

TOMASZ RADOSZEWSKI

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Izotopów, Świerk

MIĘDZYNARODOWE PORÓWNIANIA POMIARÓW AKTYWNOŚCI PROMIENIOTWÓRCZEJ

Przedstawiono udział Laboratorium Metrologii Radionuklidów Instytutu Badań Jądrowych (obecnie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Izotopów) w Świerku w międzynarodowych porównaniach pomiarów aktywności promieniotwórczej. Uzasadniono przyczynę i celowość prowadzenia tego rodzaju porównań. Głównym organizatorem powyższych porównań było i jest Międzynarodowe Biuro Miar i Wagi z Sevres, Francja (BIPM), które prowadzi porównania pomiarów aktywności począwszy od roku 1961. Od roku 1994 tego rodzaju porównania prowadzi również EUROMET, t.j. organizacja pomiarów Wspólnoty Europejskiej. W pracy poniżej przedstawiono warunki techniczne realizacji tego rodzaju porównań oraz zaprezentowano wyniki porównań pomiarów aktywności pięciu radionuklidów — organizowanych przez BIPM oraz jednego radionuklidu, którego porównanie organizowane było przez EUROMET. Podkreślono pozytywne rezultaty wynikające z porównań dla Laboratorium Metrologii Radionuklidów OBRI.

1. WSTĘP

Przedstawiając międzynarodowe porównania pomiarów aktywności należy przede wszystkim rozpatrzyć zagadnienie wzorca aktywności promieniotwórczej. Aktywność promieniotwórcza danego nuklidu określana jest jako liczba jąder rozpadających się w jednostce czasu i można ją przedstawić w sposób następujący:

$$A = -\frac{dN}{d\tau} = \lambda N$$

gdzie:

A — aktywność nuklidu promieniotwórczego,

N — liczba jąder podlegających rozpadowi,

τ — czas rozpadu,

λ — stała rozpadu promieniotwórczego.

Z powyższej definicji wynika, że aktywność danego materiału promieniotwórczego, potencjalnego wzorca aktywności, jest niestała w czasie. Poza tym biorąc pod uwagę schemat rozpadu promieniotwórczego, utworzony wzorzec dotyczyłby tylko jednego radionuklidu czyli należałoby utworzyć tyle wzorców ile byłoby stosowanych nuklidów promieniotwórczych. W związku z powyższym jako wzorzec aktywności przyjmuje się układ pomiarowy pozwalający na pomiar aktywności dowolnych radionuklidów. Tego rodzaju układ pomiarowy pozwala na pomiar aktywności

materiałów promieniotwórczych, które mogą być traktowane jako wzorce stosowane do kalibracji aparatury pomiarowej. Wzorcowe układy pomiarowe, jako wzorce aktywności zostały zbudowane praktycznie we wszystkich krajach rozwiniętych i stosowane na użytek krajowy.

Taki rozwój sytuacji spowodował, że Międzynarodowe Biuro Miar i Wag (BIPM) w Sevres pod Paryżem zdecydowało się na przeprowadzenie porównania pomiarów aktywności między zainteresowanymi laboratoriami, celem porównania wskazań wzorcowych układów pomiarowych stosowanych w poszczególnych krajach. Porównania zostały przeprowadzone dla reprezentantów poszczególnych grup radionuklidów. Pierwsze porównanie pomiaru aktywności zostało przeprowadzone przez BIPM w roku 1961, a wybranym nuklidem był ^{32}P . W porównaniu tym wzięło udział 16 krajów. Do chwili obecnej BIPM przeprowadził porównanie pomiarów aktywności 18 radionuklidów. W ostatnich latach porównania pomiarów aktywności zaczął przeprowadzać EUROMET – organizacja pomiarowa Wspólnoty Europejskiej. W latach 1973–1987 porównania pomiarów aktywności były również prowadzone w ramach państw członków RWPG. W tym ostatnim przypadku wybrane radionuklidy częściowo pokrywały się. Poniżej przedstawiono wyniki niektórych międzynarodowych porównań pomiarów aktywności, w których udział brało Laboratorium Metrologii Radionuklidów Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Izotopów (OBRI) w Świerku. Dotyczy to przede wszystkim porównań przeprowadzonych przez BIPM i Euromet. Przedstawione wyniki porównań zostały podzielone na trzy grupy radionuklidów, to jest na „czyste” emitery β , emitery $\beta-\gamma$, oraz nuklidy z wychwytem elektronu (E.C.).

2. PRZYGOTOWANIA TECHNICZNE DO PRZEPROWADZENIA POMIARÓW

Przede wszystkim należy stwierdzić, że międzynarodowe porównania pomiarów aktywności dokonuje się wyłącznie na promieniotwórczych roztworach wodnych. Są to roztwory z rozpuszczonymi solami pierwiastków zawierających nuklidy promieniotwórcze. Wyjątkowo np. w przypadku węgla ^{14}C są to ciecze organiczne takie jak heksadekan lub toluen. Wynika to z faktu, że tylko roztwory pozwalają przygotować źródła promieniotwórcze, które mogą być pomierzone w sposób bezwzględny z minimalną niepewnością pomiaru.

Roztwór promieniotwórczy rozsyłany jest przez organizatora porównania. Każdy z uczestników otrzymuje zazwyczaj dwie zamknięte ampułki, każda zawierająca kilka ml roztworu. W wyjątkowych przypadkach organizator rozsyła naczynia pomiarowe zawierające ciekły scyntylator wraz z roztworem promieniotwórczym. Uczestnicy porównania przygotowują zazwyczaj od 6 do 12 źródeł (próbek) przeznaczonych do pomiaru. Stężenie promieniotwórcze rozsyłanych roztworów zawiera się w granicach od 1 do kilku MBq/g roztworu (tj. kilkadziesiąt $\mu\text{Ci/g}$). Takie stężenie promieniotwórcze pozwala na bezpośrednie przygotowanie źródeł do pomiaru, których masa zawiera się w granicach od kilku do kilkudziesięciu mg.

