



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Materiał bezpłatny współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Opracował: Jerzy Dryzek

Detekcja widma promieniowania gamma emitowanego ze źródła ^{22}Na za pomocą licznika scyntylicyjnego

I. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z zasadą działania spektrometru do pomiaru widma promieniowania gamma opartego na liczniku scyntylicyjnym. Detekcja widma promieniowania emitowanego ze źródła radioaktywnego: ^{22}Na i promieniowania naturalnego w pracowni.

II. Obowiązujący zakres materiału

1. Zjawisko luminescencji w kryształach scyntylicyjnych.
2. Budowa i zasada działania fotopowielacza.
3. Zasada detekcji promieniowania w licznikach scyntylicyjnych.
4. Promieniotwórczość naturalna, rozpad α , β i γ .
5. Oddziaływanie promieniowania gamma z materią.

III. Literatura

1. Strzałkowski, „Wstęp do fizyki jądra atomowego”, PWN Warszawa 1979, rozdział 1.134, 1.23.
2. E. Skrzypczak i Z. Szepliński, „Wstęp do fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych”, PWN, Warszawa 1995, rozdział 5.

IV. Podstawy teoretyczne

1. Wstęp

Obserwacje i detekcja wysokoenergetycznego, twardego promieniowania gamma lub promieniowania X jest trudnym zadaniem gdyż nie można do tego celu zastosować metod stosowanych w tradycyjnej optyce, bo promieniowanie to nie jest widoczne. Pomocą jest to, że promieniowanie takie absorbowane w pewnych materiałach wyzwała w nich błyski świetlne w zakresie światła widzialnego, zwane scyntylacjami. Pierwszym, odkrytym materiałem wykazującym takie własności był ZnS, którego słabe błysnięcia obserwowane były pod mikroskopem. To właśnie one w eksperymencie przeprowadzonym przez Hans Geigera i Ernest Marsden a zinterpretowane przez E. Rutheforda (E. Rutheforda, *The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*, Phil. Mag. **21**, 669-688 (1911)) przyczyniły się do odkrycia jądra atomowego na początku dwudziestego wieku. Dzisiaj, detektory scyntylicyjne z wykorzystaniem fotopowielaczy, które konwertują słabe błyski na impulsy elektryczne, są już rutynowo używanym sprzętem nie tylko w badaniach jądrowych, fizyki wysokich energii ale medycynie i technice.

W przeciwieństwie do pierwszego scyntyлятора (ZnS), współczesne scyntyulatory, zarówno ciecze, polimery jak i kryształy to materiały przezroczyste. Pozwala to na rozprzestrzenianie się scyntylicyjnych fotonów w ich wnętrzu tak aby największa ich liczba dotarła do światłoczułej katody. Fotony takie z miejsca wyświecania rozchodzą się we wszystkich kierunkach, docierają do katody bezpośrednio albo po wewnętrznym odbiciu od ścianek scyntyлятора. Z reguły najlepszy kształt scyntyлятора jest taki gdy możliwie największa liczba fotonów dociera bezpośrednio do katody a minimalna ulega odbiciu. W wielu jednak przypadkach kształt ten zależy i od postawionego fizycznego zadania jaki oczekuje się od

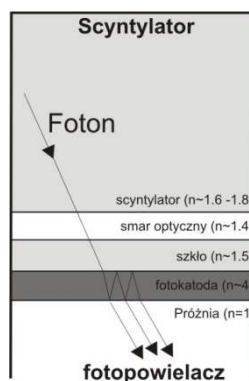


Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6

detektora. Może on być w formie prętów, cylindrów lub wielościanów gdy chcemy np. zamknąć nimi określoną przestrzeń albo i włókien kiedy fotony muszą być transportowane na pewną odległość. Z powodu nieuchronnych wewnętrznych odbić powierzchnia scyntylatora musi być dobrze wypolerowana i często pokryta warstwą dobrze odbijającą światło np. MgO, TiO₂ lub Al.

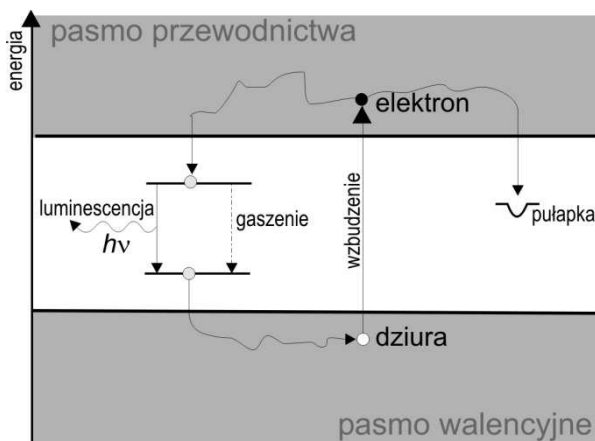
Scyntylator jest dołączony do fotopowielacza tak by fotokatoda znajdująca się w jego wnętrzu mogła zbierać fotony. Poprawny sposób zapewnia bowiem to, że maksymalna ich liczba uderzy w jej powierzchnię, Rys. 1. Fotokatoda wykonana jest najczęściej związków antymonu (SbKCs, SbNa₂K lub SbCs₃) i nie jest ona przezroczysta dla światła a współczynnik załamania jest większy od współczynnika załamania w szkłe lub próżni. To sprzyjająca cecha, bo pozwala fotonom na wielokrotne odbicia w jej wnętrzu a tym samym wzrasta prawdopodobieństwo fotoemisji elektronów. Z reguły, gdy powierzchnia wyjściowa scyntylatora nie jest większa od powierzchni katody, scyntylator po prostu przykleja się do okna fotopowielacza, za którym znajduje się fotokatoda. Jako klej używa się tzw. optyczne smary, przezroczyste materiały np. sylikony, których współczynnik załamania jest mniejszy od współczynnika załamania materiału scyntylatora i szkła okna fotopowielacza. Pozwala to wniknąć fotonom do wnętrza fotopowielacza bez odbić na powierzchniach granicznych. Używane smary są płynne i nie zapewniają trwałego sklejenia, stąd okno fotopowielacza a tym samym i sam fotopowielacz jest stale przyciskany za pomocą sprężyny do scyntylatora lub odwrotnie. To duże ułatwienie bo niejednokrotnie smar ulega zestaleniu, tracąc swoją przezroczystość i wymagana jest jego wymiana. Jeśli z praktycznych względów scyntylator nie może być przyklejony bezpośrednio do okna fotopowielacza stosuje się wtedy różnego rodzaju światłowodów, wykonane ze szkła, polistyrenu, plexi, których kształt powinien jednak zapewnić aby możliwie bez odbić fotony dotarły do fotokatody, która zamknięta jest z reguły w szklanej, próżniowej bańce. Próżnia jest konieczna, aby emitowane elektrony mogły się w niej swobodnie poruszać.



