ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 32

Nr kol. 609

Edward KWAŚNIEWICZ, Berbere RABSZTYN, Andrzej ZASTAWNY Instytut Fizyki Politechniki Ślaskiej. Gliwice

SCYNTYLACYJNE I PÓŁPRZEWODNIKOWE SPEKTROMETRY PROMIENIOWANIA GAMMA

> <u>Streszczenie</u>. Omówiono złożone spektrometry scyntylacyjne i półprzewodnikowe promieniowania gamma z punktu widzenia ich przydatności do pomiaru koncentracji radioaktywnych pierwiastków w materiałach.

Spektrometr całkowitej absorpcji

Jest najprostszym typem spektrometru. Składa się z jednego detektora, z którego sygnał użyteczny odpowiada aktom całkowitej absorpcji kwantów gamma. Ponieważ rozmiary kryształów MaJ(Tl) są w tego typu spektrometrach duże, w granicznych przypadkach występuje problem wydajnego zbierania światła przez fotopowielacz [1].



Rys. 1. Spektrometr całkowitej absorpcji złożony z trzech kryształów NaJ(Tl) 1, 2 - kryształy - detektory osłaniające detektor studzienkowy, 3a, b, c - odprowadzenia impulsów

Parametrami charakteryzującymi spektrometr są: całkowita wydajność detekcji kwantów gamma, określane jako stosunek liczby kwantów zarejestrowanych przez kryształ do liczby kwantów padających na kryształ ze źródła oraz wydajność na całkowita absorpcje, czyli stosunek liczby kwantów o danej energii całkowicie zaabsorbowanych w detektorze do liczby padających na detektor. Dla kryształu NaJ(Tl) o rozmiarach 120x100 mm i źródła punktowego umieszczonego na 081 kryształu w odległości 10 cm od detektora w zakresie energii od 0,1-5 MeV wydajność zawarta jest w przedziale 0,975-0,459 [2], a dla skolimowanej wiązki równoległej do osi kryształu wydajność na całkowitą absorpcję

w zakresie energii 0,5-1,8 MeV zmienia się od okożo 0,8 do 0,2. Przy energiach kwantów padających, przekraczających próg kreacji pary, zjawisko ucieczki kwantów amihilacyjnych przyczynia się do zmniejszemia wydsjności na całkowitą absorpcję spektrometru {3, 4}. Źródła emitujące kwanty kaskadowe ze względu na efekty sumowamia w krysztale [5] również zmniejszają

wydajność na całkowitą absorpcję. Dlatego w pewnych przypadkach kryształy studzienkowe (geometria 4π) maja niższa wydajność na całkowita absorpcje od zwykłych krysztsłów o tych samych rozmiarach. Korzystniej jest wtedy uzyskać geometrie zbliżona do 4m przez zastosowanie dwu kryształów [6. 7]. Impulsy z obydwu detektorów są wówczas sumowane, a następnie analizowane. Doskonalszym rozwiązaniem spektrometru całkowitej absorpcji jest układ złożony z trzech kryształów [6, 8] (rys. 1). Mankamentem prostych spektrometrów jest duże tło komptonowskie. Jego silna redukcje uzyskuje się w spektrometrach złożonych.

Spektrometry komptonowskie (CS) i spektrometry komptonowskie sumacyine (SCS)

W spektrometrze komptonowskim [9] wykorzystuje się fakt słabej zależności energii kwantów rozproszonych pod kątem Q > 135° od energii kwantów pierwotnych. Spektrometr komptonowski składe się z dwóch kryształów-de-



Rys. 2. Schemat ideowy spektrometru komptonowskiego

1 - detektor analizujący, 2 - detek-tor sterujący, Z - źródło kwantów gamma, Q - kąt rozproszenia wstecznego kwantów gamma

tektorów (rys. 2): detektora analizującego (1), na który pada mierzona wiązka kwantów gamma i detektora sterującego (2), który rejestruje kwanty rozproszone wstecznie. Rejestrowane sa impulsy z detektora analizującego będące w koincydencji z impulsami z detektora sterującego. Amplitudy tych impulsów są proporcjonalne do energii elektronów komptonowskich.Zdolność rozdzielcza spektrometru komptonowskiego jest mniejsza od zdolności rozdzielczej spektrometru z

jednym kryształem, ponieważ energia elektronów komptonowskich jest mniejsza od energii kwantów gamma oraz następuje rozmycie energii elektronów