Niekiedy stężenie promieniotwórcze rozsyłanego roztworu jest celowo wyższe. Chodzi o to, aby porównać również zdolność do dokładnego rozcieńczenia roztworu przed pomiarem. Wyjątkowo rozsyłane są dwa różne roztwory. Drugi o znacznie wyższym stężeniu promieniotwórczym celem pomiaru (kalibracji) w komorach jonizacyjnych. Z reguły łącznie z roztworem nadsyłany jest protokół pomiarowy, który określa jakie informacje winny być podane przez uczestników porównania.

3. PORÓWNANIE POMIARÓW AKTYWNOŚCI „CZYSTYCH” EMITERÓW β

O ile pomiar aktywności „czystych” emiterów β o średnich, a szczególnie wysokich energii maksymalnych cząstek β (powyżej 1 MeV) jest zagadnieniem stosunkowo prostym i aktualnie pomiary tych nuklidów dokonywane są z ogólną niepewnością na poziomie 1% (przy poziomie ufności 0,99), o tyle pomiar t.zw. niskoenergetycznych emiterów β o energiach maksymalnych cząstek β rzędu kilkadziesiąt keV jest zagadnieniem znacznie trudniejszym i wymaga stosowania układów pomiarowych pozwalających na realizację określonych metod pomiarowych. Poniżej przedstawiono wyniki porównań dwóch nuklidów, to jest ^{14}C i ^{99}Tc organizowane w ramach BIPM oraz porównanie ^{63}Ni przeprowadzone przez EUROMET.

3.1. Porównanie pomiarów aktywności ^{14}C i ^{99}Tc

Zasadniczym celem porównania nuklidów ^{14}C i ^{99}Tc było sprawdzenie techniki ciekłych scyntylatorów jako metody pomiarów aktywności niskoenergetycznych emiterów β . W porównaniu wzięło udział 6 laboratoriów:

1. National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg USA.
2. Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Technologicas (CIEMAT) Madrid, Hiszpania.
3. Physikalisch Technische Bundesanstalt, (PTB) Braunschweig, Niemcy.
4. Instytut Energii Atomowej (IEA) – Polska
5. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) Sevres, Francja
6. National Accelerator Centre (NAC) Faure, South Africa.

Materiał promieniotwórczy został przygotowany przez NIST (USA). Porównanie miało w tym przypadku nieco wyjątkowy charakter ponieważ przesłane zostały gotowe próbki ^{14}C i ^{99}Tc rozpuszczone w scyntylatorze, w zamkniętych naczyniach, gotowe do pomiarów. Tak więc wszyscy uczestnicy mierzyli te same naczynia, z tymi samymi próbkami. Zestawienia wyników zostały podane w tabeli 1. Zgodność wyników organizatorzy ocenili jako dobrą biorąc pod uwagę niskie energie cząstek β ($E_{\text{max}} = 156 \text{ keV}$ dla ^{14}C i $E_{\text{max}} = 140 \text{ keV}$ dla ^{99}Tc).

Rozrzuty wyników tłumaczyć należy przede wszystkim błędami systematycznymi realizowanych układów i metod pomiarowych. Należy jeszcze wyjaśnić celowość rozesłania próbek ^3H , obok próbek ^{14}C i ^{99}Tc . Otóż chodzi o to, że część uczestników (NIST, PTB, BIPM i CIEMAT) stosowało metodę pomiaru t.zw.

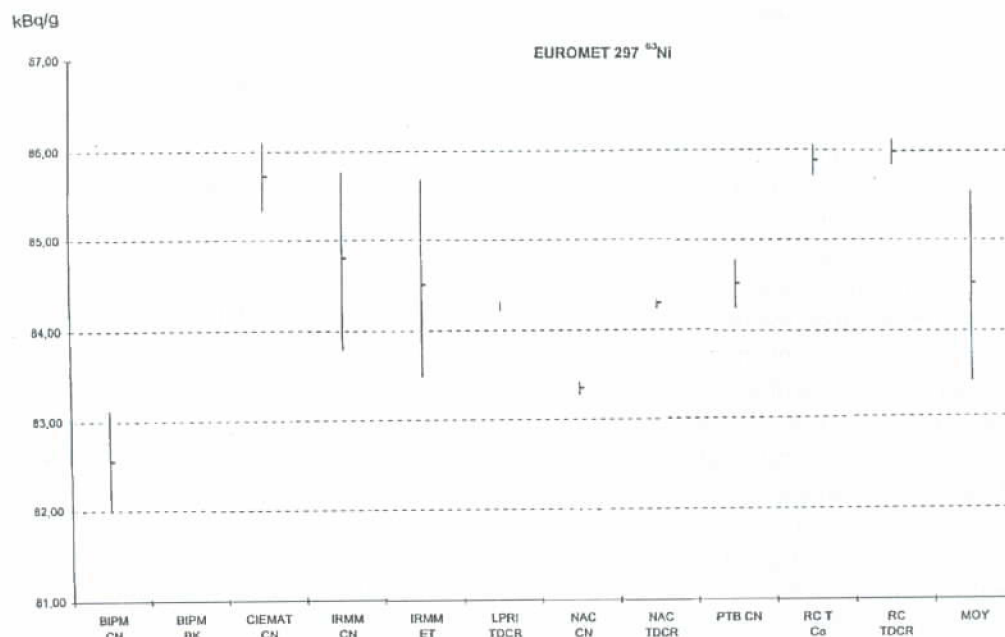
Tabela 1. Porównanie pomiarów węgla ^{14}C i technetu ^{99}Tc