Rys.1 Schematyczna droga fotonu powstałego w scyntylatorze do fotopowielacza

2. Scyntylatory

Nieorganiczne scyntylatory to przezroczyste kryształy związków chemicznych, w których luminescencja zachodzi w skutek emisji centrów w takim związku lub specjalnie formowanych centrów aktywacyjnych wprowadzonych w kontrolowany sposób. Są to z reguły izolatory lub półprzewodniki mających przerwę energetyczną kilku elektronowoltów między pasmem walencyjnym i pasmem przewodnictwa. Pod wpływem promieniowania jonizującego wskutek efektu fotoelektrycznego lub Comptona, elektrony w paśmie walencyjnym otrzymują wystarczającą ilość energii, aby osiągnąć pasmo przewodnictwa, pozostawiając za sobą dodatnio naładowaną „dziurę” Rys. 2. Elektron i dziura, tzw. ekscyton ma pewną energię i może się przemieszczać we wnętrzu kryształu. W rzeczywistym kryształe zawsze obecne są niedoskonałości w postaci defektów lub zanieczyszczeń, tworzą one dodatkowe poziomy energetyczne w obszarze przerwy energetycznej, które mogą taki błędzący ekscyton pułapkować. Trzy typy takich poziomów możemy wyszczególnić:



Rys. 2 Proces jonizacji nieorganicznego kryształu scyntylacyjnego.

- **Centrum luminescencji**, w których rekombinacja pary elektron-dziura przenosi to centrum do stanu wzbudzonego, z którego powrót do stanu podstawowego powoduje emisję fotonu, tzw. fotonu fluorescencji. Rekombinacja pary elektron-dziura, która wzbudza to centrum może zachodzić poprzez wychwyty ekscytonu lub równoczesnym wychwytem elektronu z pasma przewodnictwa i dziury z pasma walencyjnego.
- **Centrum gaszenia**, w którym centrum luminescencji podczas przejścia do stanu podstawowego emituje fonon (ciepło) zamiast fotonu.
- **Pułapki**, to metastabilne poziomy, w których schwyte elektrony, dziury, lub ekscytony pozostają długi czas, jeśli uzyskają dodatkową energię, mogą wrócić do pasma przewodnictwa lub walencyjnego albo poruszyć się do centrum luminescencji lub gaszenia. W takiej sytuacji możliwa jest opóźniona emisja fotonu, zjawisko to nazywamy w tym przypadku fosforoluminescencją.

Tabela.1 Własności fizyczne niektórych scyntylatorów.

Scyntylator	Gęstość (g/cm ³)	Współczynnik załamania	Maksymalna długość fali emitowanego fotonu (nm)	Czas wyświecania (μs)
Nal(Tl)	3.67	1.85	410	0.25
BaF ₂	4.88	1.49	190/220 310	0.0006 0.63
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (BGO)	7.13	2.15	480	0.30

W przypadku organicznych scyntylatorów zjawisko luminescencji związane jest z istnieniem poziomów elektronowych w ich molekułach. Przejście wysokoenergetycznej cząstki, fotonu lub elektronu rozproszonego komptonowsko w pobliżu takiej molekuley przenosi elektrony znajdujące się w stanie podstawowym do wyższych poziomów wzbudzenia lub po prostu ją jonizuje formując elektron i dodatkowo naładowaną molekułę. Szybka rekombinacja w czasie kilku nanosekund, bo elektron ciągle pozostaje w obrębie molekuley, takiej pary prowadzi do jej wzbudzenia, której powrót do stanu podstawowego wiąże się albo ze wzbudzeniem termicznym, czyli emisją fononu lub emisją fotonu. To ostatnie nazywamy szybką fluorescencją.

Niektóre z wzbudzonych poziomów molekuley mogą żyć znacznie dłużej, bo kilka milisekund, a ich powrót do stanu podstawowego wiąże się z emisją fotonu, zwykle o dłuższej długości fali – mówimy wtedy o fosforosencji.

Należy pamiętać, że gdy foton gamma ulegnie absorpcji we wnętrzu kryształu scyntylacyjnego, to jego energia zostanie w proporcjonalny sposób zamieniona na pewną ilość fotonów scyntylacyjnych, ale już



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6

w obszarze światła widzialnego jak ma to miejsce w przypadku kryształu NaI(Tl). Proces ten charakteryzuje, tzw. efektywność scyntyлятора ϵ_s równa stosunkowi liczny powstałych fotonów, n_p w jednostce czasu do energii promieniowania zaabsorbowanego w scyntylatorze E_a :

$$\epsilon_s = \frac{n_p}{E_a}, \quad (1)$$

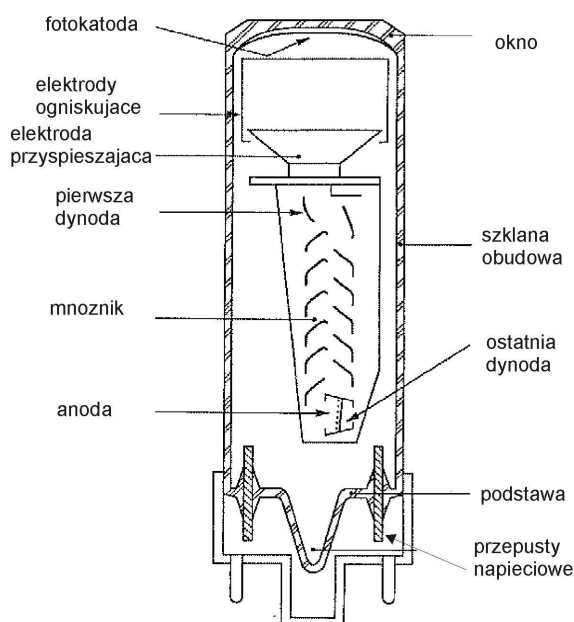
wyrażonej w MeV^{-1} . Wydajność scyntyлятора z kolei jest iloczynem efektywności ϵ_s i energii emitowanego fotonu:

$$\eta_s = \epsilon_s h\nu, \quad (2)$$

zwykle wyrażona w procentach.

3. Fotopowielacz

Ważnym elementem jest sam fotopowielacz i podłączony do niego dzielnik napięcia. Przekształca on słaby impuls światła produkowany przez scyntylator na impuls elektryczny. Pierwszy fotopowielacz został opracowany przez Philips Photonics (56AVP) w roku 1956, Rys. 3. Jest to szklana próżniowa lampa a w jej wnętrzu znajdują się następujące elementy. Od góry zamyka je okno, przez które wchodzi fotony a od dołu rząd przepustów napięciowych. Tuż za oknem znajduje się fotokatoda, wykonana w postaci półprzepuszczalnej cienkiej warstwy z materiału fotoczułego (np. SbKCs) nałożonego na wewnętrznej części okna tak aby mogła emitować elektrony w odpowiedzi na absorbowane fotony. Za fotokatodą znajdują się system optyki elektronowej składający się z jednej lub więcej elektrod, którego zadaniem jest przyspieszenie emitowanych elektronów i zogniskowanie ich na pierwszej dynodzie. Rozpoczyna ona szereg elektrod tzw. dynod, które tworzą układ powielający elektrony. Elektrony są przyspieszane między dynodami, dzięki przyłożonemu między nimi napięciu, a uderzając w kolejną dynodę powodują emisję z niej tzw. elektronów wtórnych, które następnie są przyspieszane w kierunku do następnej dynody i tam również wyzwalają emisję kolejnych elektronów. W ten sposób na anodzie, będącej ostatnią dynodą uzyskuje się wzmocnienie ilości elektronów rzędu 10^3 do 10^8 w zależności od ilości dynod. Typowe napięcie przyspieszające między dynodami to ok. 100 V. Zasilanie całego układu, fotokatody, dynod i anody odbywa się z jednego zasilacza wysokonapięciowego, którego napięcie rozkłada się na tzw. dzielniku napięć, które podają się na przepusty napięciowe, patrz np. Rys.7.



