ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 53 Nr kol. 1001

Andrzej ZASTAWNY
Barbara RABSZTYN

WSTĘPNE POMIARY PÓŁOKRESU ROZPADU ^{87}Rb LICZNIKIEM OSTRZOWYM[x)]

Streszczenie. Próbki preparowano na podłożu aluminiowym przez odparowanie wodnego roztworu $RbNO_3$. Pomiary wykonywano w geometrii 2π. Otrzymano wynik $(4,86 \pm 0,10) \cdot 10^{10}$ lat, podczas gdy wartość zalecana do stosowania wynosi $4,88 \cdot 10^{10}$ lat. Celem pomiaru było przetestowanie detektora i zebranie doświadczeń przed pomiarami dokładnymi.

Wstęp

Rozpad beta naturalnego radioizotopu ^{87}Rb na ^{87}Sr jest wykorzystany do chronologii bezwzględnej minerałów zawierających rubid. Dlatego podejmowano szereg prób pomiaru półokresu rozpadu tego radioizotopu. Spośród 26 pomiarów, jakie odnotowano do roku 1977 [1], można, z uwagi na zgodność z wartością zalecaną równą $4,88 \cdot 10^{10}$ l [2], wyróżnić pomiary wymienione w tabeli 1. Tabela 1 jest równocześnie przeglądem stosowanych metod pomiaru.

Tabela 1

Ważniejsze pomiary półokresu rozpadu ^{87}Rb

Rok	Autorzy	Metoda pomiaru	$T_{1/2} 10^{10}$ lat
1954	Geese-Bahisch, Huster [3]	Licznik G-M (4π)	$4,8 \pm 0,30$
1957	Libby [4]	Licznik G-M (4π)	$4,88 \pm 0,20$
1960	Owczynnikowa [5]	Pomiar stosunku $^{87}Sr/^{87}Rb$ w minerałach o wieku określonym metodą K-Ar	$5,00 \pm 0,20$
1965	Kovach [6]	Ciekły scyntylator z domieszką Rb	$4,77 + 0,10$
1977	Neuman, Huster [7]	Licznik proporcjonalny (4π)	$4,88 + {}^{0,06}_{-0,10}$
1977	Davis i współ. [8]	Pomiar radiogenicznego ^{87}Sr wytworzonego w czasie 19 lat w 20 g próbki $RbClO_4$	$4,89 \pm 0,04$

x) Pracę wykonano w ramach CPBP 01.09 - Badanie cząstek elementarnych i procesów jądrowych.

W pracy podjęto próbę pomiaru półokresu rozpadu gazowym licznikiem ostrzowym opisanym w [9]. Licznik pracuje w reżimie głęboko ograniczonej proporcjonalności i cechuje się 100% wydajnością detekcji nawet pojedynczych elektronów emitowanych z próbki o średnicy do 12 mm oraz tłem równym 0,045 cpm.

Celem pracy było przetestowanie detektora, a w przypadku pozytywnego wyniku pomiar miał być próbą przed podjęciem pomiarów dokładniejszych.

Preparatyka próbek

Do pomiaru użyto sól $RbNO_3$ produkcji firmy Merck o czystości lepszej od 99%. Sól rozpuszczano w wodzie destylowanej do określonych stężeń. Kroplę roztworu nanoszono na podkładki aluminiowe o grubości 2,9 mg/cm^2 na powierzchnie o kształcie kolistym o średnicy około 10 mm, wcześniej lekko wytrawione. Naniesioną kroplę roztworu poddawano odparowaniu. Powstały osad, wystarczająco związany mechanicznie z podłożem, stanowił próbkę pomiarową. Próbkę przed pomiarem starzono w temperaturze 30-20°C dobę lub dłużej w celu wyeliminowania egzoemisji elektronów [9]. Ilość radioizotopu ^{87}Rb wyznaczano ze znanego stężenia roztworu, zmierzonej masy kropli i przyjętego składu procentowego ^{87}Rb w rubidzie naturalnym.

Pomiary i wyniki

Pomiary wykonywano gazowym licznikiem ostrzowym, w którym próbka była usytuowana na przeciw czubka igły anodowej i stanowiła część powierzchni katody detektora. Geometria pomiaru była równa 2π. W dodatkowych pomiarach wyznaczono efekt odbicia cząstek beta od podłoża oraz efekt impulsów wtórnych znany pod nazwą "Malter effect" [10]. Nie stwierdzono efektu impulsów wtórnych, natomiast zmierzona wartość efektu odbicia cząstek beta radioizotopu ^{87}Rb od folii o masie powierzchniowej 2,9 mg/cm^2 wynosiła 4% i o tyle korygowano w dół mierzone wartości radioaktywności. Tło mierzone przy używanej folii aluminiowej wynosiło 0,117 $\pm$ 0,007 cpm. Pomiary jednostkowe trwały nie krócej niż 1 dobę. Na pomiar próbki składały się trzy lub więcej pomiary jednostkowe. Stwierdzano dobrą powtarzalność pomiarów powtarzanych po 2 miesiącach.