Laboratorium	Węgiel-14 kBq/g	Technet-99 kBq/g
NIST	$54,03 \pm 0,045\%$	$37,64 \pm 0,2\%$
PTB	53,89	37,49
BIPM	$54,14 \pm 0,03\%$	$36,94 \pm 0,006\%$
CIEMAT	$53,89 \pm 0,13\%$	$37,27 \pm 0,27$
NAC	$53,89 \pm 0,02\%$	$37,67 \pm 0,023\%$
IAE	$54,3 \pm 0,3$	$37,6 \pm 0,2\%$

NIST-CIEMAT method, która to metoda wymaga kalibracji źródłem wzorcowym ^3H . Średnie wartości stężeń promieniotwórczych wynosiły: dla ^{14}C – 54,02 kBq/g, dla ^{99}Tc – 37,44 kBq/g. Porównanie przeprowadzono w grudniu 1991 r.

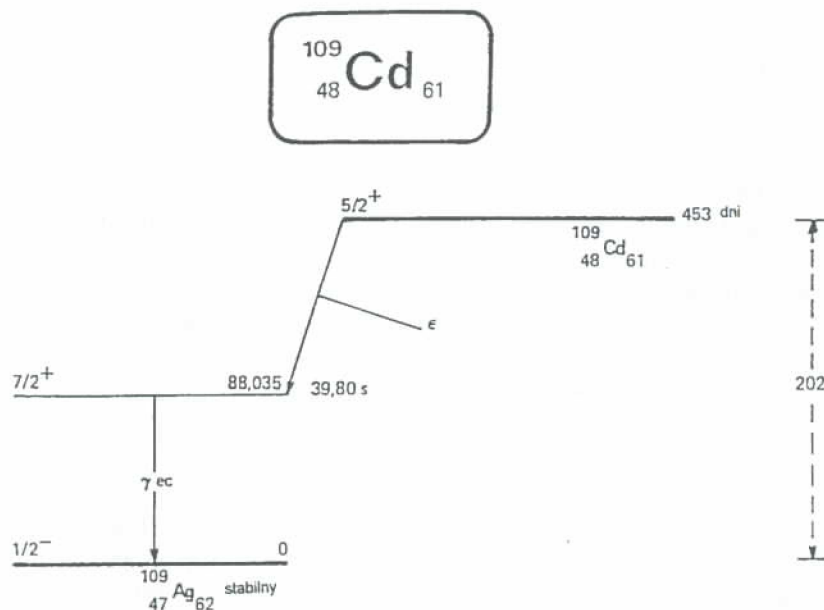
3.2. Porównanie pomiarów aktywności ^{63}Ni

Celem porównania pomiarów aktywności ^{63}Ni było również sprawdzenie metody ciekłych scyntylatorów, jako praktycznie jedynej metody pomiarowej dla tego typu niskoenergetycznego emitery β ($E_{\beta\text{max}} = 65,87 \text{ keV}$). Jednocześnie miało to na celu porównanie dwóch metod, to jest metody CIEMAT/NIST (wymagającej wzorca ^3H dla przeprowadzenia pomiarów) oraz metody TDCR (Triple to double Coincidence Ratio), którą można przyjąć jako bezwzględną. W tym przypadku porównanie przeprowadzono w sposób podwójny. Organizator rozesłał każdemu uczestnikowi

Rys. 1. Zestawienie wyników porównania ^{63}Ni

5 zamkniętych naczyń z gotowymi próbkami w scyntylatorze do pomiaru i niezależnie od tego rozesłano roztwór ^{63}Ni w zamkniętym naczyniu celem przygotowania własnych próbek do pomiaru. W porównaniu wzięło udział 9 laboratoriów, to jest jak poprzednio: BIPM, CIEMAT, NAC, NIST, PTB, IEA (określane tym razem jako RC – Radioisotope Centre), oraz 3 nowe laboratoria;

1. Ente per Nuove Tecnologie l'Energia e l'Ambiente, Roma, Włochy (ENEA).
 2. Institute for Reference Materials and Measurements, (IRMM), Geel, Belgia.
 3. Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants (LPRI), Saclay, Francja.
- Ostatecznie wyniki nadesłało 7 laboratoriów. Zestawienie wyników pomiarów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 2. Schemat rozpadu ^{109}Cd

Przedstawione wyniki pomiarów wykazują raczej duży rozrzut (powyżej 4%). Stało się to powodem szeregu spekulacji, jak i dodatkowych badań. Zaobserwowano, że przygotowane źródła zachowują się niestabilnie (obserwowana częstość zliczeń spadała w czasie). Ostateczny wniosek jest tego rodzaju, że efektem rozrzutu wyników pomiaru jest niestabilność źródeł spowodowana prawdopodobnie niewłaściwym nośnikiem dodanym do roztworu promieniotwórczego. W związku z powyższym porównanie ^{63}Ni zostanie powtórzone.

Należy jeszcze dodać, że w przypadku Laboratorium Metrologii OBRI (określane jako RC) przedstawiono dwa wyniki, jeden z metody TDCR, a drugi z tzw. metody traserów, w której pomiaru dokonuje się łącznie z emiterem $\beta-\gamma$ (w tym przypadku ^{60}Co) przy zastosowaniu metody $4\pi(\text{LS}) \beta-\gamma$ koincydencji.

