

SPEKTROMETRIA PROMIENIOWANIA GAMMA

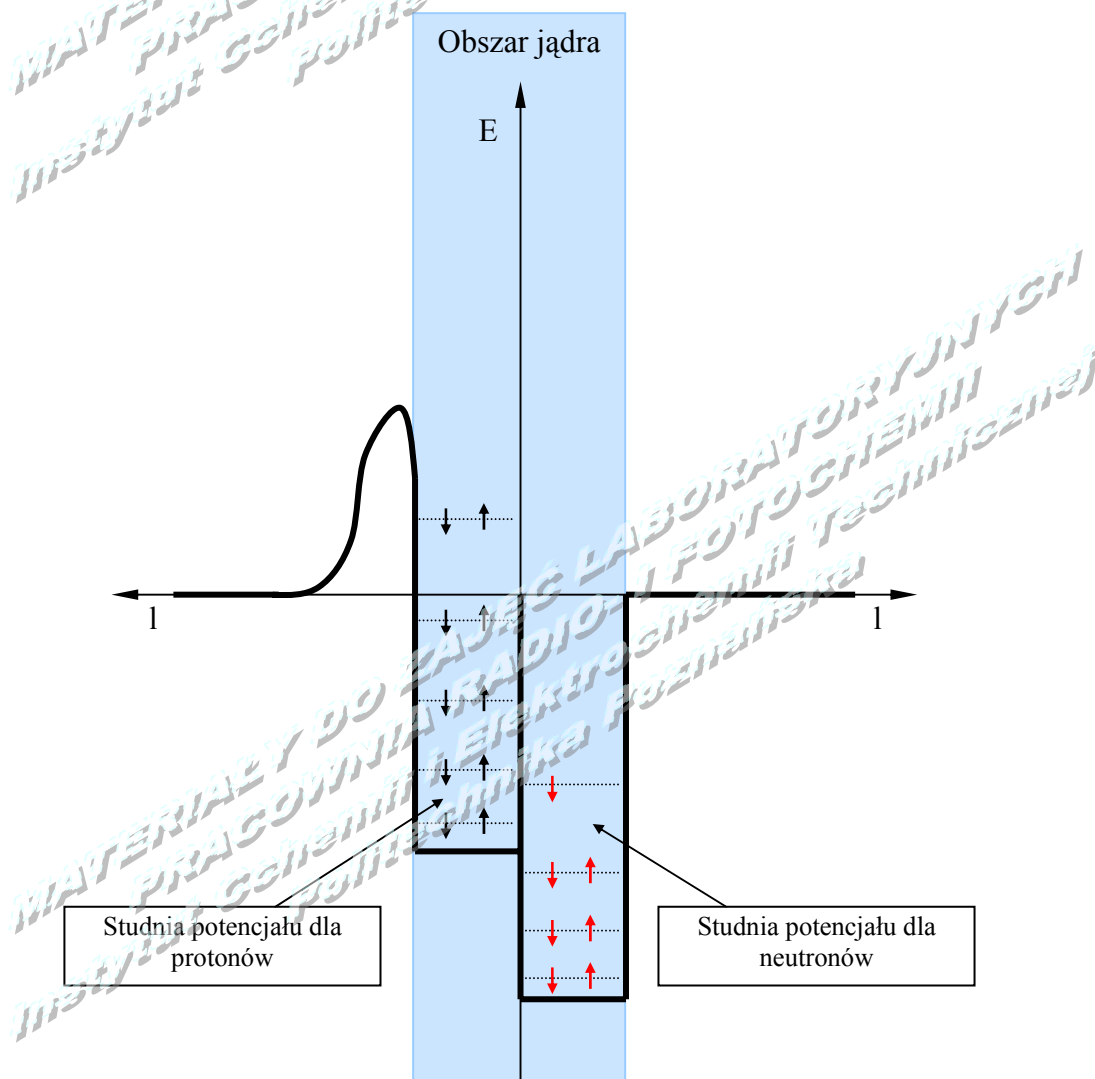
Instrukcję przygotował:
dr, inż. Zbigniew Górski
Poznań, maj, 2005.

1. Podstawy teoretyczne.

Promieniowanie gama jest promieniowaniem elektromagnetycznym emitowanym przez wzbudzone jądra atomowe przy przejściu z wyższego do niższego stanu energetycznego.

Promieniowanie to często towarzyszy (jest efektem wtórnym) przemianom jądrowym (α , β^- , β^+ , ...). Promieniowanie to jest promieniowaniem charakterystycznym, to znaczy że jego widmo energetyczne ma naturę dyskretną, ściśle zależną od rodzaju zmian energetycznych zachodzących w jądrze.