Rys. 3 Schemat fotopowielacza.



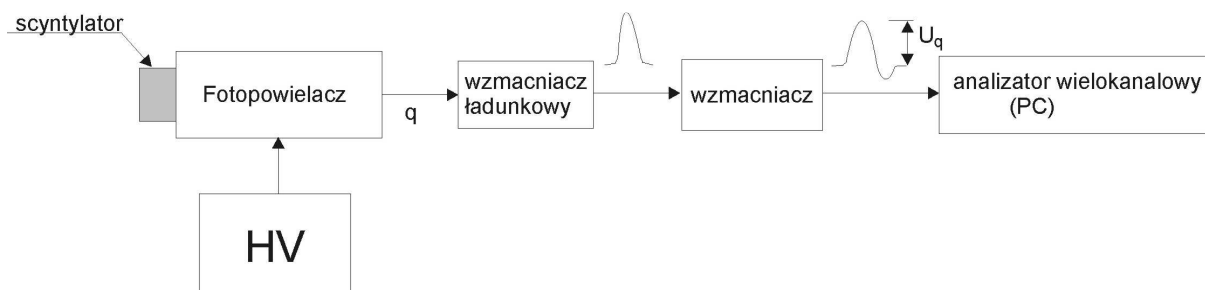
4. Spektrometr

Na Rys. 4 przedstawiono schemat blokowy typowego spektrometru do pomiaru widm energetycznych promieniowania z wykorzystaniem analizatora wielokanałowego. Każde oddziaływanie takiego promieniowania w scyntylatorze powoduje wygenerowanie na anodzie w fotopowielaczu ładunku elektronów, który spływając poprzez opornik do masy (Rys. 5), wytwarza na jego końcówkach szybki impuls napięciowy. Wysokość tego impulsu jest proporcjonalna do energii straconej w scyntylatorze przez promieniowanie, np. fotony gamma. Impuls ten ma małą amplitudę i jest bardzo szybki stąd wprowadza się go na odpowiedni wzmacniacz, który formuje impuls odpowiedni do przyjęcia przez analizator wielokanałowy. W analizatorze impulsy te są zbierane i konwertowane w histogram ich amplitud. Jeśli monoenergetyczne promieniowanie (foton gamma o ściśle określonej energii) zostanie zaabsorbowany w scyntylatorze, wówczas na ekranie analizatora powinniśmy zaobserwować histogram o jednej bardzo wąskim pik, którego energia (numer kanału) na osi odciętych powinna odpowiadać energii tego fotonu. Jeśli promieniowanie będzie zawierać kilka monoenergetycznych fotonów wówczas powinniśmy obserwować kilka pików, każdy odpowiadający energii tych fotonów (Rys. 6). Zwykle piki te są znacznie poszerzone a to w skutek następujących czynników:

- Emisja fotonów scyntylacyjnych fluktuuje w skutek niejednorodności samego scyntylatora.
- Liczba fotonów docierających do fotokatody fotopowielacza również fluktuuje gdyż ich wyświecanie następuje w różnych miejscach w scyntylatorze, zatem droga każdego fotonu jest inna.
- Emisja fotoelektronów również może się zmieniać w zależności od lokalnej czułości fotokatody.
- Liczba elektronów docierających do anody także fluktuuje bo miejsca ich powstania na powierzchni dynod za każdym razem są inne.

Wszystko to powoduje, że impuls napięciowy zmienia swoją wysokość od scyntylacji do scyntylacji. Dla dużej liczby zgromadzonych w analizatorze impulsów, na histogramie uformuje się pik w formie przypominającej w przybliżeniu krzywą Gaussa.

Scharakteryzować ją można pewną wartością średnią u_q , i odchyleniem standardowym σ_u . Energetyczna zdolność rozdzielcza takiego spektrometru definiowana jest jako: $\Delta u/u_q$, gdzie $\Delta u=2.36\sigma_u$, jest szerokością pik w połowie jego wysokości (tzw. FWHM). Dla komercyjnych spektrometrów ta wartość jest na poziomie kilku procent i maleje odwrotnie proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego energii promieniowania. Zależy ona również od napięć panujących w samym fotopowielaczu, a szczególnie między fotokatodą a pierwszą dynodą. Innym ważnym parametrem charakteryzującym spektrometr jest stosunek wysokości samego pik do wartości pik po jego lewej stronie, jest to tzw. stosunek *piki-do-doliny*. Im większa jest to wartość tym mniejszy jest poziom szumów i lepiej rozróżnialny jest sam pik na histogramach.



Rys. 4. Budowa typowego spektrometru promieniowania gamma opartego o licznik scyntylacyjny.

5. Składowe w widmie promieniowania gamma

Proporcjonalna zależność między zaabsorbowaną przez scyntylator energią a liczbą fotonów scyntylacyjnych otrzymaną na fotokatodzie zależy od procesów oddziaływania, w których promieniowanie jest absorbowane w scyntylatorze i wyzwala elektrony i dziury, które wzbudzają fluorescencje. Gdyby istniał tylko jeden taki proces, to jak wspomniano wyżej w otrzymanym



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6

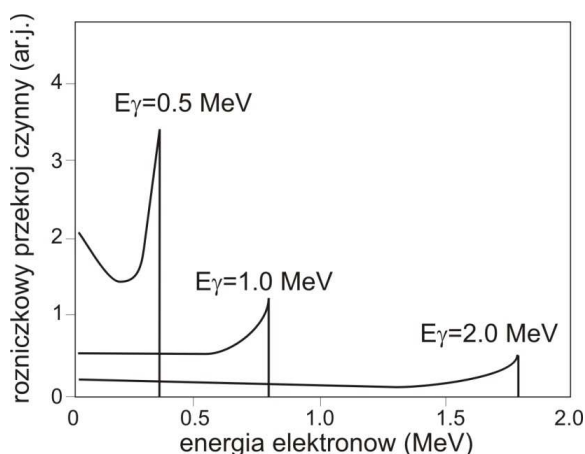
histogramie wyprodukowanym przez analizator wielokanałowy otrzymalibyśmy tylko jeden pik – odpowiadający energii absorbowanego promieniowania – X lub fotonów gamma. W rzeczywistości otrzymany histogram, będący w istocie widmem energetycznym ma bardziej złożony kształt, który odpowiada faktowi, że istnieje kilka procesów odpowiedzialnych za absorpcję promieniowania, Rys. 5. Najważniejszym z nich jest efekt fotoelektryczny, efekt Comptona i produkcja par.

