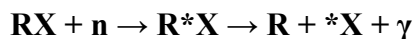


WFiIS	Kinga Jeleń Kamila Zaręba	Rok III	Grupa I
Pracownia Radiochemii	<i>Efekt Szilarda-Chalmersa</i> ^{80}Br		
Data wykonania: 30.04.2015	Data oddania: 12.05.2015	OCENA:	

WSTĘP TEORETYCZNY

Szilard i Chalmers wykazali, że wychwytowi radiacyjnemu neutronu towarzyszą specyficzne efekty chemiczne. Spowodowane one są zerwaniem pierwotnych wiązań w cząsteczce i wzajemnym oddziaływaniem powstających przy tym atomów „gorących” z otaczającymi ich cząsteczkami.

Przy napromieniowaniu cząsteczki RX zawierającej trwały izotop powolnymi neutronami dochodzi do ich wychwytu i wydzielienia energii w postaci kwantów γ oraz przemiany chemicznej:



gdzie:

RX – cząstka zawierająca trwały izotop X

R^*X – cząstka zawierająca wzbudzone jądro X

R – rodnik

${}^*\text{X}$ – „gorący” atom izotopu promieniotwórczego

Na skutek emisji fotonu gamma atom ${}^*\text{X}$ ulega odrzutowi uzyskując pęd p :

$$P = M \cdot v = \frac{E_\gamma}{v} = \frac{h\nu}{c}$$

gdzie: M – masa atomu ${}^*\text{X}$

Energia odrzutu E_r atomu ${}^*\text{X}$ wynosi:

$$E_\gamma = \frac{Mv^2}{2} = \frac{(Mv)^2}{2M} = \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2}$$

Efektywność efektu Szilarda-Chalmersa zależy do wyboru substancji wyjściowej, warunków napromieniowania i metody wydzielania, przy czym miarą tej efektywności jest wydajność izotopu promieniotwórczego i współczynnik wzbogacenia.

Wydajność izotopu promieniotwórczego – ułamek atomów tego izotopu jaki udało się oddzielić od substancji bombardowanej neutronami. Określamy ją jako:

$$W = \frac{N_M^x}{N^x}$$

gdzie:

N_M^x - ilość atomów promieniotwórczych wydzielonych w procesie wyodrębniania
 N^x - ilość atomów promieniotwórczych zawartych w napromieniowanej substancji

Współczynnik wzbogacenia – stosunek aktywności właściwej produktu końcowego, otrzymanego w wyniku wzbogacenia, do aktywności właściwej substancji napromienianej:

$$F = \frac{N_M^x}{N_2} : \frac{N^x}{N_1}$$

gdzie:

N_1 - liczba trwałych atomów w wyjściowym związku bezpośrednio po zakończeniu napromieniania
 N_2 - liczba trwałych atomów w preparacie otrzymanym w wyniku wzbogacenia

Retencja (zatrzymanie) – jest to część atomów promieniotwórczych zatrzymanych przez substancję napromienioną i nie wydzielanej w czasie stosownego procesu chemicznego lub fizycznego.

Wyróżniamy:

- Retencja I rodzaju – gdy w wyniku przemiany jądrowej wiązania w cząsteczce nie zostaną zerwane,

a więc atom nie opuści cząsteczki wyjściowej

- Retencja II rodzaju – związana z rekombinacją wyjściowych cząsteczek w wyniku gorących reakcji

oswobodzonego atomu promieniotwórczego.

Naturalny brom składa się z dwóch izotopów: ^{79}Br (50.51 %) i ^{81}Br (49.49 %). Na skutek aktywacji bromu neutronami termicznymi zachodzą reakcje jądrowe przedstawione w tabelicy poniżej.