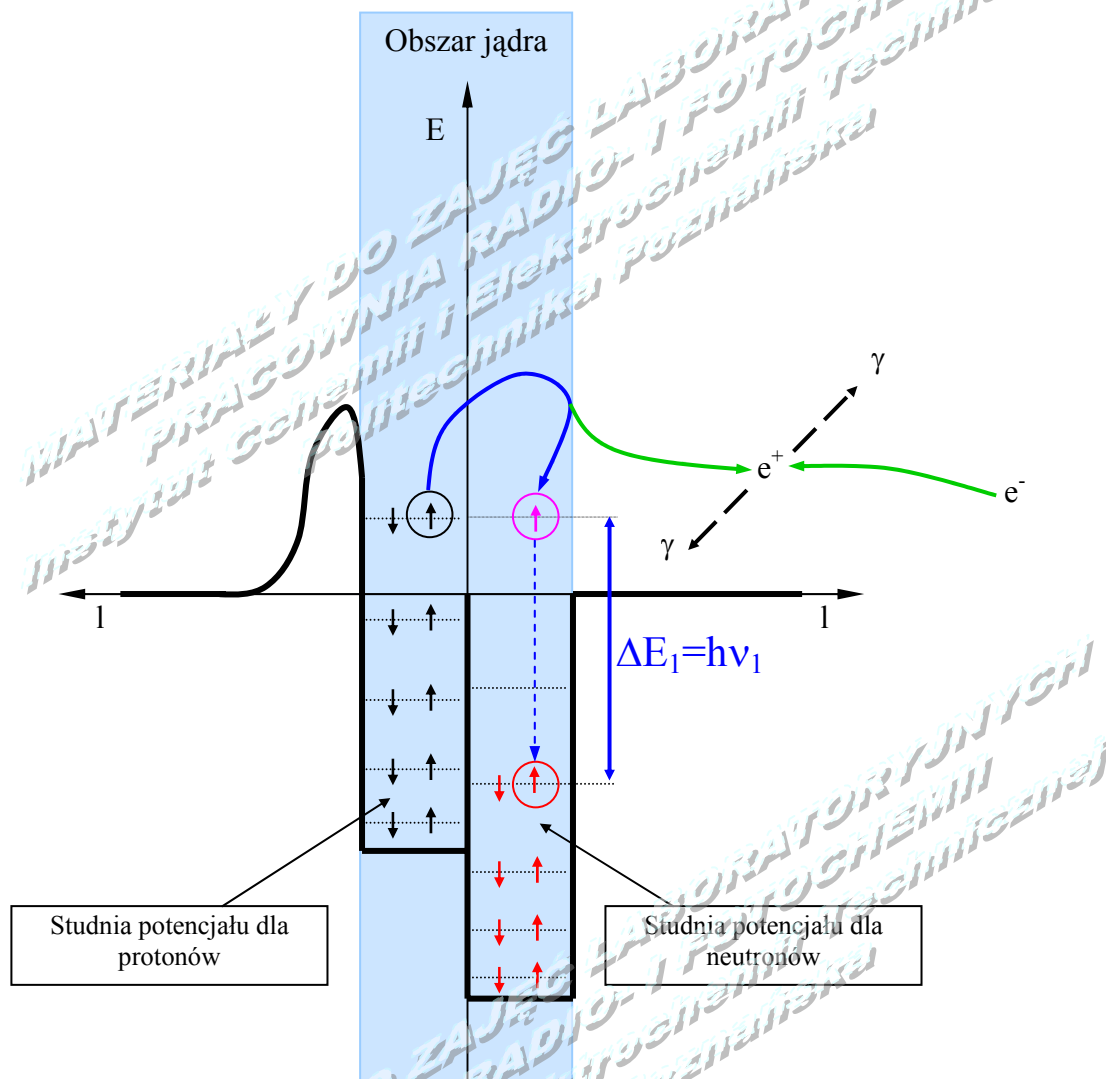
Aby rozważyć procesy jądrowe zachodzące w jądrze wygodnie jest posłużyć się grafami ilustrującymi zmiany rozmieszczenia nukleonów w studniach potencjału jądrowego według modelu budowy jądra (np. zdegenerowanego gazu Fermiego). Jeżeli dyskusji poddamy przemiany w jądrze posiadającym nadmiar liczby protonów nad liczbą neutronów to przykładowy graf rozmieszczenia nukleonów może wyglądać jak przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia protonów i neutronów w jądrze atomu posiadającego nadmiar liczby protonów w stosunku do liczby neutronów

Jądro o takim rozmieszczeniu nukleonów powinno ulegać przemianie β^+
 Zrównoważenie energetyczne będzie procesem wieloetapowym.

W pierwszym etapie (Rys.2), proton \uparrow ulegnie zmianie w neutron \uparrow i zostanie umieszczony na równoważnym poziomie energetycznym w studni potencjału jądrowego neutronów (przemianę tą ilustruje niebieska strzałka).