-Efekt fotoelektryczny: $E_{s,\gamma} = E_\gamma - B_s$, gdzie B_s jest energią wiązania uwolnionego elektronu, zwykle z powłoki K lub L a E_γ energią fotonu gamma, absorbowanego przez scyntylator. Elektron ten zostaje przeniesiony do pasma przewodnictwa, w przypadku scyntyлятора nieorganicznego i później w centrach luminescencji powoduje wyświecanie fotonu. Uwolnienie elektronu prowadzi do powstania dziury a to z kolei jest zapełniana elektronem z zewnętrznej powłoki, podczas którego następuje emisja promieniowania charakterystycznego, fotonu X o energii B_s lub bliskiej. Mała energia takiego fotonu, dla scyntyлятора NaI(Tl) wynosi ona 28 keV spowoduje, że jest on absorbowany i w konsekwencji efekt fotoelektryczny na widmie promieniowania ujawnia się w postaci pików tzw. *fotopik*, odpowiadającemu energii pochłoniętego promieniowania E_γ a nie $E_\gamma - B_s$, Rys. 8. Może się jednak zdarzyć, że foton X ucieknie ze scyntyлятора i wówczas pik o takiej energii powstanie.

-Efekt Comptona: W tym efekcie foton gamma rozprasza się na elektronie, w wyniku foton zmienia kierunek lotu i swoją energią a elektron ulega rozproszeniu z przekazaną mu energią. Energia elektronu mieści się w granicach od zera do pewnej maksymalnej energii: $E_\gamma / (1 + mc^2 / 2E_\gamma)$, gdzie m jest masą elektronu a c prędkością światła ($mc^2 = 511$ keV). Poza rozproszonymi elektronami w wyniku tego efektu powstają również fotony o energii:

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos \theta) \frac{E_\gamma}{mc^2}}, \quad (1)$$

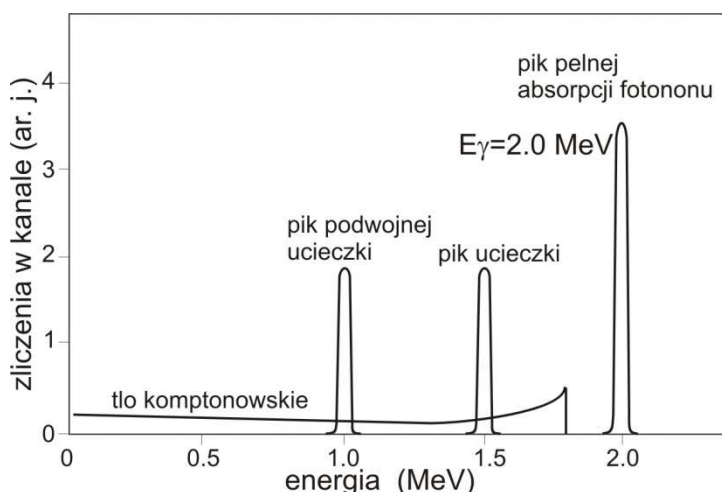
gdzie θ jest kątem między początkowym fotonem a rozproszonym. Jeśli rozproszony foton zostanie zaabsorbowany w scyntyляторze to zostanie on włączony do fotopiku. Jeśli jednak foton rozproszony opuści scyntylator wówczas tylko część energii, unoszona przez rozproszony elektron zostanie zaabsorbowana, przyczyniając się do powstania szerokiego, ciągłego widma energetycznego zakończonych tzw. krawędzią komptonowską o energii równej: $E_p / (1 + mc^2 / 2E_p)$. Należy pamiętać, że elektrony takie mają stosunkowo wysoką energię i także przyczyniają się do powstania ekscytonów a tym samym do emisji fotonów scyntyacyjnych. Na Rys. 5 zaznaczono widmo energetyczne elektronów rozproszonych w wyniku takiego procesu, widmo to jest zawsze obecne w pomiarach widm promieniowania gamma.



Rys 5. Widmo elektronów rozproszonych komptonowsko przez fotony gamma o energii odpowiednio 0.5 MeV, 1.0 MeV i 2.0 MeV. Widoczna jest ostra krawędź odpowiadająca maksymalnej energii jaką te elektrony mogą uzyskać od fotonu.



-Tworzenie par: $E_{s,\gamma} = E_{\gamma} - 2mc^2$. Jeśli energia absorbowanego fotonu jest większa od 1.022 MeV wówczas foton taki w polu jądrowym może ulec zamianie (reakcja) na pozyton i elektron. Jeśli obie cząstki zostaną wyrzucone z objętości czynnej scyntylatora wówczas nie ulegną w niej absorpcji, a proces taki zmanifestuje się na widmie energetycznym pojedynczym pikiem o energii: $E_{s,\gamma} = E_{\gamma} - 2mc^2$. Jeśli tylko pozyton lub elektron ulegnie absorpcji wówczas otrzymamy również pik o energii $E_{s,\gamma} = E_{\gamma} - mc^2$. W sytuacji, gdy obie cząstki będą zaabsorbowane wówczas efekt ten nie będzie się manifestował oddzielnym pikiem a tylko pikiem o energii E_{γ} , Rys. 6.



Rys. 6 Schematyczne, idealne widmo fotonu gamma z zaznaczonym pikiem odpowiadającym pełnej jego absorpcji w scyntylatorze, pikiem odpowiadającym sytuacji, gdy foton uległ konwersji na parę pozyton-elektron, która uległa anihilacji i jeden z fotonów anihilacyjnych o energii 0.511 keV uciekł ze scyntylatora nie podlegając absorpcji. Reszta energii została pochłonięta i powstał tzw. pik ucieczki. Może się, też zdarzyć, że drugi foton anihilacyjnych o energii 0.511 keV także ucieknie i wówczas pojawi się pik podwójnej ucieczki. Na widmo nakłada się także szerokie tło rozproszonych komptonowsko elektronów na fotonie gamma.

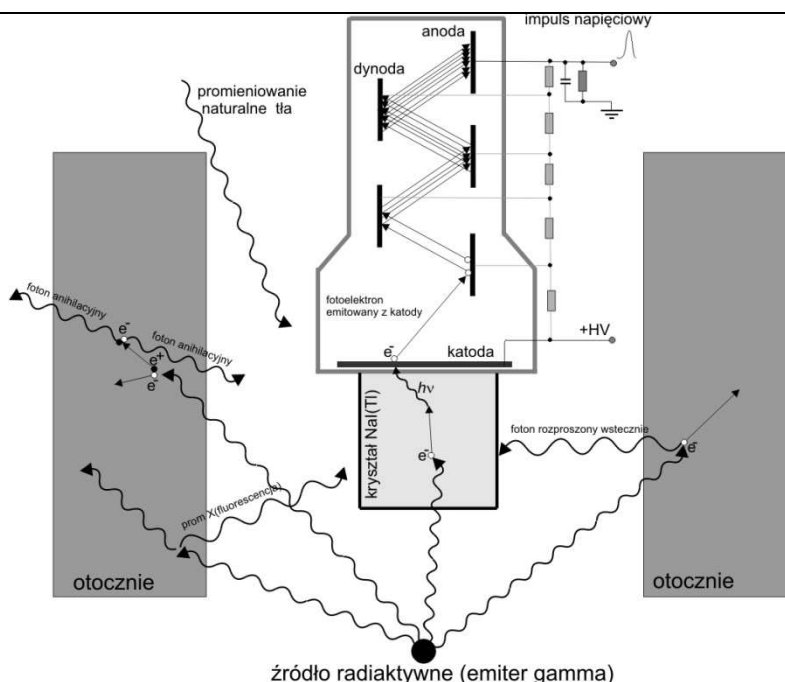
-Rozproszenia wstecznego. Komptonowskie rozproszenie fotonów gamma w ośrodku otaczającym scyntylator prowadzi do pojawienia się pików o energii równej $E_{\gamma}(1+2mc^2/E_{\gamma})$. Odpowiada on fotopikowi fotonu rozproszonego pod kątem 180° na elektronach otoczenia i absorbowanego w scyntylatorze, .