Rys. 3. Geometria spektrometru z dwoma kryształami NaJ(T1) 1, 2 - kryształy-detektory, Z - źródło kwantów gamma

komptonowskich na skutek efektu Dopplera i skończonych rozmiarów kryształów. Wydajność detekcji spektrometru komptonowskiego zależy od: (1) kąta, pod którym kryształ analizujący widzi źródło kwantów gamma, (ii) prawdopodobieństwa wyjścia z kryształu analizującego kwantu rozproszonegow kierunku kryształu sterującego (iii) prawdopodobieństwa rejestracji kwantu rozproszonego przez detektor sterujący, (iv) przedziału katowego Q - AQ, Q + AQ określonego rozmiarami i wzajemnym rozstawieniem detekto-

rów. W sumie wydajność detekcji CS jest niske, rzędu 10⁻⁵ [10], a przy szczególnie korzystnej geometrii [11] rzędu 10⁻⁴.



Rys. 4. Geometria spektrometru komptonowskiego z pierścieniowym detektorem sterującym

 półprzewodnikowe Ge(Li) detektor analizujący, 2 – półprzewodnikowy Ge(Li) pierścieniowy detektor sterujący, Z – źródło kwantów gamma

Wydajność detekcji, a przede wazystkim energetyczna zdolność rozdzielcza ulegają poprawie w sumacyjnych spektrometrach komptonowskich (SCS)[12, 15, 16], w których rejestruje się zsumowane impulsy powstałe równocześnie w obydwu detektorach. W pracy [12] dwa cylindryczne scyatylatory NaJ(Tl) ustawione sa paprzeciw siebie; między nimi znajduje sie źródło (rys. 3). W reżimie pracy CS w widmie aparaturowym obserwuje sie pik elektronów komptonowskich oraz pik kwantów rozproszonych wstecznie od kryształu sterującego. Pik rozproszenia wstecznego można wyeliminować przez włączenie dyskryminatora progowego do toru kryształu analizujacego. W przypadku sumowania (re-

zim pracy SCS) impulsów od obydwu detektorów w widmie obserwuje się pik całkowitej absorpcji kwantów gamma.



Rys. 5. Geometria bloku detekcyjnego spektrometru badanego w pracy [16] 1, 2 - detektory, 3 - warstwa teflonu, 4 - zimny palec kriostatu, S₁, S₂ - projonowane połeżenia źródeż prom. gamma. a, b, e - edprowadzenia impulsów

Pojawienie sie detektorów półprzewodnikowych przyczyniło się do powstania nowych rozwiązań CS i SCS. Zastosowanie detektorów półprzewodnikowych jako analizujących [13] pozwoliżo osiągnąć kilkakrotnie lepszą energetyczną zdolność rozdzielczą w porównaniu z kryształami NaJ(Tl). W pracy [14] detektor półprzewodnikowy o Ø 12 mm z warstwą czynną o grubości 2 mm był usytuowany naprzeciw kryształu NaJ(T1) Ø 30 mm x 14 mm w odległości 4 cm. Badane źródło umieszczano miedzy nimi w odległości 1 cm od detektora półprzewodnikowego. Na rys. 4 pokazana jest geometria półprzewodnikowych detektorów Ge(Li) tworzących SCS badany w pracy [15]. W widmie detektora sterującego wystepuje pik (200 keV) kwantów rozproszenych wstecznie pod katem Q > 135°. Okoliczność ta skłoniła

E. Kwaśniewicz, B. Rabsztyn, A. Zastawny

autorów do zastosowania układu elektronicznego pozwalającego rejestrować w wielokanałowym analizatorze amplitud tylko te impulsy sumacyjne, przy których impuls z detektora sterującego miał amplitudę odpowiadającą energii kwantów rozproszonych wstecznie. Tak otrzymane widmo sumacyjne odznaczało się wyraźnie niskim poziomem tła komptonowskiego.Zdolność rozdzielcza dla ¹³⁷Cs w reżimie SCS wynosiła 4 keV, a w reżimie CS 12 keV. Wydajność na całkowitą absorpcję w reżimie SCS wahała się w granicach od 3% dla 0,2 MeV do 40% dla 3 MeV wydajności pojedynczego detektora 4,5 cm² x 5 mm. Stosunek piku do krawędzi komptonowskiej wahał się od 400 dla 0,5 MeV do 100 dla 3 MeV.