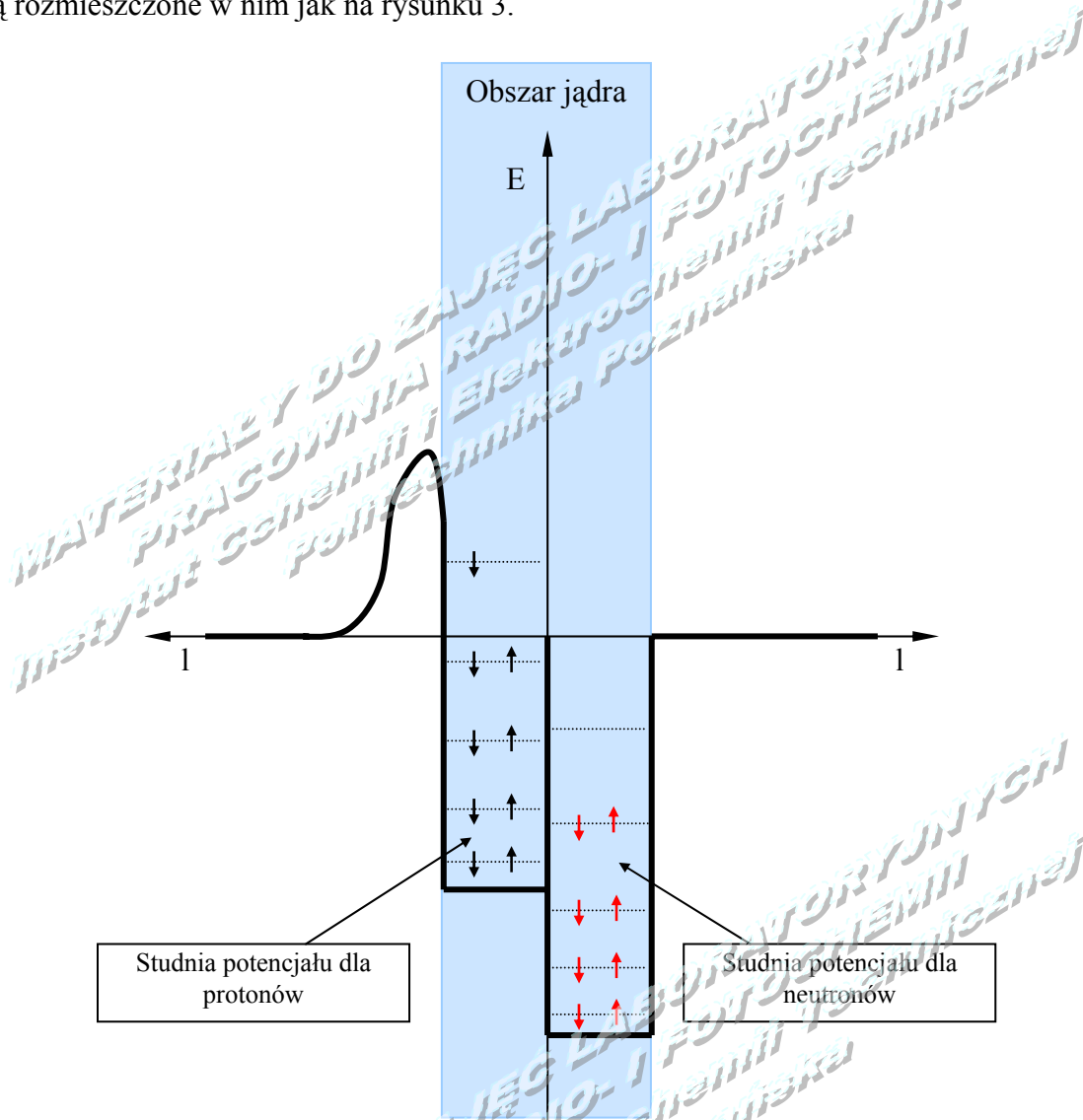


Rys. 2. Schemat ilustrujący przesunięcia nukleonów pomiędzy studniami potencjału jądrowego w jądrze, emisji cząstki β^+ i anihilacji.
 Etap pierwszy dochodzenia do równowagi energetycznej jądra.

Efektem tej przemiany jest powstanie i wyrzucenie poza obszar jądra cząstki e^+ (β^+), która ulega anihilacji w reakcji z elektronem z powłok elektronowych atomu. Powstaną tu dwa kwanty promieniowania γ (anihilacyjnego). Promieniowanie to nie powstaje w jądrze i jako takie nie będzie poddawane dalszej dyskusji.

Ponieważ neutron \uparrow znajduje się na wysokim poziomie energetycznym, a w przedstawionym na schemacie jądrze znajdują się nieobsadzone poziomy energetyczne o niższej energii, neutron ten \uparrow obsadzi najniższy dostępny poziom pozbywając się

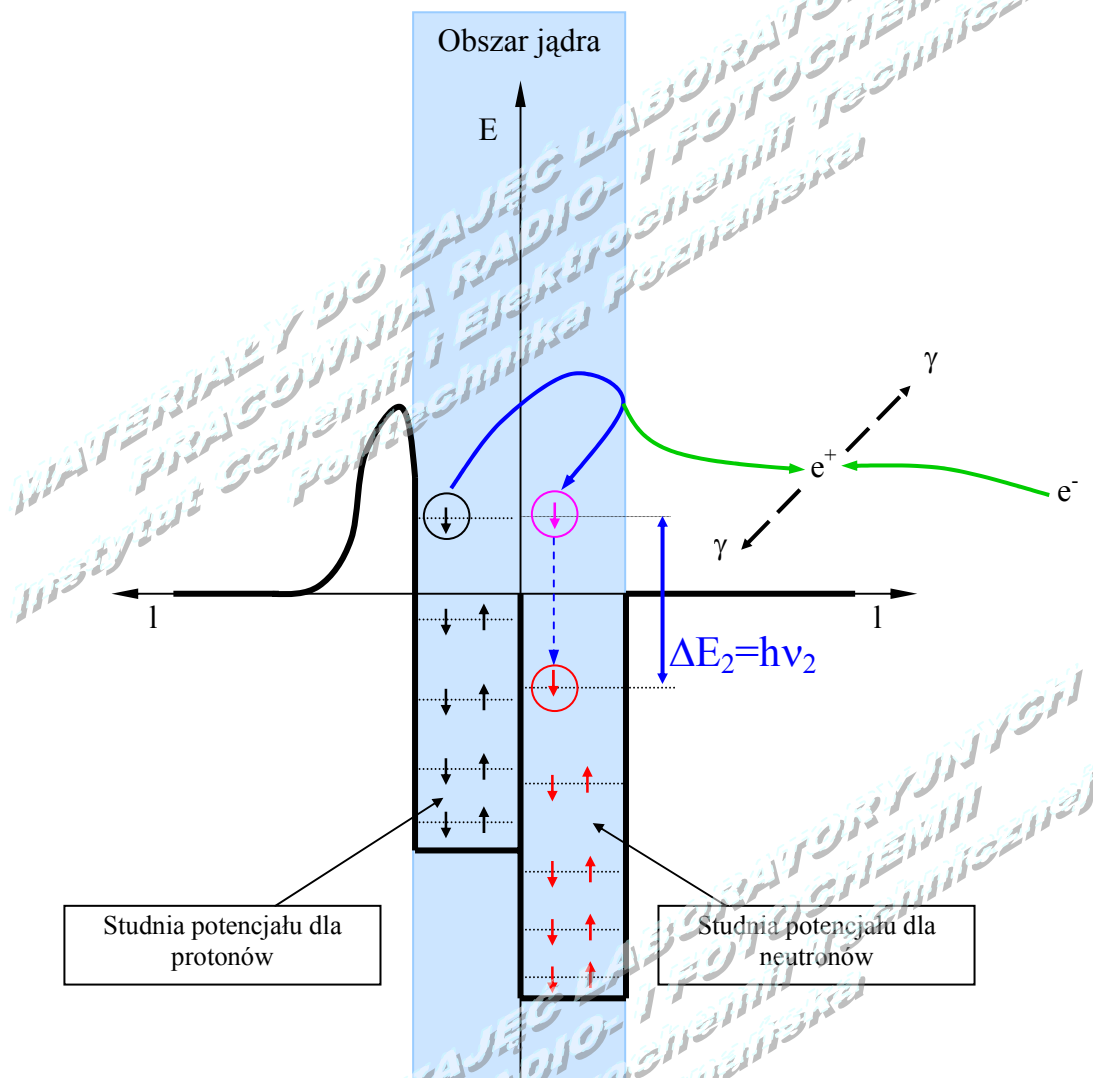
nadmiaru energii (ΔE_1) w postaci kwantu promieniowania γ_1 . Po zakończeniu procesów zachodzących w pierwszym etapie dochodzenia do równowagi energetycznej jądra nukleony będą rozmieszczone w nim jak na rysunku 3.