W tabeli 2 podane są ważniejsze dane i wyniki pomiarów próbek.

Półokres rozpadu wyznaczono w zależności:

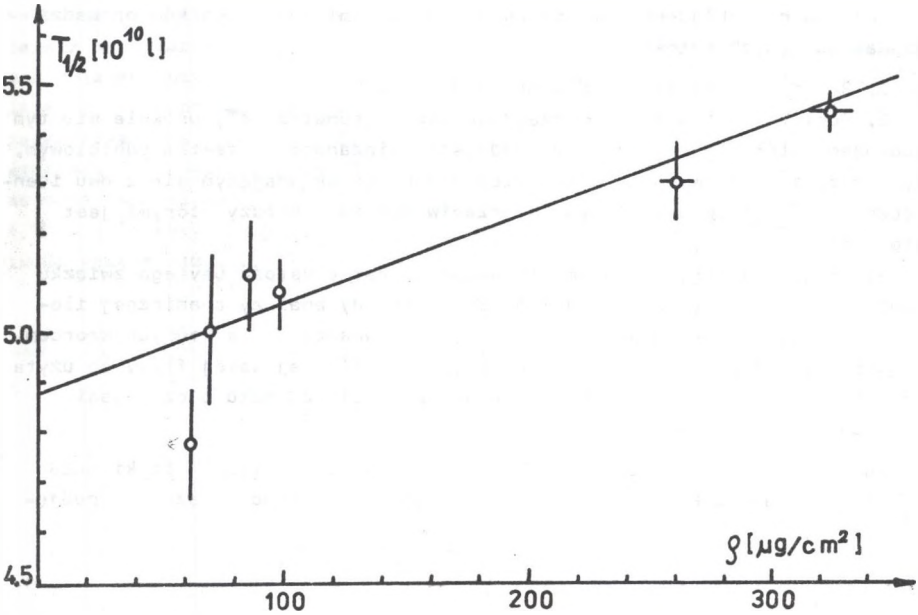
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{2} \cdot \frac{p \cdot N_A}{M_{mol}} \left(\frac{A}{m}\right)^{-1}. \qquad (1)$$

Tabela 2

Dane i wyniki pomiarów próbek w pomiarach półokresu rozpadu ^{87}Rb

Nr	k [10^{-6} g/g]	M [mg] ±0,10	S [mm^2] ±2,0	m/S=kM/S [$\mu g/cm^2$]	A [cpm]	A/m [cpm/mg]
1	480,85 ± 0,3	109,80	86,2	61,2 ± 1,5	0,829 ± 0,02	15,70 ± 0,38
2	407,11 ± 0,2	84,52	50,3	68,5 ± 3	0,515 ± 0,015	14,98 ± 0,44
3	407,11 ± 0,2	159,54	77,0	84,3 ± 2,2	0,952 ± 0,02	14,66 ± 0,31
4	893,51 ± 0,5	89,95	82,7	97,2 ± 1,4	1,187 ± 0,02	14,77 ± 0,40
5	1695,8 ± 1,0	132,43	86,7	259,0 ± 6	3,176 ± 0,05	14,14 ± 0,25
6	3286,4 ± 1,8	83,11	84,7	322,5 ± 8	3,757 ± 0,03	13,76 ± 0,15
7	6422,2 ± 3,6	87,40	85,7	655,0 ± 15	6,600 ± 0,05	11,76 ± 0,09

k - koncentracja roztworu, M - masa kropli roztworu preparowanej próbki, S - powierzchnia próbki, ϱ - gęstość powierzchniowa próbki, m - masa soli $RbNO_3$ w próbce, A - mierzona aktywność z uwzględnieniem poprawek, A/m - aktywność właściwa.



Rys. 1. Zmierzone wartości półokresu rozpadu ^{87}Rb w funkcji gęstości powierzchniowej próbek

Fig. 1. Measured values of the ^{87}Rb half-life versus the surface density of the samples

Tutaj p = 0,278346 - udział izotopu ^{87}Rb w rubidzie naturalnym N_A = = 6,022169 . 10^{23} mol^{-1} - stała Avogadro, M_{mol} = 147,454 g/mol masa molowa soli $RbNO_3$, A/m - mierzona aktywność właściwa (czynnik 2 wynika z geometrii 2π pomiarów).

Rysunek 1 przedstawia zależność $T_{1/2}$ od gęstości powierzchniowej próbki. Wartość ekstrapolowana $T_{1/2}$ dla ϱ = 0 wyznacza poszukiwaną wielkość. Przyjęto ekstrapolację liniową z sześciu pierwszych próbek. Wartość $T_{1/2}$ próbki Nr 7 też leży na linii ekstrapolacji. To uzasadnia przyjęcie ekstrapolacji liniowej i taka jest rola próbki Nr 7. W pracy spreparowano i mierzono też próbki o większych wartościach, jednakże wyznaczono A/m lub $T_{1/2}$ odbiegały już wyraźnie od ekstrapolacji liniowej. Wartość ekstrapolowana półokresu rozpadu wynosi (4,88 ± 0,086) . 10^{10} lat. Uwzględniając nieoznaczoność czystości preparatu (nie mniejsza niż 99%) otrzymuje się:

$$T_{1/2} = (4,86 \pm 0,10) \cdot 10^{10} \text{ lat.}$$

Wnioski

Analiza niedokładności i niedoskonałości pomiarów i wyników prowadzi do następujących wniosków:

1. Bardzo pomyślnie wypadła próba detektora.
2. Pomiar ambitny należy przeprowadzić w geometrii 4π, uniknie się tym sposobem istotnego źródła niedokładności związanego z efektem odbiciowym. Pomiar taki można wykonać licznikiem podwójnym składającym się z dwu identycznych liczników ustawionych naprzeciw siebie, między którymi jest próbka.
3. Drugim istotnym źródłem niepewności jest czystość użytego związku rubidu. Okazuje się, że czułe i dokładne metody analizy chemicznej ilościowej, dostępne w Polsce, są metodami porównawczymi, w których wzorcem odniesienia są związki o tej samej czystości i z tej samej firmy co użyta sól. Dlatego należy poczynić starania o zdobycie związku o czystości dokładniej określonej.

Autorzy dziękują dr Januszowi Zinkiewiczowi z Instytutu Fizyki UMCS za ofiarowaną sól $RbNO_3$ oraz życzliwe sugestie i pomoc związaną z podjęciem pracy.

LITERATURA

[1] Zinkiewicz J.M.: Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów (pod redakcją W. Żuka), PWN, Warszawa 1980. Rozdz. IX.1, s.396.

[2] Jager E., Hunziker J.C.: Lectures in Isotope Geology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg N-Y 1979.

[3] Geese-Banisch I., Huster E.: Naturwiss. 41 (1954) 495-496.
[4] Libby W.F.: Analyt. Chem. 29 (1957) 1566-1570.
[5] Owczynnikowa G.N.: Geochimija 5 (1960) 392-398.
[6] Kovach A.: Acta Phys. Hung. 17 (1964) 341-352.
[7] Neuman W., Huster E.: Z. Phys. 270 (1974) 121-127.
[8] Davis D.N., Gray J., Cumming G.L., Baadsgaard H.: Geochim. Cosmochim. Acta, 41 (1977) 1745-1749.
[9] Rabsztyn B.: Licznik ostrzowy do pomiarów niskich radioaktywności beta stałych emitorów, praca doktorska. AGH, Kraków 1986.
[10] Walter L.: Phys. Rev., 50 (1936) 48.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛУПЕРИОДА РАСПАДА ^{87}Rb ОСТРИЕВЫМ СЧЁТЧИКОМ

Р е з ю м е

В работе, с целью проверки счётчика и получения опыта перед точными измерениями, были проведены измерения полупериода распада ^{87}Rb. Образцы изготовлялись из $RbNO_3$ фирмы Мерк, путём напаривания водного раствора $RbNO_3$ на аллюминьевые плёнки толщиной 2,9 мг/см^2. Концентрация раствора изменялась от $(3286,4 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$ до $(480,85 \pm 0,3) \cdot 10^{-6}$. Фон от аллюминьевых плёнок был равен $0,117 \pm 0,007$ счётов на минуту. В других измерениях наблюдался эффект обратного рассеяния бета - излучения от аллюминьевой подложки равной 4%, так как измерения проводилнсь в геометрии 2π. Диаметр образцов был приблизительно равен 10 мм. Была измерена истинная радиоактивность образцов в функции истинной поверхностной массы, которая изменялась в пределах (60-320) мкг/см^2. Экстраполированная величина полупериода была равна $(4,86 \pm 0,1) \cdot 10^{10}$ лет, причём рекомендуется величика $4,88 \cdot 10^{10}$ лет. Полученная величина согласуется также с другими последними измерениями.

PRELIMINARY MEASUREMENTS OF THE ^{87}Rb HALF-LIFE BY MEANS OF THE NEEDLE COUNTER

S u m m a r y

In order to test the detector and to obtain the experience before starting the exact measurements, the measurements od ^{87}Rb half-life have been made. $RbNO_3$ produced by Merck was used to prepare the samples. The samples were prepared by evaporation of $RbNO_3$ water sulution on an aluminium foil of 2,9 mg/cm^2. The water solutions were changed in the range from $(3286,4 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$ to $(480,85 \pm 0,3) \cdot 10^{-6}$. The background of the aluminium foil was equal to $(0,117 \pm 0,007)$ cpm. In other measurements the back-scattering effect of ^{87}Rb beta rays on the aluminium foil was determined to be ewua to 4%, as the measurements were performed in

the 2π geometry. The diameters of samples were about 10 mm. The specific radioactivities of samples were measured versus the surface changed in the range (60-320) $\mu g/cm^2$. The extrapolated value of the hafl-life, corrected for the chemical purity of the compound (as declared by the manufacturer) is equal to $(4,86 \pm 0,1) \cdot 10^{10}$ years. This value is in good agreement with the commonly accepted value of $4,88 \cdot 10^{10}$ years and with another last measurements.