Odmienne rozwiązanie SCS przytoczone jest w pracy [16]. Dwa detektory wykonano z jednego kryształu o 30 mm; grubość warstwy czynnej każdego detektora 4,5 mm, grubość warstwy martwej 1 mm (rys. 5). Pomiary przeprowadzono przy dwóch różnych geometriach źródło-detektor. Rozwiązanie układu elektronicznego pozwalało na pracę każdego detektora oddzielnie, w reżimie sumacyjnym i w reżimie SCS. W reżimie SCS włączenie w torach sterowania każdego detektora dyskryminatora progowego dawało możliwość badania kształtu widma sumacyjnego koincydencyjnego w zależności od energii progowych dyskryminatorów. Wydajność na całkowitą absorpcję każdego detektora w geometrii S, i odległości źródła od powierzchni kriostatu 32 mm jest prawie taka sama i wynosi od 2 x 10⁻³ dla 0,2 MeV do 3 x 10⁻⁵ dla 1,8 MeV, w režimie sumacyjnym od 4 x 10^{-3} dla 0.2 MeV do 6 x 10^{-5} dla 1.8 MeV, a w režimie SCS przy energii progów dyskryminatorów 0,130 MeV odpowiednio od 10⁻⁴ dla 0.5 MeV do 2 x 10⁻⁵ dla 1.8 MeV. Z analizy widm otrzymanych w reżimie SCS wynika, że krotność redukcji tła komptonowskiego oraz stopień zmniejszenia wydajności zliczeń pod rozważanym pikiem zależą od energii progów dyskryminatorów.

Spektrometry antykomptonowskie i spektrometry kombinowane

W spektrometrach całkowitej absorpcji, mimo dużych rozmiarów kryształu detektora, nie udaje się wyeliminować tła komptonowskiego. Można je znacznie zmniejszyć, osłaniając detektor analizujący innym detektorem lub kilkoma połączonymi równolegle pracującymi w reżimie antykoincydencji z detektorem analizującym. W mierzonym widmie są wtedy tylko piki całkowitej absorpcji kwantów gamma w detektorze analizującym. Spektrometr antykomptonowski (ACS) zachowuje więc zdolność rozdzielczą oraz wydajność na całkowitą absorpcję spektrometru z pojedynczym kryształem, a eliminuje tło komptonowskie, naturalne tło od otoczenia oraz tło generowane promieniowaniem kosmicznym. Idea spektrometru z osłoną antykoincydencyjną pochodzi do Alberta [17] i Bella [18]. Jako osłonę antykoincydencyjną w pierwsżych spektrometrach antykomptonowskich stosowano detektory cieczowe i plastykowe. Detektorami analizującymi były kryształy NaJ(T1). Gdy opanowano tech-

Scyntylacyjne i półprzewodnikowe spektrometry ...

nologię produkcji kryształów o dużych rozmiarach, zaczęto stosować osłony z kryształów NaJ(T1).





Rys. 6. Geometria spektrometru z trzema kryształami NaJ(T1) 1, 2 - kryształy osła-

niające kryształ analizujący, 3 - kryształ analizujący Spoáród spektrometrów z osłonami antykoincydencyjnymi coraz szersze uznanie znajdują spektrometry uniwersalne, dające się wykorzystać do pracy w różnych reżimach [19-24]. Opisany w [19] spektrometr składa się z trzech kryształów NaJ(T1), spośród których dwa o rozmiarach Ø 127 x 63,5 mm tworzą walec z wywierconym prostopadle do osi otworem, do którego wkłada się trzeci kryształ o wymiarach Ø 25,4 x 50,8 mm. W zależności od położenia trzeciego kryształu (rys. 6, położenie a, b) układ może pracować w reżimie spektrometru komptonowskiego z wydzielonym pikiem elektronów komptonowskich, w reżimie SCS oraz w reżimie ACS (położenie c).

Innym wariantem uniwersalnego spektrometru jest spektrometr z pierścieniowym detektorem osłonnym [20]. Detektor osłonny składa się z dwóch kryształów NaJ(Tl) połączonych ze sobą optycznie, tworząc pierścień o średnicy zewnętrznej 203 mm, wewnętrznej 72 mm i długości 305 mm. Do otworu wkłada się dwa walcowe kryształy, które pracują między sobą w układzie kolncydencyjnym, a w układzie antykolncydencyjnym z osłoną, Rozmiary tych kryształów były 0 51 x 76 mm lub 0 32 x 25 mm, a ich energetyczne zdolności rozdzielcze wynosiły około 8% i 7%. Spektrometr mo-

że pracować w reżimie CS, SCS, spektrometru sumacyjnego, ACS. Nadaje się do pomiaru próbek o dużych i małych aktywnościach w zakresie energii 0-3 MeV.