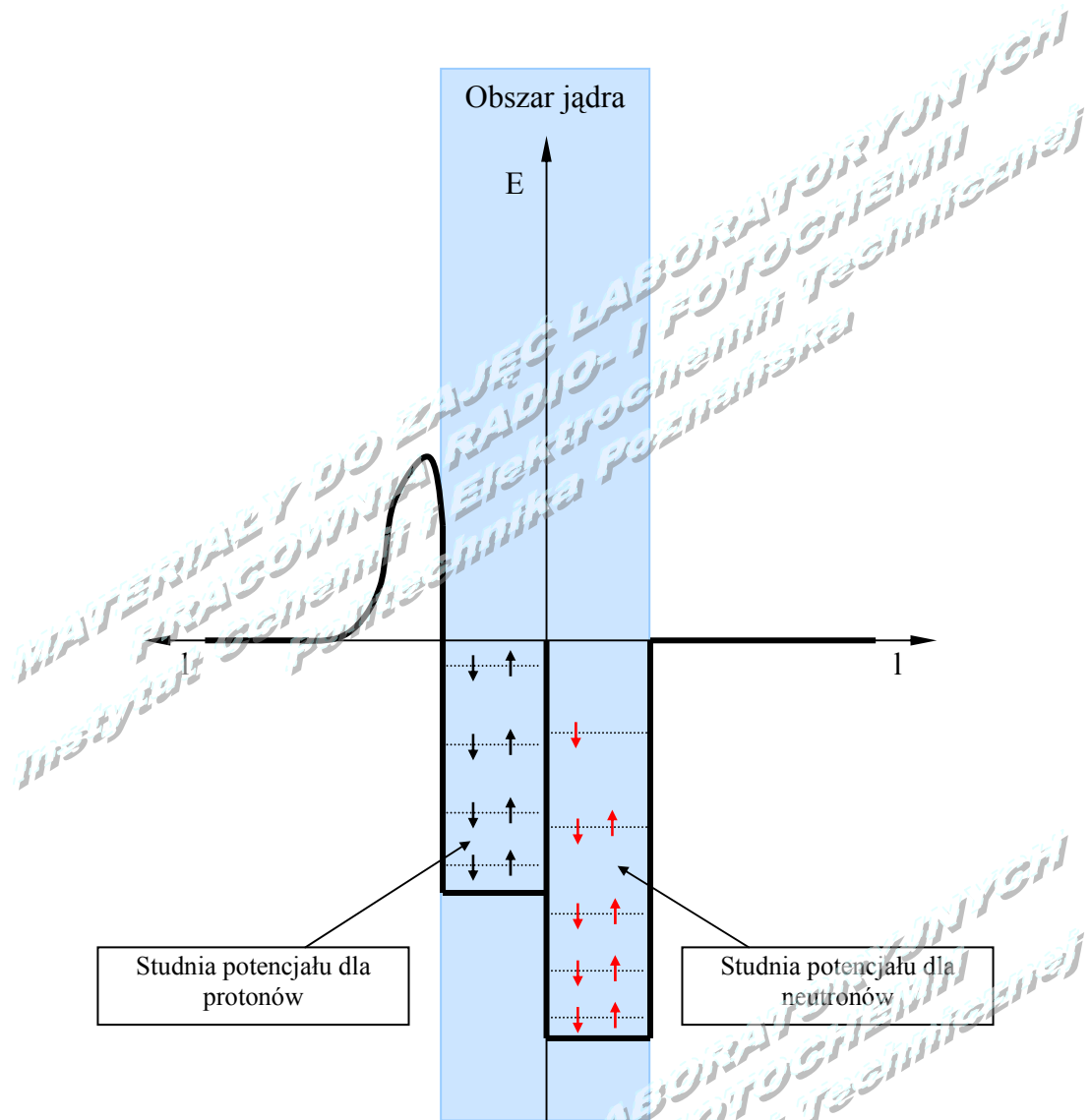
Rys. 3. Schemat rozmieszczenia protonów i neutronów w jądrze atomu po przejściu pierwszego nadmiarowego protonu ze studni protonów do studni neutronów i wyemitowaniu pierwszego kwantu promieniowania γ