-Promieniowanie anihilacyjne: Jeśli podczas procesu produkcji par elektron-pozyton, pozyton ucieknie ze scyntylatora i ulegnie anihilacji z napotkanym elektronem w otoczeniu, to jeden z fotonów anihilacyjnych o energii 511 keV może zostać zaabsorbowany przez scyntylator i na widmie pojawi się fotopik odpowiadający takiej właśnie energii, Rys.7. Właściwie w wyniku anihilacji powstają dwa takie fotony, poruszające się w przeciwnych kierunkach, ale mając tylko jeden detektor tylko jeden z nich możemy zaobserwować.

-Suma fotopików. Jeśli źródło promieniotwórcze emituje więcej niż dwa fotony gamma i jeśli równocześnie zostaną one zaabsorbowane w scyntylatorze wówczas w widmie otrzymamy fotopiki odpowiadające poszczególnym fotonom może także pojawić się fotopik będący sumą ich energii. Np. dla źródła ^{22}Na mamy foton gamma o energii 1.274 MeV oraz z reguły jeden foton anihilacyjny o energii 0.511 keV (drugie emitowany jest w przeciwnym kierunku) to na widmie otrzymamy także fotopik o energii $1.274 \text{ MeV} + 0.511 \text{ MeV} = 1.785 \text{ MeV}$, Rys. 9. Aby uniknąć takiego „fałszywego” fotopiku stosuje się system elektroniczny, który umożliwi rozpoznanie takich nakładających się impulsów i ich eliminację podczas zapisywania do histogramu.

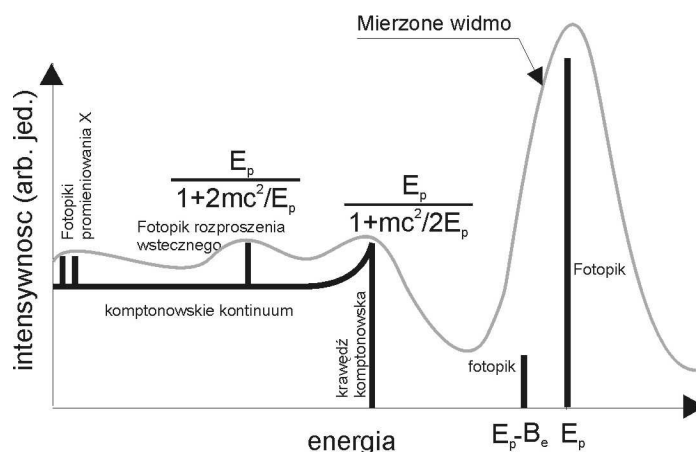
Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6



Rys. 7 Schemat oddziaływania promieniowania gamma z otoczeniem i licznikiem scyntylacyjny. Pokazano tylko niektóre z możliwych procesów, które mają wpływ na ostateczny kształt widma obserwowanego w analizatorze wielokanałowym.

Typowy kształt widma (histogramu) obserwowanego na ekranie analizatora przedstawiono na Rys. 8. Odpowiada on sytuacji gdy tylko jeden foton gamma absorbowany jest w scyntylatorze. Jeśli źródło emituje kilka fotonów gamma o różnych energiach i wówczas obserwowane widmo jest sumą widm takich jak na rysunku 6 odpowiadającym poszczególnym fotonom. O ile krawędzie komptonowskie mogą ulec zatarciu to fotopiki są wyraźnie rozpoznawalne. Widać to na Rys.9 gdzie przedstawiono zmierzone widmo promieniowania gamma emitowanego z izotopu ^{22}Na .

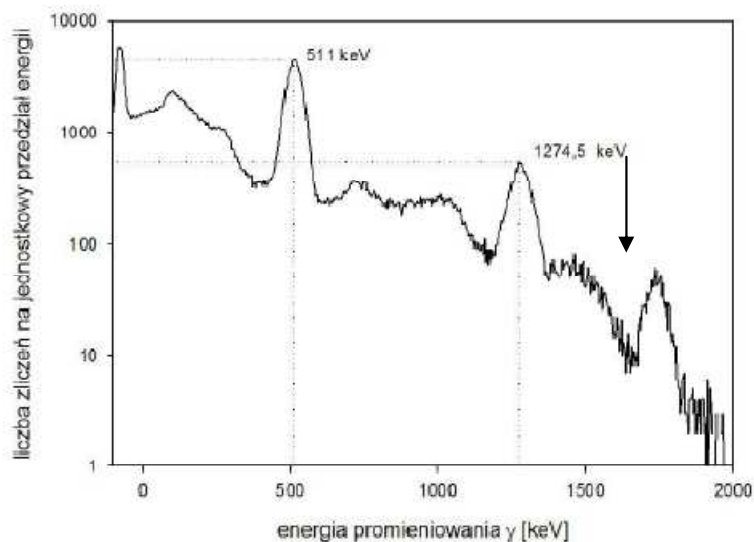


Rys. 8 Schemat idealnego widma dla źródła emitującego jeden foton gamma o energii mniejszej od 1.022 MeV. W widmie takim obecny jest fotopik o energii odpowiadającej energii tego fotonu. Szerokie komptonowskie tło zakończone krawędzią komptonowską. Zaznaczono także fotopik dla fotonów rozproszonych wstecznie, oraz niskoenergetyczne fotopiki pochodzące od promieniowania charakterystycznego (X) wzbudzonego w wyniku oddziaływania fotonów gamma z otoczeniem. Dla fotonów o energii większej od 1.022 keV na widmie takim pojawiają się fotopiki wskutek zjawiska tworzenia pary pozyton-elektron. Linia ciągłą zaznaczono eksperymentalne widmo, którego kształt określa energetyczna zdolność rozdzielcza spektrometru.