4. PORÓWNANIE POMIARU AKTYWNOŚCI EMITERÓW β - γ

Pomiary aktywności emiterów β - γ , to jest nuklidów emitujących zarówno promieniowanie β jak i promieniowanie γ uważane są w technice pomiarowej za najłatwiejsze w realizacji. Pomimo więc, że emitery te stanowią liczną grupę radionuklidów nie były (i nie są) one szczególnym zainteresowaniem BIPM-u. Ta stosunkowo duża łatwość pomiaru wynika z możliwości zastosowania metod koincydencyjnych, które uważane są w obecnej technice pomiarowej za najdokładniejsze.

Laboratorium Metrologii Radionuklidów (jako IBJ) brało udział w porównaniu dwóch nuklidów ^{60}Co i ^{134}Cs . Zestawienie wyników wraz z dyskusją podane są w raportach BIPM [5,6].

5. PORÓWNANIE POMIARÓW AKTYWNOŚCI NUKLIDÓW Z WYCHWYTEM ELEKTRONU (E.C.)

Stosunkowo największe zainteresowanie BIPM-u w porównaniu pomiarów aktywności dotyczyło nuklidów z wychwytem elektronu (E.C.). Nuklidy te bowiem są trudniejsze w pomiarach aktywności. Wynika to z faktu, że charakteryzują się one emisją elektronów i fotonów x o relatywnie małej energii.

Laboratorium Metrologii Radionuklidów brało udział w porównaniu czterech radionuklidów: ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{75}Se i ^{125}J . Poniżej przedstawiono porównania trzech radionuklidów, znacznie różniących się schematem rozpadu, to jest ^{109}Cd , ^{75}Se i ^{125}J .

5.1. Porównanie pomiarów aktywności ^{109}Cd

Pomiar aktywności ^{109}Cd jest procesem złożonym. Wynika to z faktu, że tzw. czas życia na poziomie wzbudzonym (88,034 keV) jest długi (39,80 μs), (patrz rys. 2), co wyklucza stosowanie prostej koincydencji $4\pi(\varepsilon_A, x) - \gamma$ między promieniowaniem wynikającym z wychwytu a promieniowaniem γ . Istotnym jest również fakt, że promieniowanie γ jest w dużym stopniu skonwertowane, z całkowitym współczynnikiem konwersji $\alpha_t = 25,4 \pm 0,5$. W rezultacie emitowane są elektrony o energiach 62,5–87,3 ke, oraz promieniowanie x po wychwycie. W porównaniu wzięło udział 18 laboratoriów, z tego 11 laboratoriów stosowało licznik proporcjonalny ciśnieniowy, 5 stosowało technikę ciekłych scyntylatorów w różny sposób, a pozostali licznik proporcjonalny w połączeniu z metodą koincydencji. Laboratorium Metrologii Radionuklidów (jako IEA) wykonało pomiary dwoma metodami, to jest metodą potrójno-podwójnych koincydencji ze scyntylatorem ciekłym (TDCR), oraz metodą $4\pi(\text{LS})e-x$ koincydencji bazującej na koincydencji między elektronami konwersji a promieniowaniem x .

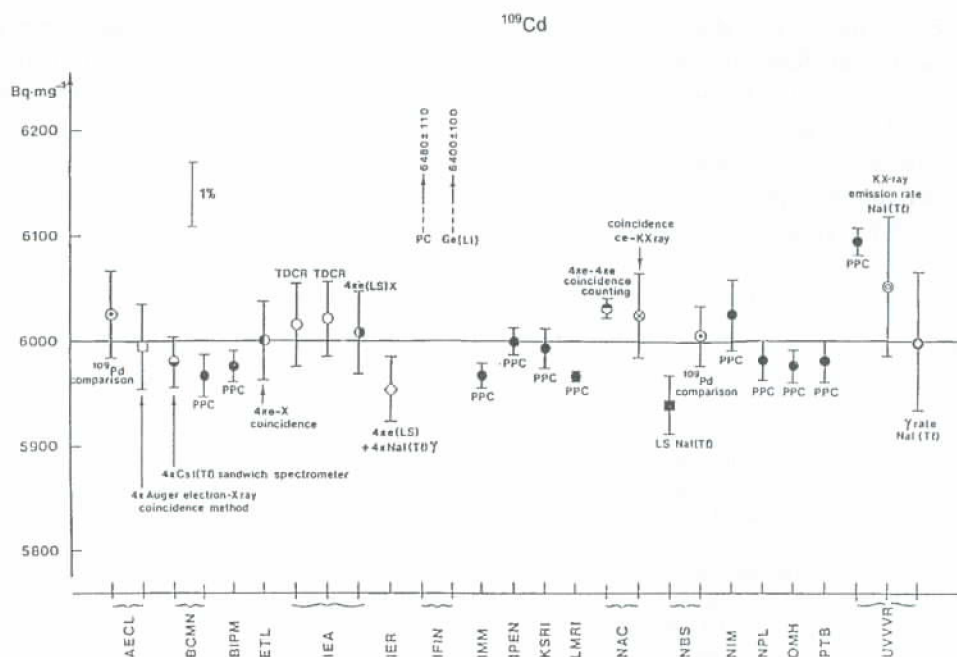
Na rysunku 3 przedstawiono zestawienie wyników porównania pomiarów ^{109}Cd . Wartość średnia (bez IFIN) wynosiła 6001 Bq/mg. Zgodność wyników oceniono jako dobrą (wykluczając IFIN), a nawet bardzo dobrą. Ze względu na stosowane różnego rodzaju układy pomiarowe, na których realizowano różne metody pomiaro-

we. Porównanie to stało się dobrym przykładem różnego rodzaju układów i metod pomiarowych. Rozrzuty wyników należy tłumaczyć różnymi technikami przygotowania próbek do pomiaru i błędami systematycznymi układów pomiarowych. Wyniki Laboratorium Metrologii były następujące: 6019 Bq/mg (wartość średnia 2 roztworów), oraz 6009 Bq/mg, a więc 0,3% i 0,13% od wartości średniej. Porównanie przeprowadzono w roku 1986, wzięło w nim udział 18 laboratoriów. Wykaz laboratoriów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wykaz laboratoriów biorących udział w porównaniach ^{109}Cd , ^{75}Se , ^{125}J

