4	0,6	0,93	$7,9 \cdot 10^{-3}$	44	—
5	1,2	0,8	0,80	$6,8 \cdot 10^{-3}$	38	57
6	1,0	1,0	0,67	$5,7 \cdot 10^{-3}$	32	47
7	0,8	1,2	0,53	$4,5 \cdot 10^{-3}$	24	37
8	0,6	1,4	0,40	$3,4 \cdot 10^{-3}$	18	28
9	0,4	1,6	0,27	$2,3 \cdot 10^{-3}$	13	17
10	0,2	1,8	0,13	$1,1 \cdot 10^{-3}$	7	13

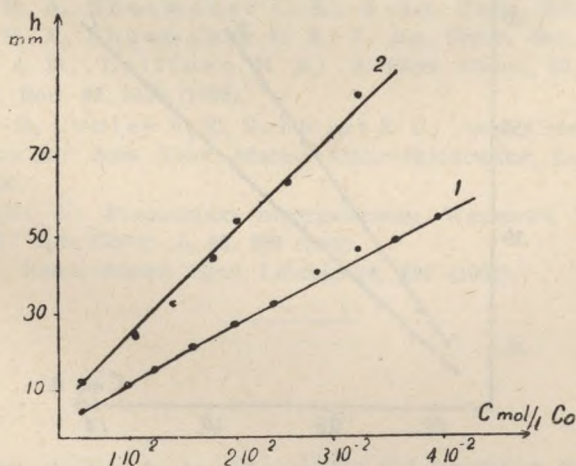
Tabela 3

Nr próbki	Objętość w ml		Stężenie Co^{2+}		Wysokość fali w mm przy cz. galwanometru	
	Co^{2+}	ARA	w mg	w mol/l	1/1000	1/500
1	0,2	1,8	0,476	$4,0 \cdot 10^{-3}$	6,0	13,0
2	0,4	1,6	0,952	$8,0 \cdot 10^{-3}$	10,0	22,0
3	0,6	1,4	1,428	$1,2 \cdot 10^{-2}$	14,8	28,2
4	0,8	1,2	1,904	$1,6 \cdot 10^{-2}$	21,0	41,0
5	1,0	1,0	2,380	$2,0 \cdot 10^{-2}$	26,0	54,0
6	1,2	0,8	2,856	$2,4 \cdot 10^{-2}$	31,5	61,5
7	1,4	0,6	3,332	$2,8 \cdot 10^{-2}$	40,5	—
8	1,6	0,4	3,808	$3,2 \cdot 10^{-2}$	46,0	—
9	1,8	0,2	4,284	$3,6 \cdot 10^{-2}$	47,5	—
10	2,0	—	4,760	$4,0 \cdot 10^{-2}$	53,0	—

graficzną, której potencjał półfali wynosi $-1,22$ V (ryc. 3, krzywa 2). Kształt fali przemawia za procesem nieodwracalnym.

Co^{2+} — Roztwór rodanku kobaltowego daje wyraźną falę polarograficzną w badanym rozpuszczalniku, której $E_{1/2} = -1,4$ V, fala jest płaska, nieodwracalna (ryc. 3, krzywa 1).

Na podstawie uzyskanych potencjałów półfali w amoniakatach stosowanych jako substancje podstawowe [5, 9, 11] oraz w ciekłym amoniaku [18] (po przeliczeniu potencjału $E_{1/2}$ względem elektrody rtęciowej) wysunięto wniosek, że wymienione jony skompleksowane są w badanym amoniakacie ARA w formie kationowej, drobinami NH_3 (tab. 1).