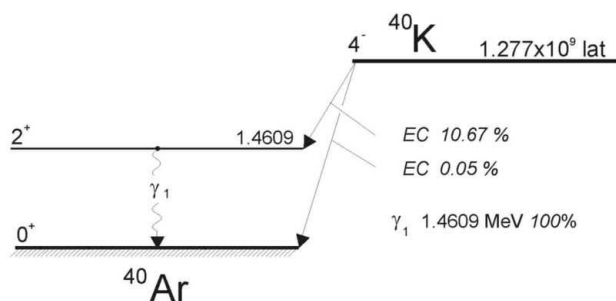
Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6

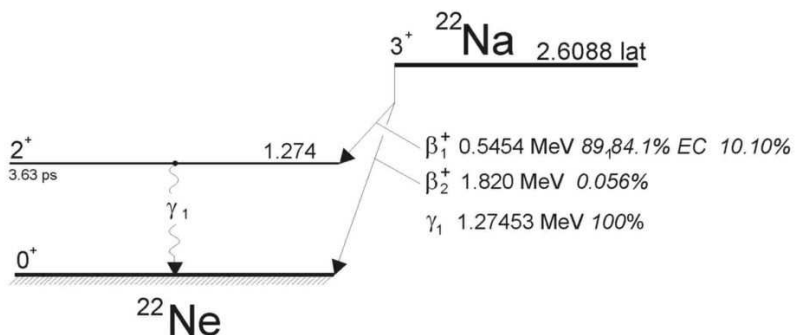


Rys. 9 Widmo promieniowania gamma emitowanego przez izotop ^{22}Na . Wyraźnie widoczny jest fotopik anihilacyjny o energii 511 keV, fotopik o energii 1274 keV oraz trzeci pik, zaznaczony strzałką w pozycji odpowiadający sumie energii obu tych pików. Widoczne są krawędzie rozproszenia komptonowskiego i bardzo słabe fotopiki odpowiadające fotonom rozproszonym wstecznie.

a)



b)



Rys. 10 Schemat rozpadu promieniotwórczego izotopu ^{40}K a) i poniżej ^{22}Na b).



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Materiał bezpłatny współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

V. Część doświadczalna

– Wykonanie ćwiczenia

Wykonanie ćwiczenia

Celem pomiaru jest detekcja widma promieniowania gamma emitowanego przez preparat radioaktywny. W istocie sprowadza się to do pomiaru histogramu wysokości impulsów elektrycznych produkowanych w fotopowielaczu, a następnie wzmacnionych we wzmacniaczu (*spectroscopic amplifier*).

1. Umieścić przed licznikiem scyntylicyjnym pobrane od prowadzącego źródło np. ^{22}Na .
2. Włączyć tor pomiarowy spektrometru. Uruchomić oscyloskop i na jego ekranie zaobserwować kształt impulsów wychodzących z anody fotopowielacza. Są to impulsy, które zostają podane na wejście wzmacniacza spektroskopowego. Następnie należy przewód z tymi impulsami podłączyć na wejście tego wzmacniacza. Ponownie obserwować impulsy na ekranie oscyloskopu z jego wyjścia. Regulując podstawą czasu oscyloskopu i wzmacnieniem doprowadzić do stabilnego obrazu. Zmienić wzmacnienie, przełącznik *Gain* na wzmacniaczu spektroskopowym i ustawić tak, aby maksimum impulsów nie przekraczała 10 V. Należy zwrócić uwagę na nierówny rozkład wysokości wychodzących ze wzmacniacza impulsów. Impulsów o pewnych wysokościach jest więcej niż innych, dlaczego?
3. Aby otrzymać histogram należy zliczać impulsy, których wysokość będzie się mieścić w wybranym oknie. Przesuwając to okno np. w górę i licząc w tym samym czasie impulsy otrzymamy zależność liczby impulsów w funkcji ich wysokości. Na ekranie oscyloskopu można tylko w sposób jakościowy ocenić w przybliżeniu kształt tej zależności. Do tego celu należy posłużyć przelicznikiem i analizatorem jednokanałowym (*single channel analyzer*)
4. Impulsy z wyjścia wzmacniacza podać na wejście analizatora jednokanałowego. Ustawić czas zliczania impulsów równy np. 10 s. Na analizatorze umieszczone są dwa pokrętki tzw. helipoty. To wieloobrotowe potencjometry, których zadaniem jest wybranie dolnego i górnego progu, wspomnianego wyżej okna, który przepuści impulsy o wysokościach mieszczących się w nastawionych graniach. Liczba tych impulsów, które przeszły między dolnym i górnym progiem w ustalonym czasie jest wyświetlana na wyświetlaczu. Aby ją otrzymać należy licznik wyzerować przyciskiem *reset*, a następnie uruchomić zliczanie przyciskiem *go*.
5. Pomiar rozpocząć od ustawienie dolnego progu na wartości 0.1, a górnego na wartości 0.2. Szerokość okna jest, zatem równa 0.1 w jednostkach na helipotach. Zmierzyć liczbę impulsów w czasie 10 sek i zanotować wynik. (Można użyć do tego celu programu EXCEL w komputerze.) Następnie wyzerować licznik i podnieść dolny próg o wartość 0.1, a więc ustawić wartość 0.2. Analogicznie górny próg powinien być również podniesiony o wartość 0.1, tj. do wartości 0.3. W ten sposób zrealizowane będzie podnoszenie okna użytego do zliczania impulsów, którego szerokość będzie zawsze taka sama równa 0.1. Po takiej zmianie należy, tak jak poprzednio zmierzyć liczbę impulsów. Podnosząc próg dolny i jednocześnie górny jak poprzednio, należy otrzymać zależność liczby impulsów od położenia progu dolnego. Pomiaru należy prowadzić aż do takiej wysokości progów, dla której liczba zliczeń będzie już minimalna tj. wyniesie kilkadziesiąt.
6. Wykonać wykres, który jest histogramem amplitud impulsów, a w istocie widmem energetycznym fotonów gamma emitowanych z preparatu radioaktywnego.
7. Pomiar powtórzyć dla preparatu zawierającego izotop Co-60.



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6

- Korzystając z pomocy prowadzącego otrzymać widmo z użyciem karty TUKAN. Porównaj otrzymane widmo z tym, które zostało wyrysowane podczas pomiarów z podnoszeniem okien na analizatorze jednokanałowym. Przedyskutuj ewentualne różnice w otrzymanych widmach.

Opracowanie wyników

- Wykreślić widmo otrzymane dla izotopu ^{22}Na . Korzystając z tego, że dwa wyraźne fotopiki odpowiadają energii 511 keV i 1274 keV i tego, że istnieje liniowa zależność między energią a wysokością progu dolnego lub okna, oznaczoną przez Pd ($E=a+b \cdot Pd$). Przyjąć, że maksimum fotopików odpowiada energii wskazanym wyżej fotonom. Przedstaw na osi poziomej otrzymanego widma energię wyrażoną w keV.
- Na tak wykalibrowanym energetycznie widmie odszukaj krawędź komptonowską dla obu linii, fotopiki wstecznego rozproszenia. Określ ich energię odczytując z wykresu, a następnie porównaj z wartościami obliczonymi teoretycznie.
- Określ energetyczną zdolność rozdzielczą spektrometru (FWHM), patrz tekst powyżej, dla energii 511 keV i 1274 keV.
- Oblicz wielkość pik-do-dolina dla tych dwóch fotopików.
- Mając wyznaczone równanie kalibracyjne określ energię odpowiadające fotopikom na widmie zmierzonym dla preparatu z izotopem Co-60. Porównaj otrzymane energie z danymi literaturowymi.
- W sprawozdaniu umieść także widma zmierzone za pomocą karty TUKAN, i przedyskutuj zauważone różnice między otrzymanymi widmami.