Lp.	Nazwa laboratorium		Nuklidy		
			^{109}Cd	^{75}Se	^{125}J
1	2		3	4	5
1.	AECL	Atomic Energy of Canada Limited, Kanada	x	x	x
2.	BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Indie		x	
3.	BIPM	Bureau International des Poids et Mesures, Francja	x	x	x
4.	CBNM	Central Bureau for Nuclear Measurements, Belgia			x
5.	CNEN	Comissao Nacional de Energia Nuclear Brazylia			x
6.	ENEA	Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti ENEA-CRE, Włochy			x
7.	ETL	Electrotechnical Laboratory, Japonia	x	x	x
8.	IEA*	Instytut Energii Atomowej, Polska	x	x	x
9.	IFIN	Institut de Fizica Si Inginerie Nucleara, Rumunia	x	x	
10.	IER	Institut d elektrochimie et radiochimie de LEPFL, Szwajcaria	x		
11.	IIR	Inspektorat pro ionizujici zarení, Czechosłowacja		x	
12.	IMM	Institute de Metrologie D.I. Mendeleev, ZSRR	x		
13.	IPEN	Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares, Brazylia	x		
14.	KSRI	Korean Standards Research Institute, Korea	x	x	x
15.	LMRI	Laboratoire de Metrologie des Rayonnements Ionisants, Francja	x		x
16.	LNMRI	Laboratorio Nacional de Metrologia des Radiacoes Ionizantes, Brazylia		x	
17.	LPRI	Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Francja		x	
18.	NAC	National Accelerator Centre, Południowa Afryka	x	x	x
19.	NBS	National Bureau of Standards, U.S.A		x	
20.	NIM	National Institute of Metrology, Chiny	x	x	x
21.	NIST	National Institute of Standards and Technology, U.S.A	x		x
22.	NPL	National Physical Laboratory, Anglia	x	x	x
23.	NRC	National Research Council, Kanada		x	x
24.	OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Węgry	x	x	x
25.	PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radisasi, Indonezja		x	x
26.	PTB	Physikalisch Technische Bundesanstalt, Niemcy	x	x	x
27.	UVVVR	Institute for Research production and application of Radioisotopes Prague, Czechosłowacja	x		x
28.	VNIIM	Institut de Metrologie D.I. Mendeleev, ZSRR		x	x
29.	CNEA	Comision Nacional de Energia Atomica, Argentyna		x	
30.	NIRH	National Institute of Radiation Hygiene, Dania		x	
31.	SIR	International Reference System Sevres, Francja		x	

* Dotyczy to Laboratorium Metrologii Radionuklidów, obecnie OBRI (RC)

Rys. 3. Zestawienie wyników porównania ^{109}Cd

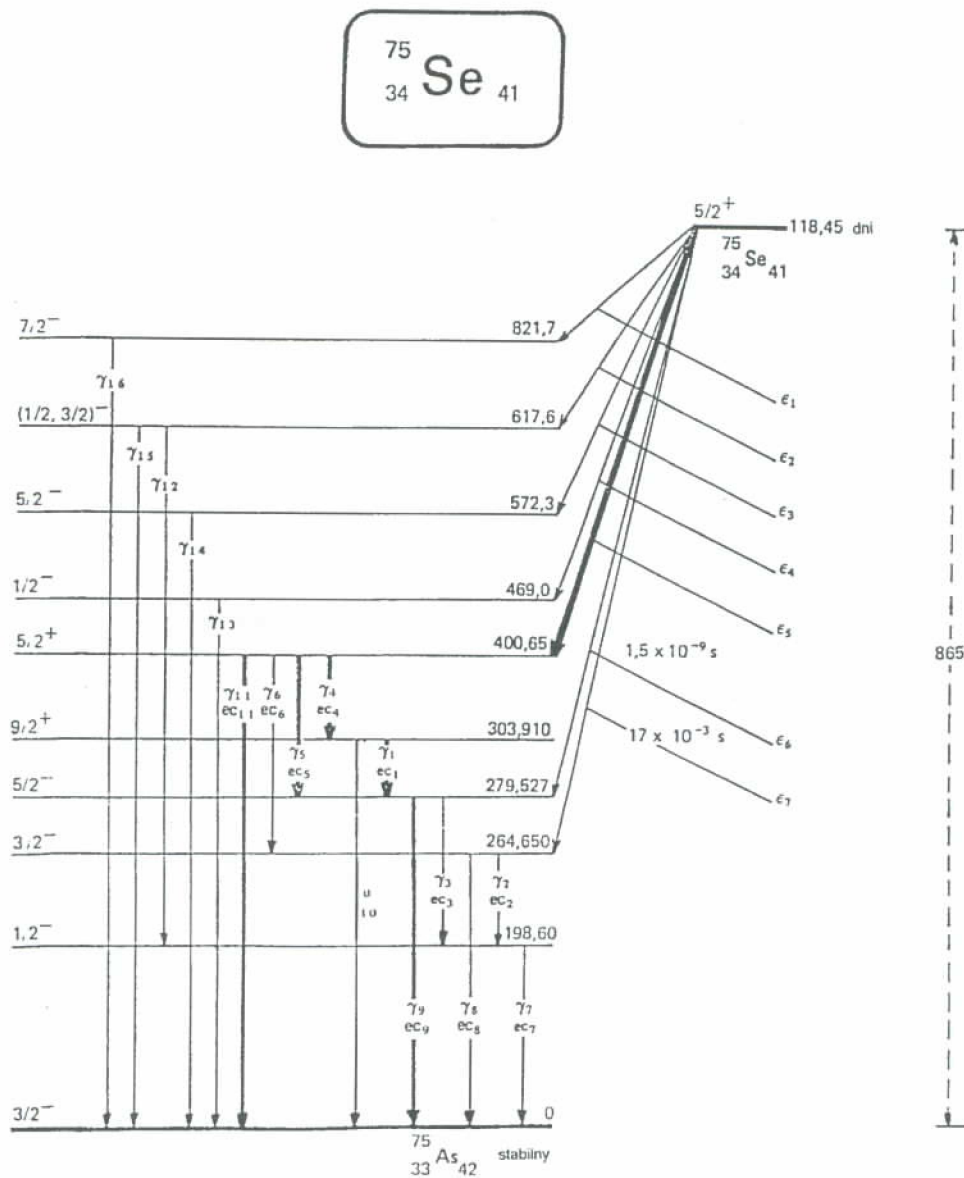
5.2. Porównanie pomiarów aktywności ^{75}Se