Ryc. 4. Zależność wysokości fali polarograficznej od stężenia roztworu $\text{Ni}(\text{NCS})_2$ w roztworze $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ przy różnej czułości galwanometru; 1 — $1/150$, 2 — $1/100$

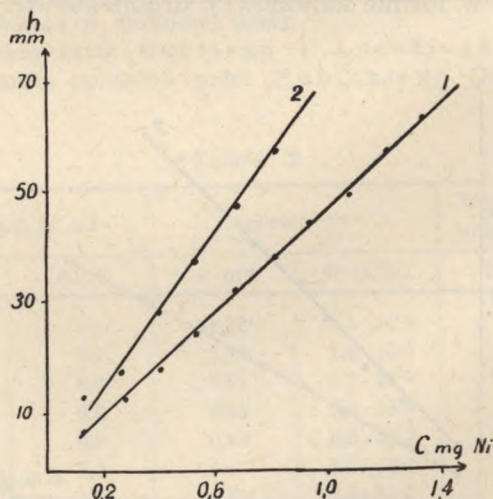
Na tworzenie się amminokompleksów wskazywałyby również fakt, iż identyczne wartości $E_{1/2}$ uzyskuje się przy rozpuszczeniu chlorków, siarczanów czy azotanów tych metali. Jedyne odmienny obraz otrzymany dla Cr_2O_3 w ARA może wskazywać na powstanie w tym przypadku kompleksów o bardziej skomplikowanej budowie.

Z pracy podanej przez Curtiego i Locchiego oraz przez Hubickiego wynika, że w roztworach ARA dla jonów Tl^+ , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} i Zn^{2+} występuje liniowa zależność pomiędzy natężeniem prądu dyfuzyjnego i_d/c . Podobna zależność występuje w przypadku Co^{2+} i Ni^{2+} , co przedstawiają przytoczone pomiary.

Do pomiarów zależności i_d/c dla jonów Ni^{2+} przygotowano roztwór wyjściowy przez pobranie 2,5 ml stężonego roztworu $\text{Ni}(\text{NCS})_2$ w ARA (1 ml zawierał 0,0397 g) do kolby miarowej o pojemności 50 ml i uzupełnieniu do kreski roztworem ARA. Do tak przygotowanego roztworu dodawano żelatynę w ilości 0,01%. Z roztworu tego przez kolejne rozcieńczanie roztworem ARA z żelatyną uzyskiwano serię roztworów o stężeniu od $1 \cdot 10^{-2}$ do $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l $\text{Ni}(\text{NCS})_2$. Wszystkie pomiary objętości wykonano przy pomocy mikrobiurety. Sposób rozcieńczenia i otrzymane wyniki przedstawione są w tab. 2.

Zależność stężenia roztworu od wysokości fali dla jonów niklu w zakresie badanych stężeń przedstawia ryc. 4.

W przypadku badania zależności i_d/c dla jonów Co^{2+} postępowanie było podobne. Pobierano 2 ml stężonego roztworu $\text{Co}(\text{NCS})_2$ rozpuszczo-



Ryc. 5. Zależność wysokości fali polarograficznej od stężenia roztworu $\text{Co}(\text{NCS})_2$ w roztworze ciekłego amoniaku rodanku amonu przy różnej czułości galwanometru; 1 — $1/1000$, 2 — $1/500$

nego w ARA (1 ml zawierał 0,707 g), rozcieńczano w kolbie miarowej roztworem czystego $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ do 20 ml, następnie dodano żelatyny w ilości 0,01%. Tak przygotowany roztwór macierzysty rozcieńczano odpowiednio roztworem ARA. Uzyskane wyniki podane są w tab. 3.

Zależność stężenia roztworu od wysokości fali w zakresie badanych stężeń przedstawia ryc. 5.