Reakcja jądrowa	Przekrój czynny [b]	E_γ [MeV]	E_β (max) [MeV]	$T_{1/2}$ powstałego izotopu
$^{79}\text{Br}(n,\gamma)^{80m}\text{Br}$	2.6 ± 0.2	0.037 (40 %) 0.049 (0.3 %)		4.4 h
$^{79}\text{Br}(n,\gamma)^{80}\text{Br}$	8.4 ± 0.3		β^- 2.0 (80 %) β^+ 1.0 (1.0 %)	17.6 min
$^{81}\text{Br}(n,\gamma)^{82}\text{Br}$	3.0 ± 0.3	0.776 (83 %) 0.554 (72 %) 0.619 (39 %) 0.698 (28 %)		35.4 h

WYKONANIE ĆWICZENIA

- Po otrzymaniu trzech naczynek z bromobenzenem, naświetlanym neutronami termicznymi przez około 15h, przelałyśmy wszystko do cylindra i odmierzyłyśmy 100 cm^3 roztworu.
- I. Całość wlałyśmy do rozdzielacza i dodałyśmy 10 cm^3 1% wodnego roztworu Na_2SO_3 . Wstrząsałyśmy całość przez około 8 minut, a następnie oddzieliłyśmy frakcje wodną.
- II. Ekstrakcję przeprowadziłyśmy trzykrotnie pozostawiając przy tym frakcje wodną z pierwszej i trzeciej do pomiarów.
- III. Następnie pobrałyśmy po 4 cm^3 obu frakcji i przy pomocy licznika scyntylicyjnego zmierzyłyśmy widmo amplitudowe izotopów obecnych we frakcji.
- IV. Zaraz po zakończeniu trzeciej frakcji, resztę pozostawiłyśmy na czas 60 min, aby mógł powstać i zostać uwolniony z cząstki $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$ izomer ^{80}Br .
- V. Po tym czasie dodałyśmy do roztworu 10 cm^3 1% wodnego roztworu Na_2SO_3 i powtórzyłyśmy ekstrakcję.
- VI. Następnie zmierzyłyśmy tło naczynka pomiarowego. Pobrałyśmy 4 cm^3 frakcji wodnej po czwartej ekstrakcji i przy pomocy licznika G-M mierzyłyśmy liczbę zliczeń przez 20 minut. Jeden pomiar trwał 100 sekund a przerwa pomiędzy kolejnymi pomiarami wynosiła 20 sekund. Wszystkie pomiary trwały 20 minut.

OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Identyfikacja izotopów bromu obecnych we frakcji wodnej pochodzącej z pierwszej ekstrakcji. Porównanie stężenia ^{80m}Br we frakcjach wodnych z pierwszej i trzeciej ekstrakcji (porównanie powierzchni pod pikiem głównym).

Po przeprowadzeniu trzech ekstrakcji z naświetlonego bromobenzenu zmierzaliśmy widmo amplitudowe izotopów obecnych we frakcji wodnej z pierwszej i trzeciej ekstrakcji.

Na wykresie zaobserwowałyśmy jeden wyraźny pik przy I ekstrakcji.

Dla III ekstrakcji pik ten jest już niemal niewidoczny.

Należy się spodziewać, że pik odpowiada kwantom z rozpadu ^{80m}Br .

Zmierzaliśmy położenie tego piku oraz powierzchnię pod nim. Czas każdego pomiaru to 100 s.

Wyniki przedstawia poniższa tabelka.

Tabela 1. Liczba zliczeń dla frakcji wodnej z I i III ekstrakcji.

		I ekstrakcja	III ekstrakcja
Left marker	kanał	19	19
	energia [keV]	22,9	22,9
Right marker	kanał	33	33
	energia [keV]	45	45
Centroid	kanał	27	27
	energia [keV]	35,9	35,5
Area		16040	95
Niepewność %		0,85	13,56
Integral		17444	144

Biorąc pod uwagę wszystkie izotopy bromu można stwierdzić z dużą pewnością, że pik ten odpowiada ^{80m}Br (Energia promieniowania γ pochodzącego od izotopu ^{80m}Br wynosi 37keV).