Rozesłano roztwór promieniotwórczy ^{75}Se o składzie chemicznym 50 mg/l Na_2SeO_3 , pH ~ 9 i stężeniu promieniotwórczym około 1,04 Mbq/g. Stosunkowo duża aktywność otrzymanego materiału (otrzymano 3,5 g) pozwoliła również na pomiar komorą jonizacyjną.

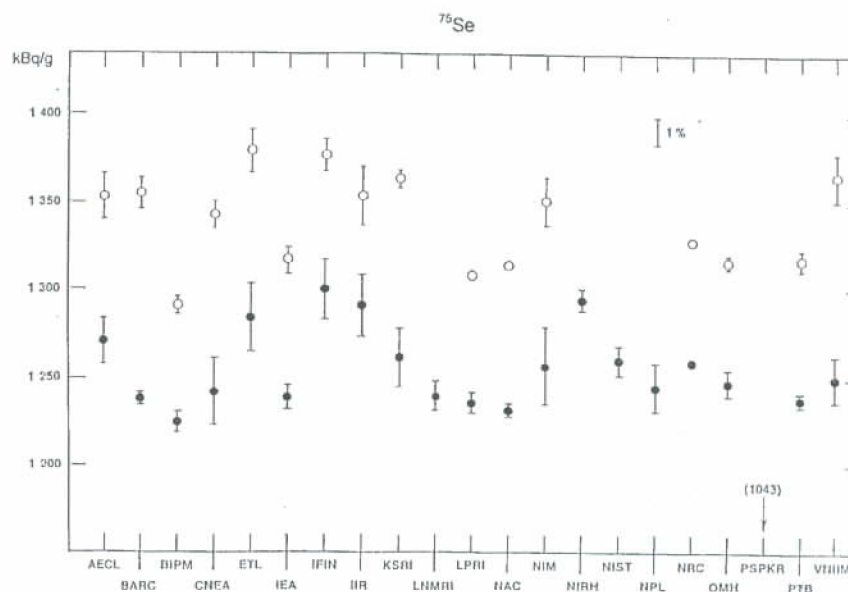
Pomiar stężenia promieniotwórczego roztworu ^{75}Se jest również skomplikowany na skutek opóźnienia na poziomie wzbudzonym ($T_{1/2} = 16,75 \mu\text{s}$) (patrz rys. 4), co powoduje konieczność wprowadzenia czynnika korekcyjnego, ze względu na fotony γ z opóźnionych linii. W Laboratorium Metrologii Radionuklidów (jako IEA) pomiar przeprowadzono metodą $4\pi(\text{LS}), e_{A,x} - \gamma$ koincydencji. Otrzymany wynik 1,239 Mbq/g różni się od ogólnej średniej (bez odrzucenia skrajnych wyników) wynoszącej 1,244 Mbq/g o około $-0,4\%$. Zestawienie wyników podano na rys. 5. Również zgodność wyników ^{75}Se została oceniona przez BIPM jako relatywnie dobra. Wynik PSPKR oceniono jako prawdopodobny błąd w przygotowywaniu próbek do pomiaru. Porównanie przeprowadzono w 1992 roku. Wzięło w nim udział 21 laboratoriów (patrz tabela 2).

5.3. Porównanie pomiarów aktywności ^{125}J

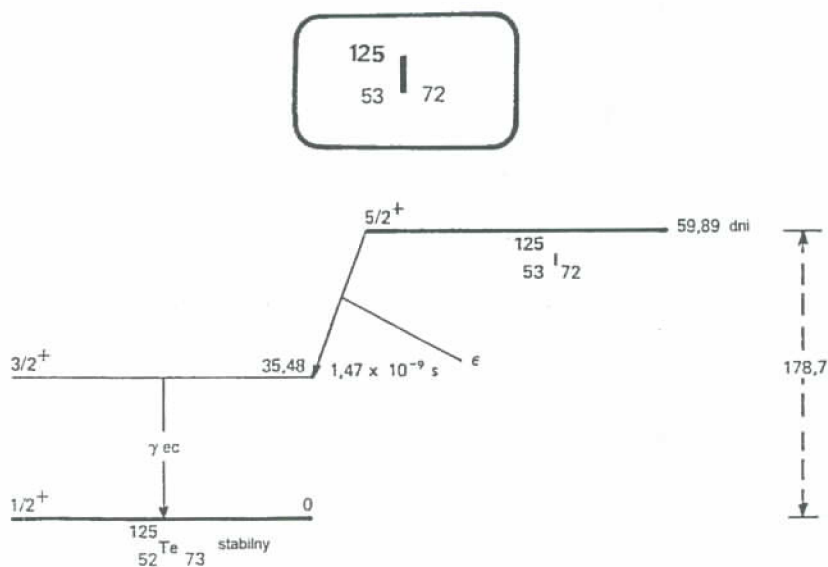
Izotop jodu ^{125}J charakteryzuje się nader specyficznym schematem rozpadu co powoduje konieczność stosowania innych metod pomiarowych aniżeli przedstawio-