PIŚMIENNICTWO

1. Bjerrum N.: *Z. anorg. Chem.*, **118**, 131 (1921), **119**, 39, 54, 179 (1921).
2. Booth H. S.: *Inorganic Syntheses V. I*, New York 1939, s. 85.
3. Curti R., Locchi S.: *Anal. Chem.*, **29**, 534 (1957).
4. Curti R., Locchi S.: *Acta de Congresso Lisbona 1957*, V III 15.
5. Dąbkowska M.: *Dysertacja doktorska Lublin 1960*.
6. Foote H. W., Hunter M. A.: *Am. Chem. J.*, **42**, 69 (1920).
7. Grossmann H.: *Ber.*, **35**, 2665 (1902).
8. Hantsch A., Schlegel F.: *Z. anorg. Chem.*, **159**, 295 (1927).
9. Hubicki W., Matysik J.: *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, sectio AA, **IX**, 1 (1954).
10. Hubicki W.: *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, Lublin sectio AA, **X**, 43 (1955).
11. Hubicki W., Zychiewicz Z.: *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, Lublin sectio AA, **IX**, 71 (1954).
12. Hubicki W., Jusiak S.: *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, Lublin sectio AA, **XII**, 119 (1957).
13. Hubicki W., Dąbkowska M.: *Anal. Chem.*, **33**, 90 (1961).
14. Laitinen H. A., Shoemaker C. E.: *J. Am. Chem. Soc.*, **70**, 2241 (1948).
15. Laitinen H. A., Nyman C. J.: *J. Am. Chem. Soc.*, **70**, 3002 (1948).
16. Laitinen H. A., Shoemaker C. E.: *J. Am. Chem. Soc.*, **72**, 663 (1950).
17. Laitinen H. A., Shoemaker C. E.: *J. Am. Chem. Soc.*, **72**, 4875 (1950).
18. Mc Elroy A. D., Laitinen H. A.: *J. Phys. Chem.*, **57**, 564 (1953).
19. Peters W.: *Ber.*, **41**, 3180 (1908).
20. Schaap W. B., Conley R. R., Schmidt E. C.: *Anal. Chem.*, **33**, 498 (1961).
21. Stasiewicz A.: *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, Lublin sectio AA, **XIV**, 49 (1959).
22. Supniewski J.: *Preparatyka nieorganiczna*, Warszawa 1958, s. 692.
23. Wells W. S.: *Am. Chem. J.*, **28**, 268 (1902).
24. Vecchi E.: *Rend. Accad. Nazl. Lincei.*, **14**, 290 (1953).

РЕЗЮМЕ

В настоящей работе авторы приняли в качестве растворителя и основного раствора $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ для полярографического восстановления некоторых неорганических ионов.

Получены полярографические волны для ионов Pb^{+2} , Cd^{+2} , Zn^{+2} , Cr^{+3} , Co^{+2} , Ni^{+2} , Cu^{+2} , Cu^{+1} , Tl^{+1} , In^{+3} и Sn^{+4} .

На основании проведенных измерений и сравнения полученных данных $E_{1/2}$, с найденными величинами $E_{1/2}$ для жидкого NH_3 и других аммиаатов с некомплексирующим анионом установлено, что ионы Pb^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Cu^{+2} , Cu^{+1} , Cr^{+3} , Co^{+2} , и Ni^{+2} , дают комплексные соединения только с молекулами NH_3 .

Для ионов Co^{+2} и Ni^{+2} в пределах концентрации от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ мол/л наблюдается линейная зависимость между концентрацией раствора и высотой полярографической волны.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Autoren gebrauchten $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ als Grundlösung und Lösungsmittel zur polarographischen Reduktion einiger anorganischer Ionen.

Es wurde festgestellt, dass man gut ausgebildete polarographische Stufen bei Reduktion von Pb^{+2} , Cd^{+2} , Zn^{+2} , Cr^{+3} , Co^{+2} , Ni^{+2} , Cu^{+2} , Cu^{+1} , Tl^{+1} , In^{+3} und Sn^{+4} erhält. Auf Grund der durchgeführten Messungen und des Vergleichs der erhaltenen $E_{1/2}$ -Werte mit denen im flüssigen NH_3 sowie in flüssigen Ammoniakaten mit nicht komplexierende Anionen gewonnenen, wurde festgestellt, dass in $\text{NH}_4\text{NCS} \cdot n\text{NH}_3$ Pb^{+2} , Cd^{+2} , Cu^{+2} , Cr^{+3} , Co^{+2} und Ni^{+2} -Ionen als Kationen mit NH_3 -Teilchen komplexiert sind.

Ausserdem wurde für Co^{+2} und Ni^{+2} eine lineare Abhängigkeit i_d/c festgestellt.