Jeżeli w studni potencjału dla neutronów istnieje wolny (nie obsadzony) poziom energetyczny o energii niższej niż energia protonów o najwyższych energiach znajdujących się w studni potencjału dla protonów będziemy obserwowali kolejne etapy dochodzenia do równowagi energetycznej, przez emisję kolejnych cząstek β^+ i emisję kolejnych kwantów γ (rys 4-7). Zaprezentowany sposób analizy przemian zachodzących w jądrze ([niebieskie opisy i strzałki](#)) i związanych z nimi procesów zachodzących [poza jądrem](#) (na powłokach elektronowych atomu) jest sposobem uproszczonym (wynikające z zastosowania stosunkowo prostego modelu budowy jądra), nie pokazującym pełni zjawisk i przemian zachodzących w obiektach rzeczywistych, pozwala jednak na wyjaśnienie mechanizmu emisji promieniowania γ i jego

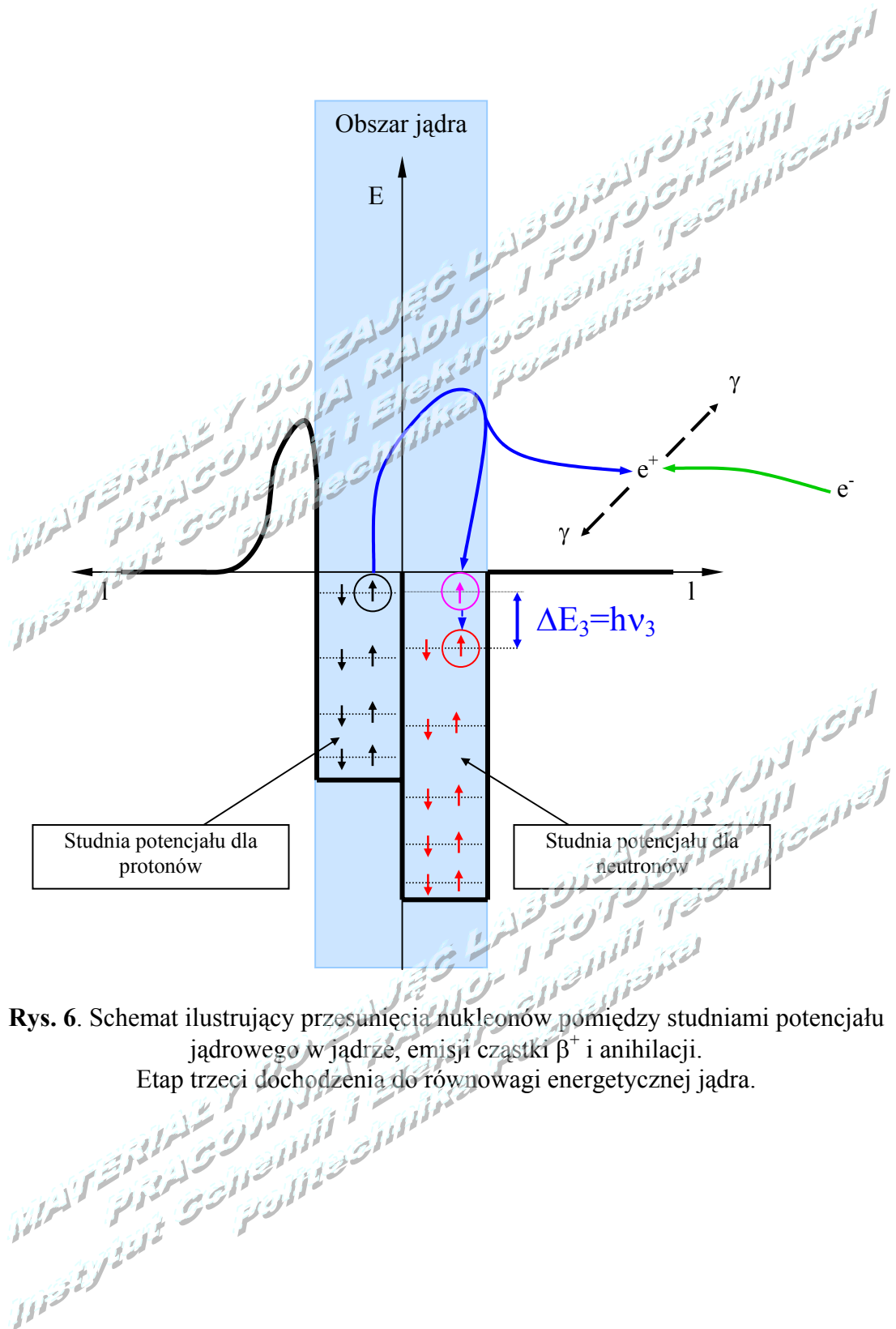
energii. Wybrany do analizy przypadek jądra ulegającego rozpadowi β^+ został wybrany celowo by pokazać inny charakter, wynikający z innego miejsca generacji w przestrzeni i innego mechanizmu powstawania promieniowania γ jądrowego (o energiach $\Delta E_1, \Delta E_2, \Delta E_3$) i promieniowania γ anihilacyjnego.