Rys. 4. Schemat rozpadu ^{75}Se

ne do tej pory. Istota rzeczy polega na tym, że energia promieniowania γ wynosi 35,5 keV, podczas gdy energia fotonów X_k zawiera się w granicach 27,2–36,8 keV (patrz rys. 6). W związku z tym nie jest możliwe zastosowanie typowej metody $4\pi(\text{LS}), e_A, x-\gamma$ koincydencji. Poza tym fotony γ są w dużym stopniu skonwertowane i występują elektrony konwersji.



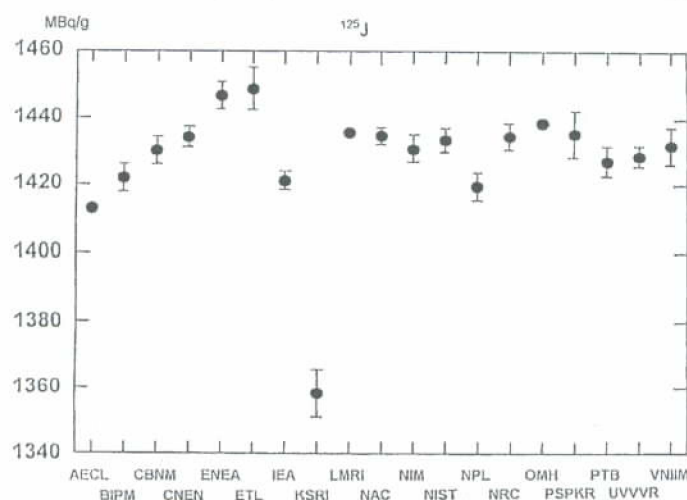
Rys. 5. Zestawienie wyników porównania ^{75}Se bez korekcji (o), oraz po korekcji (●) na emisję opóźnioną



Rys. 6. Schemat rozpadu ^{125}I

W Laboratorium Metrologii została zastosowana metoda koincydencji $x-\gamma$, opracowana pierwotnie przez Taylor'a, w której obydwie detektory rejestrują zarówno przypadki sumy $x-\gamma$, jak i koincydencje $x-\gamma$. Opracowany raport podaje informacje dotyczące stosowania różnych nowych metod pomiarowych, podając

podstawowe sformułowania w poszczególnych metodach pozwalające na określenie aktywności mierzonej. Zestawienie wyników pomiaru przedstawiono na rys. 7. Wartość średnia uwzględniająca wszystkie wyniki wynosi 1427,65 MBq/g. Wynik IEA wynosi 1421,0, a więc około 0,47% poniżej tej wartości. Rozrzut wyników wydaje się niezbyt wielki (dla większości przypadków w granicach 1,5%), a zgodność wyników oceniono jako wystarczającą, uwzględniając stosowanie przez uczestników różnych metod pomiarowych. Wynik KSRI odbiegający znacznie od wartości średniej pozostawiono bez komentarza. Porównanie pomiarów aktywności ^{125}I przeprowadzono w 1988 roku, wzięło w nim udział 19 laboratoriów (patrz tab. 2).



Rys. 7. Porównanie wyników ^{125}I

6. PORÓWNANIE POMIARÓW AKTYWNOŚCI ORGANIZOWANE PRZEZ INNE INSTYTUCJE

Poza BIPM-em i Euromet-em organizowaniem porównań pomiarów aktywności zajmowały się również RWPG oraz Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA). W ramach RWPG w latach 1973–1988 przeprowadzono porównanie pomiarów aktywności 10 nuklidów promieniotwórczych (^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{99}Mo , ^{63}Ni , ^{51}Cr , ^{152}Eu , ^{169}Yb , ^{75}Se). Laboratorium Metrologii (IBJ) następnie IEA i wreszcie OBRI brało udział we wszystkich porównaniach. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) w Wiedniu przeprowadziła w r. 1960 pierwsze (i jedyne w IAEA) porównanie pomiarów aktywności ^{131}I (12). Wzięło w nim udział 17 laboratoriów (łącznie z IBJ).

7. PROGRAM DALSZYCH PORÓWNAŃ POMIARÓW AKTYWNOŚCI

Według nieoficjalnych informacji program porównań BIPM-u przewiduje w 1996 r. porównanie ^{204}Tl i ewentualnie $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. Natomiast program Euromet-u

przewiduje poza powtórzeniem ^{63}Ni , porównanie ^{55}Fe . To ostatnie porównanie jest szczególnie interesujące z tego względu, że jest to radionuklid bardzo trudny w pomiarach aktywności, emitujący elektrony Auger i fotony X o małych energiach (ok. 6 keV) bez emisji promieniowania γ .