– Opracowanie wyników

- Wykreślić widmo otrzymane dla izotopu ^{22}Na , można skorzystać z programu Graph 4.3 lub EXCEL (można pobrać np. ze strony <http://www.padowan.dk>). Korzystając z tego, że dwa wyraźne fotopiki odpowiadają fotonom o energii 511 keV i 1274 keV należy wykalibrować spektrometr. Znajdź numery kanałów, w których znajdują się maksima odpowiadające tym fotopikom, przypisz im podane wyżej energie, a następnie metodą regresji liniowej wyznacz następującą zależność:

$$E = a + b \cdot N_i, \quad (5)$$

tj. znajdź parametry a i b , łączącą energię z numerem kanału. Przedstaw na osi poziomej energię fotonów wyznaczoną za pomocą tego równania

- Korzystając z programu Graph 4.3 lub innego, dopasuj do fotopików funkcję Gaussa następującej postaci:

$$N(E) = A \cdot \exp\left[-\frac{(E - E_0)^2}{2\sigma^2}\right] + N_b, \quad (6)$$

Wpisz tę zależność w zmierzone widmo.

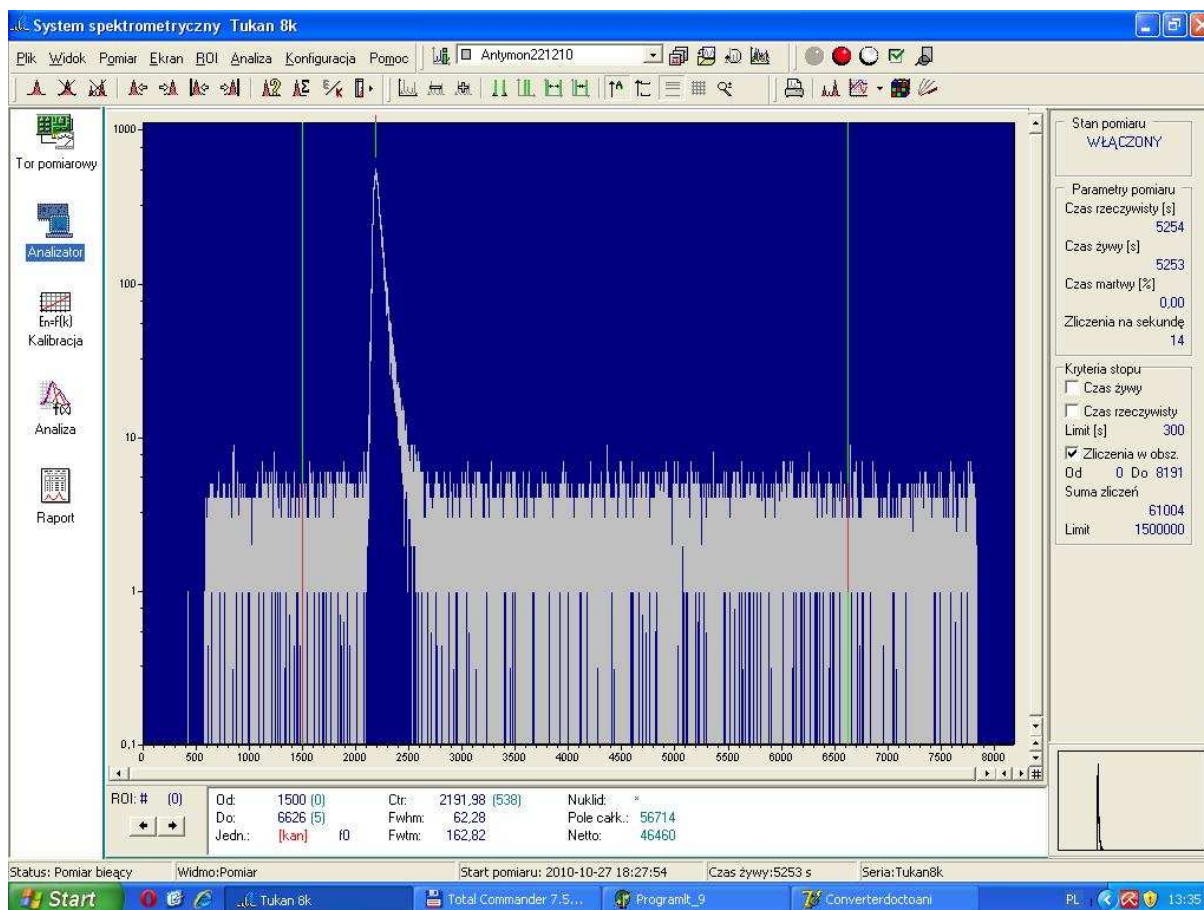
- Określ energetyczną zdolność rozdzielczą spektrometru (FWHM) dla energii 511 keV i 1274 keV np. wyznaczonej powyżej zależności lub z wykresu. Oblicz wielkość pik-do-dolina dla tych dwóch fotopików.
- Na wykalibrowanym energetycznie widmie izotopu ^{22}Na odszukaj krawędź komptonowską dla obu linii, fotopik wstecznego rozproszenia, fotopik sumy energii obu fotonów pik promieniowania X. Określ ich energię odczytując z wykresu a następnie porównaj z wartościami obliczonymi teoretycznie, patrz wyżej.
- Podobnie jak dla ^{22}Na wykreśl widmo otrzymane dla tla w pracowni. Korzystając z tej samej kalibracji energetycznej co powyżej, podaj energię kwantu gamma odpowiedzialnego za widoczny fotopik.



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6

Wskaż krawędź komptonowską i uzasadnij brak fotopiku rozproszenia wstecznego. Wskaż oczekiwane miejsce jego pojawienia się. Jakiemu izotopowi odpowiada stwierdzony kwant gamma? Skorzystaj w tym celu z baz danych w Internecie np. strony <http://atom.kaeri.re.kr/index.html>.