Porównując pola pod pikiem głównym widać, że stężenie radioizotopu ^{80m}Br po pierwszej ekstrakcji jest ok 169 razy większa niż po trzeciej ekstrakcji. Jest to zgodne z przewidywaniami teoretycznymi, ponieważ świadczy to o coraz mniejszej zawartości tego izotopu w fazie wodnej, oraz o bardziej oczyszczonej z bromu ^{80m}Br frakcji organicznej.

2. Wydzielenie ^{80m}Br uwolnionego z cząsteczki w wyniku przejścia izomerycznego. Identyfikacja izotopu. Obliczenie czasu, w którym będzie maksymalne stężenie ^{80m}Br .

W przypadku dwóch izotopów promieniotwórczych, a mianowicie izotopu macierzystego A oraz pochodnego B, podstawowe równanie wyrażające szybkość zmian ilości atomów izotopu pochodnego (N_B) ma postać:

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B$$

gdzie: λ oznacza stałą rozpadu promieniotwórczego

Scałkowanie odpowiednie przekształcenie tego równania prowadzi do wzoru:

$$N_B = \frac{T_{1/2(A)} (N_A)^0}{T_{1/2(A)} - T_{1/2(B)}} \{e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\}$$

przy założeniu, że w momencie $t = 0$ nie ma atomów izotopu promieniotwórczego pochodnego, tzn. $(N_B)_0 = 0$.

W przypadku przeprowadzanego doświadczenia ten warunek jest praktycznie spełniony, gdyż po trzykrotnej ekstrakcji. tylko niewielka liczba atomów bromu, które uległy efektowi Szilarda - Chalmersa pozostanie we frakcji organicznej. Izotop pochodny osiąga maksymalną aktywność po czasie:

$$t_{\max} = \frac{2,303}{\lambda_2 - \lambda_1} \log \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Po podstawieniu danych, otrzymujemy, że $t_{\max} = 74 \text{ minuty}$.

3. Zmierzenie widma frakcji wodnej z czwartej ekstrakcji w celu kontroli obecności ^{80m}Br .

Tabela 2. Wyniki pomiarów po czwartek ekstrakcji.

Left marker [keV]	Right marker [keV]	Centroid [keV]	Area	Niepewność [zliczenia]	Integral
22,9	45	35	82+-17,94%	14,71	174

Energia promieniowania γ pochodzącego od izotopu ^{80m}Br wynosi 37 keV. Na tej podstawie możemy stwierdzić obecność izotopu ^{80m}Br w próbce.

Widmo frakcji wodnej uzyskanej w czwartej ekstrakcji pozwoliło nam stwierdzić że stężenie izomeru ^{80m}Br jest mniejsze niż po III ekstrakcji. Powierzchnia piku odpowiadającego izotopowi ^{80m}Br zmierzona po czwartej ekstrakcji wynosi 82.

4. Wyznaczenie czasu połowicznego rozpadu ^{80}Br .

Przeprowadziliśmy pomiar tła licznika G-M. Czas pomiaru wynosił $t = 100\text{s}$.

	Left marker	Right marker
energia	60keV	700keV
kanał	30	350

Tabela 3. Wyniki pomiaru tła.

l.p.	Centroid		Area	+-	Niepewność [zliczenia]	Integral
	kanał	energia				
1	139	277,2keV	7	308,00%	21,56	47
2	116	231,5keV	0	0,00%	0,00	49
3	158	316,3keV	4	545,00%	21,80	44
4	155	309,8keV	10	215,00%	21,50	50
5	129	259keV	41	15,62%	6,41	41

Na podstawie powyższej tabeli wyznaczyliśmy średnie tło pochodzące od naczynia pomiarowego oraz jego niepewność (z kwadratów odchyłków średniej).