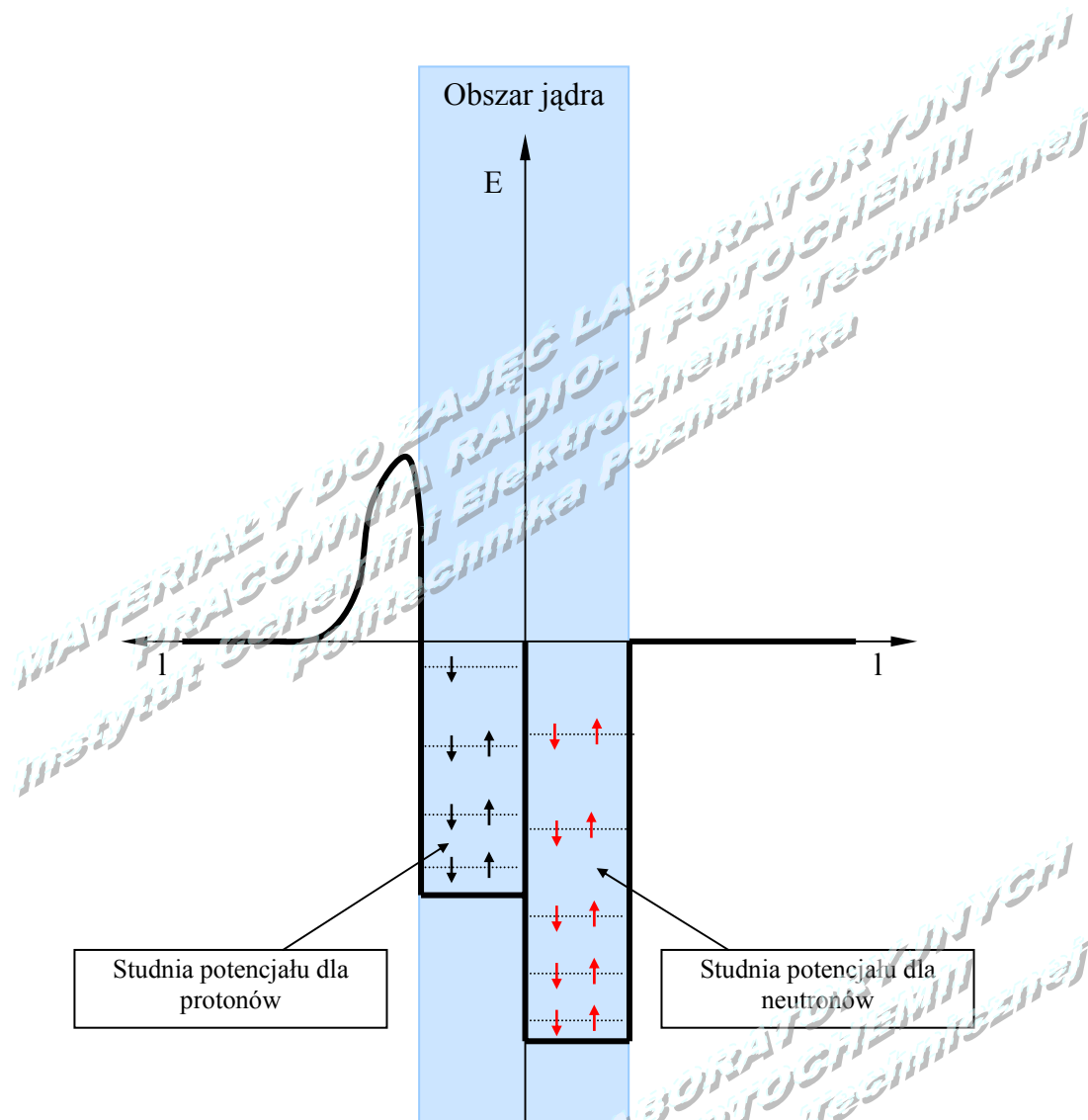
Rys. 4. Schemat ilustrujący przesunięcia nukleonów pomiędzy studniami potencjału jądrowego w jądrze, emisji cząstki β^+ i anihilacji. Etap drugi dochodzenia do równowagi energetycznej jądra.



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia protonów i neutronów w jądrze atomu po przejściu drugiego nadmiarowego protonu ze studni protonów do studni neutronów i wyemitowaniu drugiego kwantu promieniowania γ