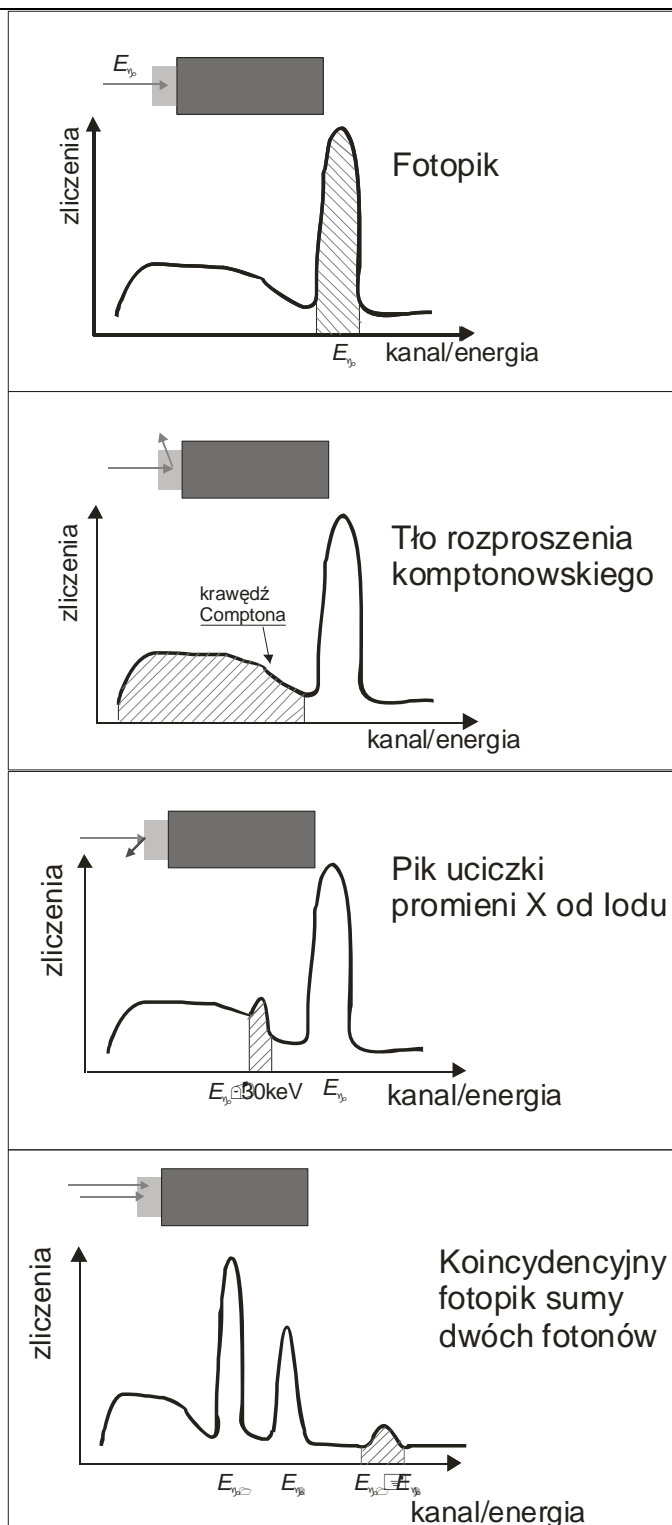


Rys. 11. Opis ekranu karty TUKAN



Pracownia Radioizotopowa

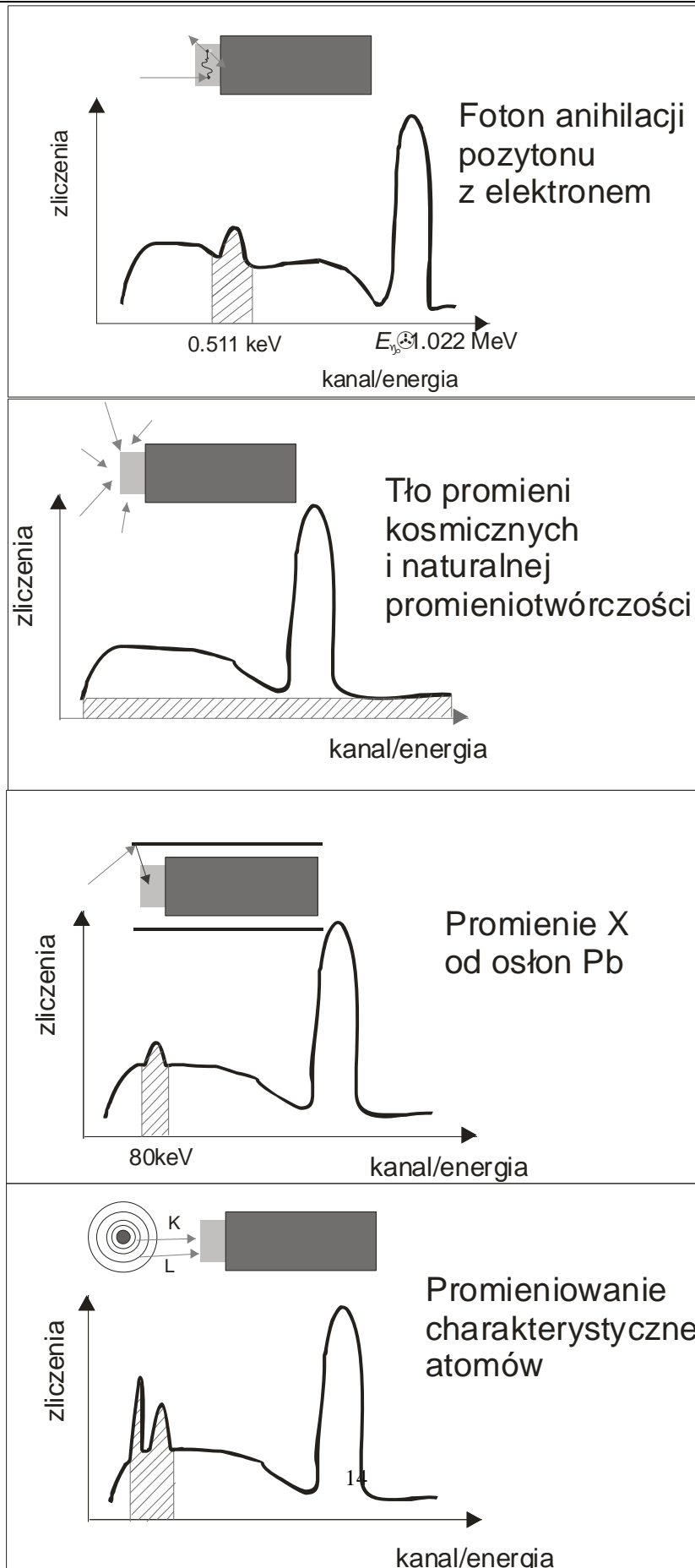
Ćwiczenie 6





Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



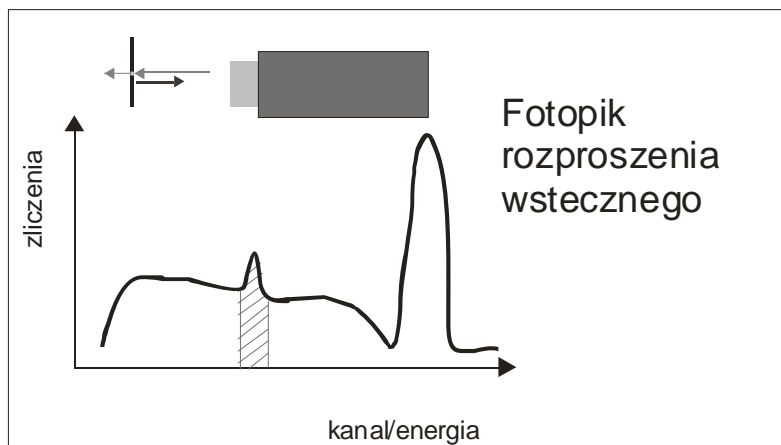
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Materiał bezpłatny współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 6



Rys. 12 Typowe elementy na widmie promieniowania gamma obserwowane (zakreskowane obszary) w liczniku scyntylacyjnym, z podanymi ich źródłami powstania (schemat w górnej części rysunku.).