

WFiIS	Katarzyna Pyzik Dorota Wacławczyk		3 rok	Zespół IV	
	„Efekt Szilarda – Chalmersa. Zależność wydzielania 56Mn od pH roztworu.”				
Data wykonania: 11.03.2015	Data oddania:	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zaliczenia:	OCENA

1. Wstęp teoretyczny

Reakcje jądrowe to przemiany jąder atomowych. Możemy je podzielić na takie, w wyniku których powstaje nowy pierwiastek (np. reakcja n, α) lub izotop tego samego pierwiastka (np. reakcje n, γ). Dzięki zjawisku odkrytym w roku 1934 przez Leo Szilarda podczas pracy w londyńskim szpitalu (efekt Szilarda – Chalmersa) możemy wydzielić powstały w reakcji izotop z substancji macierzystej. Jądro w czasie przemiany (n, γ) uzyskuje energię odrzutu (zgodnie z zasadą zachowania pędu) spowodowaną emisją kwantów γ . Energia tak jest tak silna, że może spowodować zerwanie wiązania atomu z cząsteczką, jeżeli więc atom nie ulegnie rekombinacji, jesteśmy w stanie wydzielić go z substancji macierzystej.

Energię kinetyczną atomu odskoku można policzyć korzystając z zasady zachowania pędu:

$$Mv = \frac{E_{\gamma}}{c}$$

gdzie:

M – masa atomu promieniotwórczego

v – prędkość atomu odskoku

E_{γ} – energia kwantu γ

c – prędkość światła

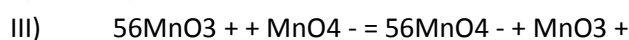
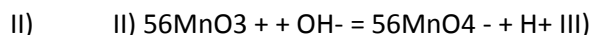
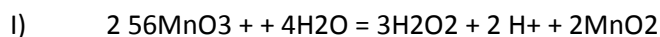
Pęd wnoszony przez kwant promieniowania γ jest równy co do wartości pędowi otrzymanemu przez atom odrzutu (zakładamy, że pęd wniesiony przez neutrony termiczne jest zaniedbywanie mały). Po przekształceniu powyższego równania otrzymujemy wyrażenie na energię odskoku jądra:

$$E_{od} = \frac{1}{2Mv^2} = \frac{E_{\gamma}^2}{Mc^2}$$

Energia odskoku przekształcana jest w energię ruchu oscylacyjnego, rotacyjnego oraz translacyjnego. Początkowo cała energia skupiona jest w atomie emitującym kwant γ , który związany jest z częścią cząstki. W momencie, kiedy zaczyna się poruszać w kierunku przeciwnym do emitowanego kwantu przekazuje energię cząsteczce do momentu, kiedy odległości między nimi będzie zbyt duża i cząsteczka się rozpadnie. Jeżeli masa pozostałej części cząstki jest odpowiednio duża w stosunku do masy atomu promieniotwórczego – cała energia odskoku jest przetworzona na zerwanie wiązań. W innym przypadku, energia ta jest zużywana na zwiększenie ruchu postępowego cząstki.

W trakcie naświetlania strumieniem termicznych neutronów roztworu nadmanganianu potasu, atom manganu pochłania neutron. Tworzący się w wyniku tej reakcji atom promieniotwórczego manganu ^{56}Mn emituje kwant γ i otrzymuje energię odrzutu. Energia odskoku rozbija jon MnO_4^- - z jednoczesnym utworzeniem Mn^{+7} , $\text{MnO}_2 + 3$ lub $\text{MnO}_3 + 2$.

Powstałe w ten sposób jony biorą udział w następujących reakcjach:



Pierwsza reakcja prowadzi do utworzenia dwutlenku manganu. Natomiast dwie następne do utworzenia się promieniotwórczego jonu MnO_4^- . W ten sposób w wyniku reakcji wtórnych zachodzi rozdział promieniotwórczego manganu na cząsteczkę macierzystą i dwutlenek manganu. Oddzielenie promieniotwórczego manganu w postaci MnO_2 od nadmanganianu można prowadzić za pomocą filtracji naświetlonego roztworu przez sączone bibułowy.