Spektrometry do analizy próbek niskoaktywnych z osłoną antykoincydencyjną i półprzewodnikowymi detektorami analizującymi opisane są w pracach [21-24]. W pracy [21] plastykowy scyntylator osłonny o wymiarach Ø 762 x x 381 mm składający się z dwóch połówek optycznie izolowanych zamontowany jest w stalowej obudowie o grubości 3,2 mm. Do wewnętrznego otworu o Ø 93mm przewierconego przez całą długość scyntylatora z jednej strony wkłada się półprzewodnikowy Ge(Li) detektor analizujący, a z przeciwnej - długi plastykowy detektor scyntylatorze osłonnym pozwala przystosować spektrometr do pracy w wariancie dwóch detektorów Ge(Li) w antykoincydencji z osłoną. Dla źródła ¹³⁷Cs w reżimie pracy ACS tło komptonowskie ulega 8-krotnemu zmniejszeniu przy energii około 400 keV, a pik linii 661 KeV praktycznie nie ulega zmniejszeniu. W przypadku źródła ⁶⁰Co piki 1,17 MeV i

E. Kwaśniewicz, B. Rabaztyn, A. Zastawny

1,33 MeV zmniejszone są okołe 10 razy. Krotność redukcji tła komptonowskiego przy 700 keV wynosi 71. W pomiarach użytecznych próbki badanych materiałów o masie 250 g zamknięte do plastykowych zbiorników o rozmiarach



Rys. 7. Geometria bloku detekcyjnego uniwersalnego spektrometru opisanego w pracy [22]

 2 - pierścieniowe plastykowe detektory osłonne;
3, 4 - półprzewodnikowe Ge(Li) detektory analizujące. Otwór o rozmiarach Ø 7[°]x 4[°] w pierścieniu 1 służy do umieszczenia badanej próbki Ø 81 x 33 mm były umieszczane w otworze w scyntylatorze osłonnym.

W pracy [22] dwa półprzewodnikowe detektory Ge(L1) o objętościach czynnych 70 cm³ i 80 cm³ umieszczone sąw dwuczęściowej cylindrycznej antykoincydencyjnej osłonie plastykowej, o średnicy zewnętrznej 30 i długości 15" (rys. 7). Blok detekcyjny osłonięty jest z każdej strony ołowianymi ścianami o grubości 4". Obydwa detektory Ge(L1) pracują w antykoincydencji z osłoną oraz w antykoincydencji między sobą. Możliwa jest praca każdego detektora Ge(Li) oddzielnie lub w koincydencji między sobą.

Układ z dwoma detektorami półprzewodnikowymi i dwoma detektorami NaJ(Tl), który może mieć zastosowanie w różnych eksperymentach koincydencyjnych lub antykoincydencyjnych opisany jest w pracy [23]. Dwa detektory Ge(Li) o objętościach 60 cm³ i 65 cm³ umieszczono w pierścieniu NaJ(Tl) -(rys. 8). Pierścień NaJ/Tl) o wymiarach Ø zewn. 11", Ø wewn. 4" i długości 11" podzielony jest na dwie izolowane optycznie sekcje. Cały blok detekcyjny osłonięty jest

ścianami ołowianymi o grubości 4[°]. Możliwe są następujące warianty pracy bloku detekcyjnego: (i) każdy detektor pracuje niezależnie od pozostałych, (ii) impulsy z wszystkich detektorów są sumowane, (iii) sumowane impulsy z detektorów Ge(Li) są w koincydencji lub antykoincydencji z sumowanymi impulsami od sekcji pierścienia, (iv) detektory Ge(Li) i sekcje pierścienia NaJ(Tl) pracują w koincydencji lub antykoincydencji niezależnie od siebie, (v) sekcje pierścienia NaJ(Tl) pracują jako spektrometr anihilacyjny, (vi) jeden z detektorów Ge(Li) pracuje w koincydencji lub antykoincydencji z pozostałymi, (vii) sekcje NaJ(Tl) mogą być połączone równolegle.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że krotność redukcji tła przy pracy układu w wariancie (iii) nie była taka duża, jaka może być osiągnięta w innych systemach, które składają się z jednego detektora Ge(Li) i jednego pierścienia NaJ(Tl) lepiej osłaniającego detektor Ge(Li). Przy pracy układu w tym wariancie w reżimie antykoincydencyjnym badano próbki środowiskowe o rozmiarach Ø 2" x 1/2".