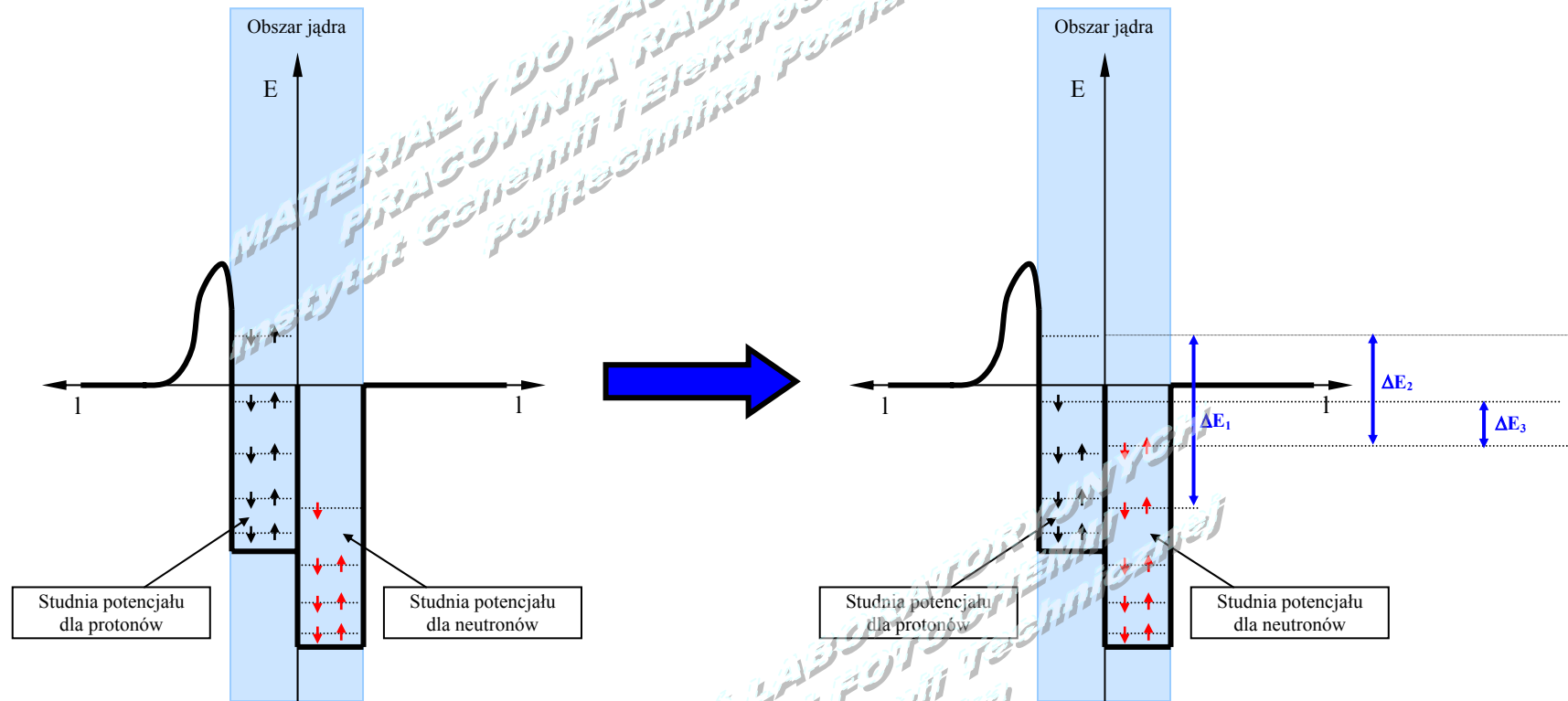


Rys. 6. Schemat ilustrujący przesunięcia nukleonów pomiędzy studniami potencjału jądrowego w jądrze, emisji cząstki β^+ i anihilacji.
Etap trzeci dochodzenia do równowagi energetycznej jądra.



Rys. 7. Schemat rozmieszczenia protonów i neutronów w jądrze atomu po przejściu trzeciego nadmiarowego protonu ze studni protonów do studni neutronów i wyemitowaniu trzeciego kwantu promieniowania γ

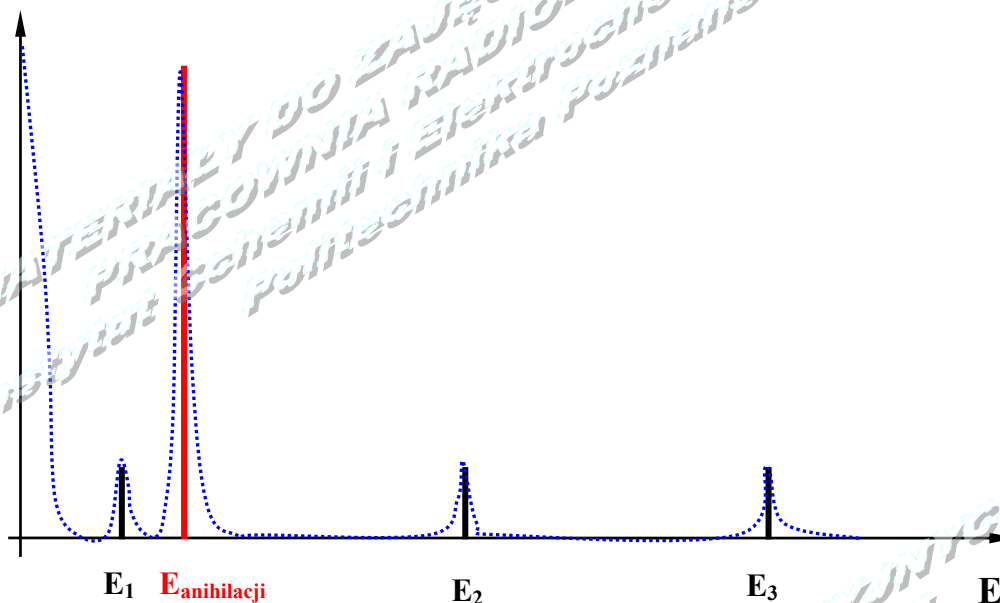
Dla zobrazowania zależności energetyczne pomiędzy powstającymi kwantami γ omówiony ciąg przemian (z rysunków 1 do 7) można zebrać jednym schematem (rys. 8). Schemat ten dobitnie ilustruje fakt wyraźnego zróżnicowania energetycznego powstających kwantów promieniowania γ jądrowego.



Rys. 8. Schemat ilustrujący zmiany rozmieszczenia nukleonów w jądrze po uzyskaniu zrównoważenia energetycznego, ilustrujący wielkości energii emitowanej przez kwanty promieniowania γ towarzyszące dochodzeniu do równowagi.

Teoretyczne widmo energetyczne promieniowania γ powstającego w czasie rozpadu wielu jąder izotopu pierwiastka o składzie początkowym jak na rysunku 1, powinno mieć cztery pasma energetyczne (rys.9), E_1 , E_2 , E_3 (o równych wysokościach piku) i $E_{\text{anihilacji}}$ (o 6 razy wyższej wysokości). Kolejność pasm E_1 do E_2 powinna być zgodna z wielkościami ΔE_1 do ΔE_3 (rys. 8). Położenie pasma anihilacyjnego względem pasm przejść energetycznych w jądrze zależy od budowy jądra. Rzeczywiste widmo miałoby nieco inny kształt, zbliżony do linii przerywanej na rysunku 9.