Na ilość manganu pozostającego pod postacią macierzystą silnie wpływa kwasowość naświetlonego roztworu. W roztworze kwaśnym jest ona równa w przybliżeniu 5%, a przy $\text{pH}=12$ dochodzi ona prawie do 100%. W środowisku alkalicznym przeważa reakcja 2 i duża część promieniotwórczego manganu pozostaje w postaci jonów MnO_4^- . W silnie kwaśnym środowisku tworzenie aktywnego dwutlenku manganu według reakcji 1, jest zahamowane i bardziej prawdopodobna staje się reakcja trzecia.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z efektem Shilara – Calmersona i zastosowanie go do wydzielenia izotopu ^{56}Mn , który powstał w wyniku naświetlania roztworu KMnO_4 neutronami termicznymi. Sprawdziliśmy też wydajność efektu w zależności od pH roztworu.

3. Aparatura i odczynniki użyte w ćwiczeniu:

- Urządzenie do pomiaru aktywności z licznikiem scyntylacyjnym (G-M)
- Źródło neutronów termicznych
- 3% roztwór KMnO_4

4. Wykonanie ćwiczenia

Na początku ćwiczenia zmierzaliśmy objętości obojętnego i zasadowego roztworu KMnO_4 :

Objętość roztworu obojętnego	46 ml
Objętość roztworu zasadowego	40 ml

Następnie naświetliłyśmy roztwory, a następnie wymieszałyśmy dokładnie, w taki sposób, że powstały MnO_2 był równomiernie rozpuszczony. Z każdej próbki pobraliśmy 4 ml roztworu i zmierzaliśmy ich aktywności. Pozostałe części roztworów przesączyliśmy. Uzyskany sączek, umieściliśmy w naczynku pomiarowym i zmierzaliśmy jego aktywność. To samo zrobiliśmy z powstałym przesączem. Uzyskane wyniki przedstawiamy w tabeli:

Nazwa naczynka	Zawartość naczynka
O1	4 ml roztworu obojętnego
O2	Sączek
O3	4 ml przesączu obojętnego
Z1	4 ml roztworu zasadowego
Z2	Sączek
Z3	4 ml przesączu zasadowego

Tabela otrzymanych wartości:

Nazwa naczynka	Pole powierzchni pod pikiem z tłem $A_{i\ tlo}$	Pole powierzchni pod pikiem bez tła A_i	Niepewność pomiaru aktywności z tłem $u(A_i)$	Niepewność pomiaru aktywności bez tła $u(A_{i\ tlo})$	
O1	461	597	21	24	$u(A_m)$
O2	2589	3934	50	62	$u(A_o)$
O3	75	133	8	12	$u(A_p)$
Z1	399	545	20	23	$u(A_m)$
Z2	281	417	17	20	$u(A_o)$
Z3	199	404	14	21	$u(A_p)$

Niepewność pomiaru wyznaczymy korzystając ze wzoru :

$$u(A_i) = \sqrt{A_i}$$

dla powierzchni pod pikiem z tłem

$$u(A_{tla\ o1}) = \sqrt{461} = 21$$

$$u(A_{tla\ o2}) = \sqrt{2589} = 50$$

$$u(A_{tla\ o3}) = \sqrt{75} = 8$$

$$u(A_{tla\ z1}) = \sqrt{399} = 20$$

$$u(A_{tla\ z2}) = \sqrt{281} = 17$$

$$u(A_{tla\ z3}) = \sqrt{199} = 14$$

dla powierzchni pod pikiem bez tła

$$u(A_{\text{bez tła o1}}) = \sqrt{597} = 24$$

$$u(A_{\text{bez tła o2}}) = \sqrt{3934} = 62$$

$$u(A_{\text{bez tła o3}}) = \sqrt{133} = 12$$

$$u(A_{\text{bez tła z1}}) = \sqrt{545} = 23$$

$$u(A_{\text{bez tła z2}}) = \sqrt{417} = 20$$

$$u(A_{\text{bez tła z3}}) = \sqrt{404} = 21$$

Objętości roztworu, przesącza i sączka się różnią, powinniśmy więc przeskalować każdy z tych wyników. Dla roztworu obojętnego pierwsza próbka o objętości 4 ml jest pobrana z objętości 46 ml roztworu a więc powinniśmy ją pomnożyć przez $\frac{46}{4}$, dla przesącza pomnożyć przez $\frac{42}{4}$ a sączka przez $\frac{42}{42}$. Analogicznie dla roztworu zasadowego mnożymy pierwszą pobraną próbkę przez $\frac{40}{4}$, sączek przez $\frac{36}{36}$ i 4 ml próbki z przesącza razy $\frac{36}{4}$. Tak samo skalujemy niepewność pomiaru aktywności. Wyniki przedstawimy w poniższej tabeli:

Nazwa naczynka	aktywność	Niepewność aktywności	
O1	6865	276	$u(A_m)$
O2	3934	62	$u(A_o)$
O3	1396	126	$u(A_p)$
Z1	5450	230	$u(A_m)$
Z2	417	20	$u(A_o)$
Z3	3636	189	$u(A_p)$

Aby obliczyć wydajność efektu Schilarda-Chalmersa korzystamy ze wzoru:

$$W = \frac{A_o}{A_o + A_p}$$

Gdzie A_o to aktywność osadu a A_p to aktywność przesącza

W przypadku roztworu obojętnego mamy

$$W = \frac{3934}{3934 + 1396} = 0,74$$

Niepewność wyznaczymy korzystając ze wzoru:

$$u(W) = \sqrt{\left(\frac{A_p}{(A_o + A_p)^2} * u(A_o)\right)^2 + \left(\frac{-A_o}{(A_o + A_p)^2} * u(A_p)\right)^2}$$

$$u(W_{\text{obojętny}}) = \sqrt{\left(\frac{1396}{(3934 + 1396)^2} * u(3934)\right)^2 + \left(\frac{-3934}{(3934 + 1396)^2} * u(1396)\right)^2} = 0,0035$$

W przypadku roztworu zasadowego wydajność ta wynosi:

$$W = \frac{417}{417 + 3636} = 0,11$$

Niepewność wyznaczymy korzystając ze wzoru:

$$u(W) = \sqrt{\left(\frac{A_p}{(A_o + A_p)^2} * u(A_o)\right)^2 + \left(\frac{-A_o}{(A_o + A_p)^2} * u(A_p)\right)^2}$$

$$u(W_{\text{zasadowy}}) = \sqrt{\left(\frac{3636}{(417 + 3636)^2} * u(417)\right)^2 + \left(\frac{-417}{(417 + 3636)^2} * u(3636)\right)^2} = 0,0045$$

Zbiorcze dane przedstawię w tabeli:

	Wydajność	Niepewność wydajności
Odczyn obojętny	0,74	0,0035
Odczyn zasadowy	0,11	0,0045

Sprawdzenie czy suma aktywności przesączu A_p i osadu A_o jest równa aktywności mieszaniny A_m :

Dla odczynu zasadowego:

$$5450(\pm 230) = 417(\pm 20) + 3636(\pm 189)$$

Obliczając stosunek aktywności mieszaniny do sumy aktywności przesączu i osadu

$$\frac{417 + 3636}{5450} = 74\%$$

$$\text{Z niepewnością } u(A) = \sqrt{u(A_p)^2 + u(A_m)^2 + u(A_o)^2}$$

$$u(A_{\text{zasadowy}}) = \sqrt{u(20)^2 + u(230)^2 + u(189)^2}$$

$$u(A_{\text{obojętny}}) = 310$$

dla odczynu obojętnego:

$$6865(\pm 276) = 3934(\pm 62) + 1396(\pm 126)$$

Obliczając stosunek aktywności mieszaniny do sumy aktywności przesączu i osadu

$$\frac{3934 + 1396}{6865} = 77\%$$

$$\text{Z niepewnością } u(A) = \sqrt{u(A_p)^2 + u(A_m)^2 + u(A_o)^2}$$

$$u(A_{\text{obojętny}}) = \sqrt{u(126)^2 + u(62)^2 + u(276)^2}$$

$$u(A_{\text{obojętny}}) = 298$$

Energia odrzutu:

Energie odrzutu możemy obliczyć korzystając z następującego wzoru:

$$E_{od} = \frac{E_\gamma^2}{2Ac^2}$$

Zakładamy, że $E_\gamma = 2 \text{ MeV}$

$$E_{od} = \frac{2^2}{1863 \times 56} = 38,34 \text{ eV}$$