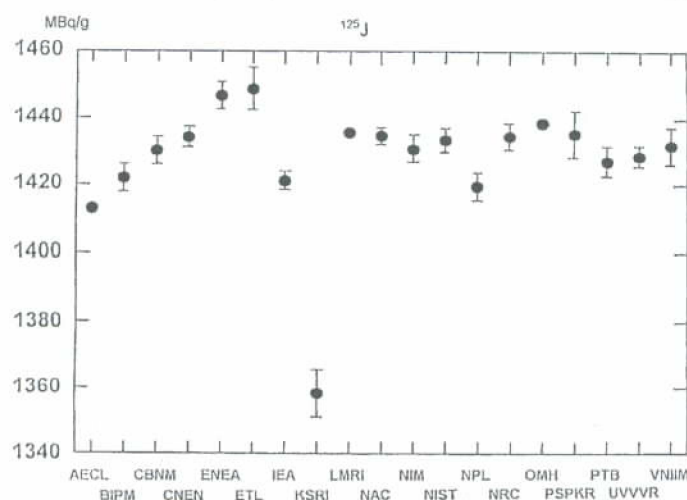
8. WNIOSKI KOŃCOWE

Jak wynika z przedstawionych powyżej przykładów, udział w międzynarodowych porównaniach pomiarów aktywności wymaga przygotowania odpowiednich układów pomiarowych pozwalających na realizację bezwzględnych metod pomiaru aktywności poszczególnych radionuklidów. Część z nich, takie jak $x-\gamma$ i $4\pi\beta-\gamma$ koincydencji zostały opracowane w Laboratorium Metrologii Radionuklidów zgodnie z tendencjami światowymi. Niektóre z nich, jak np. układ dla potrójno-podwójnych koincydencji (TDCR) ze scyntylatorem ciekłym stanowi oryginalny wkład tego Laboratorium do światowej techniki pomiarów nuklidów promieniotwórczych, co ma szczególne znaczenie w przypadku pomiarów aktywności emiterów β o małych energiach. W każdym przypadku porównania międzynarodowe stanowiły dla Laboratorium Metrologii Radionuklidów OBRI jedyny czynnik uwierzytelniający własne układy i metody pomiarowe co pozwoliło na stopniowe podwyższanie jakości przygotowywanych i dostarczanych odbiorcom wzorcowych źródeł promieniowania. Pozwoliło to również na opracowanie trzech wzorcowych układów pomiarowych, to jest układu $4\pi(\text{LS})-\gamma$ koincydencji, układu potrójno-podwójnych koincydencji (TDCR), oraz układu $x-\gamma$ koincydencji i zgłoszenie ich do Głównego Urzędu Miar jako wzorców państwowych aktywności promieniotwórczej.

LITERATURA

1. W. Łada, J. Jabłońska, K. Pochwalski, T. Radoszewski: *The Metrological Methods of Radionuclides*, Report „P” – No 1363/OPiDI/D, Instytut Badań Jądrowych 1971.
2. *Comparaison Internationale D'une solution de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ par la methode $4\pi\beta(\text{CP})$* . Bureau International des Poids et Mesures, Sevres, France 1967.
3. Mini-Intercomparison, *Two pure beta emitters ^{14}C and ^{99}Tc* (private communication).
4. *Comparison of activity Measurements Methods in Liquid Scintillation Counting and Application to the standardization of ^{63}Ni and ^{55}Fe* . Euromet Project 297. Draft. LPRI Saclay, France.
5. *Report of the international comparison of dilution and source preparation, methods by means of ^{60}Co* . Bureau International des Poids et Mesures, Sevres, France 1967.
6. *^{134}Cs Report of an international comparison of activity measurements*. Bureau International des Poids et Mesures, Rapport BIPM-80/2, Sevres, France 1978.
7. *International comparison of activity, measurements of a solution of ^{109}Cd* . Rapport BIPM-86/13 Sevres, France 1986.
8. *Report of the international comparison of activity measurements of a solution of ^{139}Ce* . Rapport BIPM-77/4, Sevres, France 1977.
9. *Activity measurements of a ^{75}Se in the frame of an International Comparison* (June 1992). Preliminary report. CCEMRI (II) 93–14. Sevres, France, May 1993.
10. *Activity concentration of a solution of ^{125}I : Results on an international comparison* Draft. Bureau International des Poids et Mesures, Sevres, France 1994.

podstawowe sformułowania w poszczególnych metodach pozwalające na określenie aktywności mierzonej. Zestawienie wyników pomiaru przedstawiono na rys. 7. Wartość średnia uwzględniająca wszystkie wyniki wynosi 1427,65 MBq/g. Wynik IEA wynosi 1421,0, a więc około 0,47% poniżej tej wartości. Rozrzut wyników wydaje się niezbyt wielki (dla większości przypadków w granicach 1,5%), a zgodność wyników oceniono jako wystarczającą, uwzględniając stosowanie przez uczestników różnych metod pomiarowych. Wynik KSRI odbiegający znacznie od wartości średniej pozostawiono bez komentarza. Porównanie pomiarów aktywności ^{125}I przeprowadzono w 1988 roku, wzięło w nim udział 19 laboratoriów (patrz tab. 2).



Rys. 7. Porównanie wyników ^{125}I

6. PORÓWNANIE POMIARÓW AKTYWNOŚCI ORGANIZOWANE PRZEZ INNE INSTYTUCJE

Poza BIPM-em i Euromet-em organizowaniem porównań pomiarów aktywności zajmowały się również RWPG oraz Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA). W ramach RWPG w latach 1973–1988 przeprowadzono porównanie pomiarów aktywności 10 nuklidów promieniotwórczych (^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{99}Mo , ^{63}Ni , ^{51}Cr , ^{152}Eu , ^{169}Yb , ^{75}Se). Laboratorium Metrologii (IBJ) następnie IEA i wreszcie OBRI brało udział we wszystkich porównaniach. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) w Wiedniu przeprowadziła w r. 1960 pierwsze (i jedyne w IAEA) porównanie pomiarów aktywności ^{131}I (12). Wzięło w nim udział 17 laboratoriów (łącznie z IBJ).

7. PROGRAM DALSZYCH PORÓWNAŃ POMIARÓW AKTYWNOŚCI

Według nieoficjalnych informacji program porównań BIPM-u przewiduje w 1996 r. porównanie ^{204}Tl i ewentualnie $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. Natomiast program Euromet-u