Średnia liczba zliczeń (tło)	Niepewność
46,2	6,80

Dla próbki wyznaczamy czasu połowicznego rozpadu. W tym celu wykonujemy pomiar aktywności przez 100s w odstępach 20s. Czynność tą wykonujemy przez 20 minut. Do późniejszych obliczeń wykorzystujemy wzory:

$$N = N^0 e^{-\lambda t}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

gdzie:

N – aktywność próbki po czasie t

N_0 – początkowa aktywność próbki

λ – stała rozpadu promieniotwórczego

Po przekształceniach otrzymamy : $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$, czyli $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$

Ostatnie przekształcenie to wzór prostej, w której argumentem jest czas, a wartością logarytm z ilorazu liczby zliczeń.

Tabela 4. Wyniki 10 pomiarów dla próbki po czwartej ekstrakcji.

I.p	Czas [s]	Area	+-	Niepewność [zliczenia]	Integral
1	100	583	6,57%	38,30	665
2	220	565	16,12%	91,08	646
3	340	488	9,75%	47,34	648
4	460	394	11,82%	46,57	554
5	580	376	10,99%	41,32	496
6	700	311	16,14%	50,20	512
7	820	282	17,69%	49,91	483
8	940	343	11,93%	41,16	463
9	1060	287	14,02%	40,18	407
10	1180	300	11,48%	34,44	380

Ze względu na mniejszy rozrzut statystyczny, a tym samym większą wiarygodność, wyznaczanie czasu połowicznego rozpadu ^{80}Br będzie bazowało na wartości Integral.

Niepewność $u(N-t_{lo})$ została obliczona z prawa przenoszenia błędów:

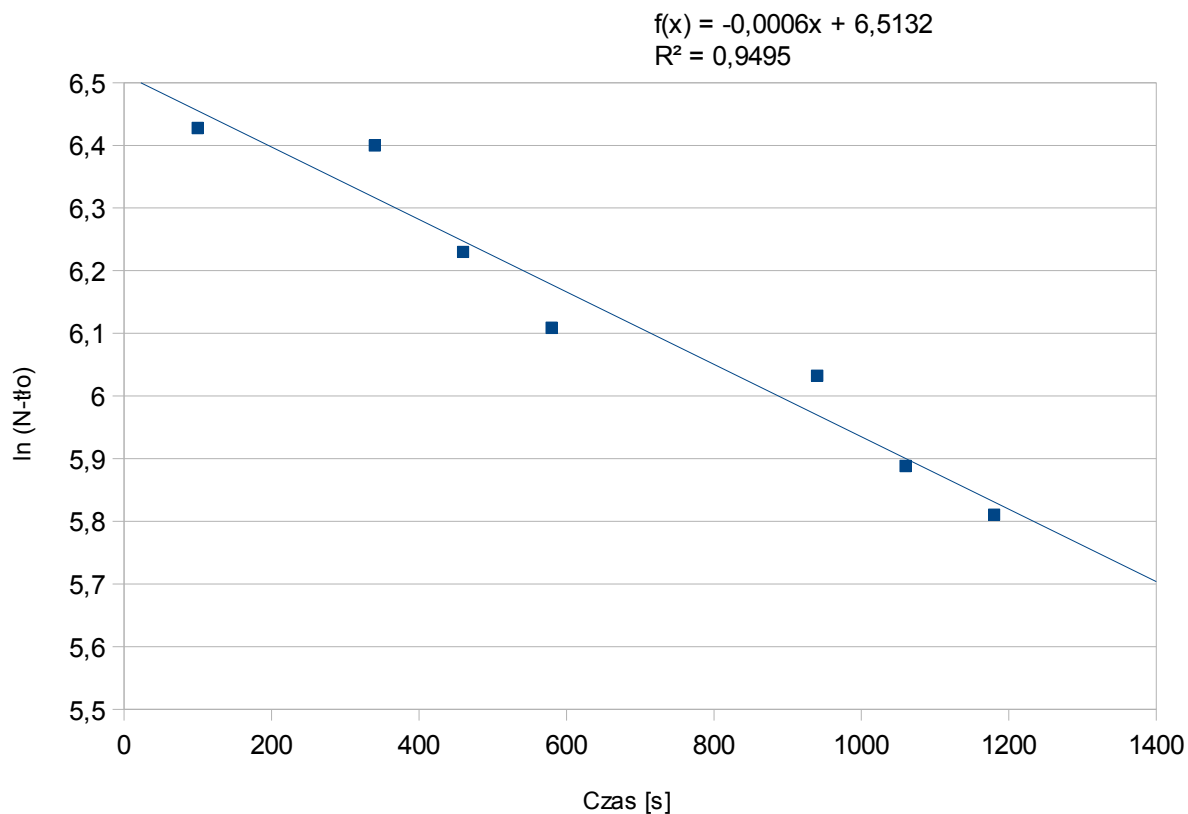
$$u(N-t_{lo}) = \sqrt{u(N)^2 - u(t_{lo})^2}$$