Scyntylacyjne i półprzewodnikowe spektrometry



Rys. 8. Geometria bloku detekcyjnego uniwersalnego spektrometru opisanego w pracy [23]

1, 2 - izolowane optycznie sekcje pierścienia osłonnego, 3, 4 - półprzewodnikowe Ge(Li) detektory analizujące



Rys. 9. Geometria bloku detekcyjnego spektrometru z zastosowaniem koincydencji beta-gamma

1 - pierścień osłonny z kryształu NaJ(Tl), 2 - detektor osłonny NaJ(Tl), połączony równolegle z pierścieniem osłonnym, 3 - analizujący detektor półprzewodnikowy Ge(Li), 4 - detektor prom. beta

Interesujące rozwiązanie spektrometru (o wybitnie dużym stopniu redukcji tła) z zastosowaniem koincydencji beta-gamma przedstawione jest w pracy [24]. Do pierścieniowego scyntylatora NaJ(Tl) o Ø zewn. 9', Ø wewn. 3.25' i długości 9" z góry wkłada się scyntylator NaJ(Tl) o Ø 3" i długości 4". Z dołu wkłada się analizujący detektor półprzewodnikowy Ge(Li), otworem o Ø 0,75" w ścianie pierścieniowego kryształu NaJ(Tl) wkłada się plastykowy detektor prom. beta tuż nad powierzchnię detektora Ge(Li) -(rys. 9). Pierścieniowy scyntylator NaJ(T1) połączony jest równolegle z górnym scyntylatorem NaJ(Tl), tworząc osłonę antykoincydencyjną dla detektora Ge(Li). Detektor Ge(Li) może pracować: w antykoincydencji z kryształami NaJ(T1), w koincydencji z kryształami NaJ(T1) i detektorem prom. beta, w koincydencji z detektorem prom. beta i antykoincydencji z kryształami NaJ(T1). Przy pracy spektrometru w ostatnim wariancie poziom tła jest prawie równy zero piezależnie od rozpatrywanego przedziału skali energetycznej kwantów gamma, co świadczy o dużych walorach tego rozwiązania i przydatności w pomiarach źródeł niskoaktywnych.

Parametry określające czułość spektrometru

Takie parametry jek stosunek wysokości piku do wysokości krawędzi tła komptonowskiego, czynnik redukcji krawędzi komptonowskiej, energetyczna zdolność rozdzielcza itp. nie wystarczają do jednoznacznego określenia czułości spektrometru. Np. stosunek wysokości piku do wysokości krawędzi komptonowskiej oraz czynnik redukcji krawędzi komptonowskiej nie mają większego znaczenia [22] w przypadku pomiarów próbek o dużych rozmiarach z powodu intensywnego promieniowania rozproszonego w próbce, które nie może być wyeliminowane przez osłonę antykoincydencyjną.

Do określenia czułości różnych złożonych spektrometrów zaproponowano w pracy [25] funkcję dobroci postaci:

$$\mathbb{F}(\mathbb{E}_{1}) = \frac{\mathcal{E}(\mathbb{E}_{1})}{\left[\mathbb{R}(\mathbb{E}_{1})\mathcal{E}_{e}(\mathbb{E}_{1})\right]^{1/2}}$$
(1)

gdzie:

- $\mathcal{E}(\mathbf{E}_1)$ wydajność na całkowitą absorpcję kwantów o energii \mathbf{E}_1 ,
- R(E₁) energetyczna zdolność rozdzielcza spektrometru dla kwantów o energii E₁,
- $\mathcal{E}_{c}(E_{1})$ wydajność na tło komptonowskie oraz tło naturalne pod rozważanym pikiem o energii E_{1} .

Wzór (1) nadaje się do określania dobroci wszystkich typów spektrometrów z detektorami Ge(Li), łącznie ze spektrometrami tłumiącymi tło komptonowskie. Z (1) łatwo zauważyć, że w spektrometrach sumacyjnych komptonowskich (SCS) trudno jest osiągnąć lepszą czułość niż w spektrometrach z jednym kryształem, gdyż $\mathcal{E}(E)$ występuje w liczniku, a $\mathcal{E}_{c}(E)$ pod pierwiastkiem w mianowniku. Spektrometry zachowujące wydajność na całkowitą absorpcję przy równoczesnej redukcji tła komptonowskiego są w kontekście (1) czulsze od SCS. W pracy [26] przedyskutowana jest zależność (1) od rozmiarów detektora Ge(Li), geometrii źródła, geometrii źródło-detektor, reżimu pracy spektrometru i energii rejestrowanych kwantów w obecności źródła ⁹⁸Y symulującego naturalne tło.