Niepewność czasu przyjęliśmy 0,2 sekundy.

Tabela 5. Wyniki po odjęciu tła wraz z niepewnościami.

I.p	Czas [s]	Liczba zliczeń N	Liczba zliczeń – tło N-tło	ln(N-tło)	Niepewność liczby zliczeń u(N)	Niepewność liczby zliczeń po odjęciu tła u(N-tło)
1	100	665	619	6,43	41	41
2	220	646	600	6,40	97	97
3	340	648	602	6,40	58	59
4	460	554	508	6,23	60	60
5	580	496	450	6,11	49	50
6	700	512	466	6,14	75	75
7	820	483	437	6,08	77	78
8	940	463	417	6,03	50	50
9	1060	407	361	5,89	51	51
10	1180	380	334	5,81	38	39

Wyniki zaznaczone na żółty kolor zostały przez nas odrzucone ze względu na zbyt duży rozrzut punktów. Z pozostałych wyników stworzyliśmy wykres zależności $\ln(N-t_0)$ od czasu.



Wykres 1. Zależność $\ln(N-t_0)$ od czasu.

Wartość parametru a w równaniu krzywej regresji odpowiada naszej λ . Stąd otrzymujemy:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \text{ czyli } T_{1/2} = \frac{0,693}{0,0006} = 1155 \text{ s} = 19,25 \text{ min}$$

Otrzymany przez nas wynik nie różni się znacząco od wartości tablicowej połowicznego rozpadu ^{80}Br , który wynosi 17,7 min.

WNIOSKI

Celem ćwiczenia była identyfikacja izotopu zawartego we frakcji wodnej próbki na podstawie energii kwantów γ emitowanej przez niego. Udało nam się z dość dobrą dokładnością rozpoznać na podstawie widma ^{80m}Br .

Wyznaczyliśmy także energie kwantów pochodzących od ^{80}Br , które kolejno wynosiły 35,9 [keV] dla pierwszej ekstrakcji oraz 35,5 [keV] dla trzeciej ekstrakcji, co w granicach niepewności zgadza się z wartościami tablicowymi (37 [keV]). Ustaliliśmy także stosunek zawartości ^{80m}Br w próbkach po kolejnych ekstrakcjach.

Udało się nam prawie poprawnie wyznaczyć czasu połowicznego rozpadu, który w naszym wypadku wyniósł 19,25min, a powinien 17,7 min. Różnica wynosi zatem 93 sekundy.

Może to być wynikiem niedokładności aparatury lub brakiem precyzji wykonywania pomiarów.

Ponadto, przeprowadzone doświadczenie pozwoliło na wzmocnienie doświadczenia w pracy ze sprzętem laboratoryjnym (rozdzielacz, pipety, zlewki) oraz ugruntowanie dobrej praktyki laboratoryjnej w kontekście bezpieczeństwa i higieny pracy, gdyż praca na podobnym stanowisku miała miejsce przy okazji wykonywania poprzednich doświadczeń.