Jako porównawcze kryterium dobroci spektrometrów w pracy [16] zaproponowano przyjąć względne średnie odchylenie kwadratowe liczby zliczeń pod rozważanym pikiem przy określonym czasie pomiarów.

LITERATURA

- [1] Vartanov N.A., Eysiev I.P., Samojlov P.S., Tr. Sojus. nauch.-issled. in-ta priborostrojenija, 3, 39 (1966).
- [2] Vartanov N.A., Samojlov P.S., Prakticheskije metody scintiljacijonnoj gamma spektrometrii, red. Matviejev V.V., Atomizdat, 1964.

Scyntylacyjne i połprzewodnikowe apektrometry...

- [3] Vartanov N.A., Samojlov P.S., Prikladnaja scintiljacijonnaja spektrometria, Moskva, Atomisdat, 1975. gamma
- [4] Vartanov N.A., Samojlov P.S., Tr. Sojus. nauch.-issled. in-ta pribo-rostrojenija, 1, 59 (1964).
- [5] Hutchinson J.M.R., Mann W.B., Mullen P.A., Nucl. Instr. and Meth. 112, 187 (1973).
- [6] Bobrov W.A., Kriendielev F.P., Hofman A.M., Gamma spektrometriches-kij analiz v kamere niskovo fona, Novosibirsk, Nauka, 1975.
- [7] Arsajev M.I., Makarov J.A., Mamikonjan S.V., Matviejev V.V., Sbornik rabot po niekotorym voprosam dozimetrii i radiometrii jonizujusthih izluchenij, red. Sivincev J.V., Moskva, Atomisdat, 1, 43 (1960).
- [8] Kantele I., Marttila O.I., Nucl. Instr. 27, 235 (1964).
- [9] Hofstadter R., Mc Inture J.A., Phys. Rev., 78, 619 (1950).
- [10] Stoljarova E.A., Konstantinov N.E., Prib. i tekhn. eksp., No 1. 28 (1957).
- [11] Konstantinov I.E., Strachova V.A., Prib. i tekhn. eksp., no 5, 125 (1950).
- [12] Baldin S.A., Vartanov N.A., Samojlov P.S., Tr. Sojus. neuch.-issled. in-ta priborostrojenija, 3, 39 (1966).
- [13] Hick H., Rumpold K., Weinzierl P., Nucl. Instr., 24, 327 (1963).
- [14] Mielentiev V.I., Oviechkin V.V., Rudenko V.S., Prib. i tekhn. eksp., No 1, 45 (1967).
- [15] Hick H., Pepelnik R., Nucl. Instr. and Meth., 68, 240 (1969).
- [16] Ivanov V.B., Shipilov V.I., Nucl. Instr. and Meth., 129, 313 (1974). [17] Albert R.D., Rev. Scient. Instr., 24, 1096 (1953).
- [18] Bell P.R., Science, 120, 625 (1954).
- [19] Kalish Y., Nardi E., Nucl. Instr., 26, 329 (1964).
- [20] Kantele I., Marttila O.I., Natulla I., Nucl. Instr., 39, 194 (1966).
- Camp D.C., Gatrousis Ch., Maynard L.A., Report Lawrence Livermore Laboratory, UCRL 75163, 1973. [21]
- [22] Cooper J.A., Perkins R.W., Nucl. Instr. and Meth., 94, 29 (1971).
- Brauer F.P., Kaye J.H., Frager J.E., Mitzlaff W.A., Rieck, Jr.H.G., Nucl. Instr. and Meth., 102, 223 (1972). [23]
- Kaye J.H., Brauer F.P., Frager J.E., Rieck, Jr.H.G., Nucl.Instr. and Meth., 113, 5 (1973). [24]
- [25] Cooper J.A., Nucl. Instr. and Meth. 82, 273 (1970).
- [26] Cooper J.A., Nucl. Instr. and Meth., 94, 289 (1971).

СШИНТИЛЯЦИЙНЫЕ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

Резюме

Были рассмотрены сцинтиляцийные и полупроводниковые спектрометры гамма излучения с точки эрения их примеияемости для измерения концентрации радноактивных элементов в материалах.

SCINTILLATION AND SEMICONDUCTOR SPECTROMETERS OF THE GAMMA RADIATION

Summary

1. 1

A Complex scintillation and semiconductor spectrometers of the gamme radiation are discussed considering them useful in measurements concentration of the radioactive elements in the material.