Częstość wystąpień



Rys. 9. Spodziewane widmo energetyczne, teoretyczne (—) i rzeczywiste (....) dla promieniowania γ powstającego w czasie rozpadu jądra o budowie przedstawionej na rysunku 1 (patrz tekst).

2. Spektrometr scyntylacyjny promieniowania γ .

Spektrometr promieniowania γ to przyrząd pomiarowy pozwalający zarejestrować zależność częstości wystąpień kwantów promieniowania od ich energii w czasie.

Zależność tę nazywamy widmem energetycznym promieniowania.

Widmo energetyczne promieniowania γ jest widmem charakterystycznym, pozwalającym na jednoznaczne stwierdzenie, jaki nuklid je emituje (patrz punkt 1).

2.1. Budowa.

W skład spektrometry promieniowania wchodzi sonda detekcyjna, wzmacniacz wstępny, układ analizujący wysokość impulsów (energię promieniowania), układ gromadzenia danych widmowych, układ wizualizacji widma, blok zarządzający współpracą poszczególnych układów.

W spektrometrze scyntylacyjnym sonda detekcyjna to sonda scyntylacyjna składająca się zwykle z scyntylatora krystalicznego (np. NaJ(Tl)), fotopowielacza z dzielnikiem napięcia, układem separacji sygnału pomiarowego i przedwzmacniaczem. Sonda taka wymaga

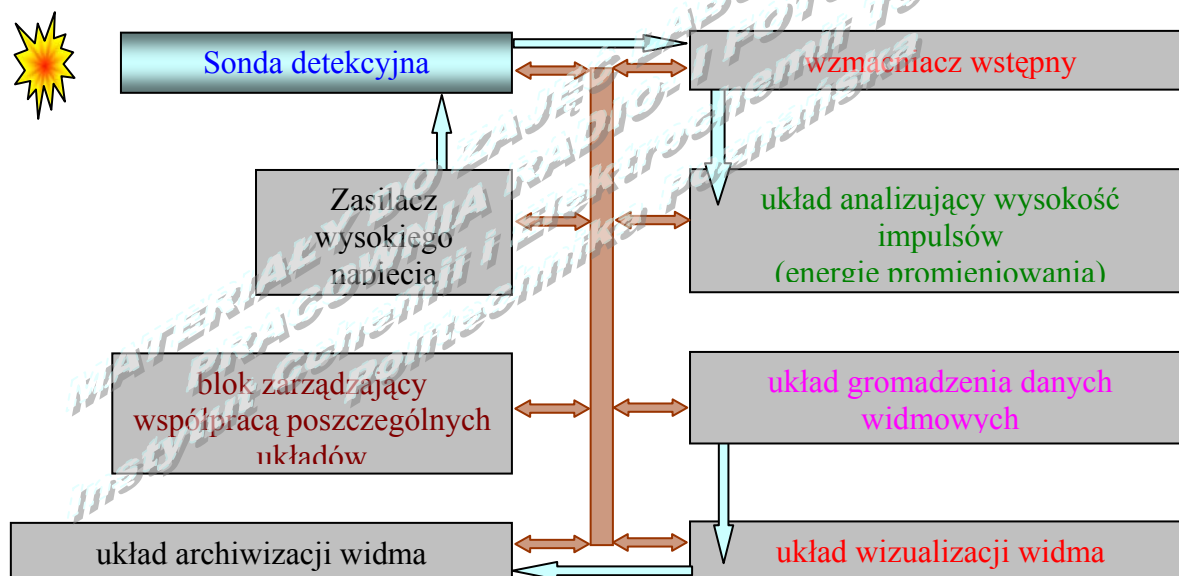
zasilania wysokim napięciem (patrz ćwiczenie WYZNACZANIE HARAKTERYSTYKI SONDY SCYNTYLACYJNAJ). Impulsy pojawiające się na wyjściu sądy są ciągiem impulsów o wysokościach proporcjonalnych do energii promieniowania γ powodującego scyntylację w kryształach NaJ(Tl).

Impulsy te po wzmacnieniu w **wzmacniaczu wstępnym** trafiają do **układu analizy wysokości impulsów**. Obecnie układ taki realizowany jest jako układ próbkująco-pamiętający współpracujący z przetwornikiem analogowo cyfrowym. Zadaniem tego zespołu modułów elektronicznych jest zapamiętanie, zmierzenie i przetworzenie na postać cyfrową wysokości impulsu. Proces ten jest realizowany jedynie na niektórych z impulsów powstających w sądzie detekcyjnej. Spowodowane jest to koniecznością precyzyjnego pomiaru wysokości impulsu i sporą ilością czasu niezbędnego na taki pomiar. Ponieważ rozpad promieniotwórczy jest wielkością statystyczną, postępowanie taki nie prowadzi do zafałszowania wyników, gdyż jest też działaniem statystycznym, trzeba jedynie poddać analizie wystarczająco dużą próbę statystyczną impulsów z tych, które są generowane w sądzie (długie czasy akwizycji danych widmowych).

Uzyskanie cyfrowej reprezentacji wysokości analizowanego impulsu kończy pojedynczy cykl przetwarzania układu analizy wysokości impulsu. Wysokość impulsu (jako liczba) jest stosowana przez **blok zarządzający współpracą układów** adres komórki pamięci **układu gromadzenia danych widmowych**, pod którym należy wykonać operację zwiększenia zawartości o 1 ($i := i++$). Po wykonaniu tej operacji **blok zarządzający współpracą układów** zezwala na pobranie kolejnej próbki z ciągu impulsów napływających z sądy detekcyjnej i cykl się powtarza.

Po wykonaniu z góry założonej liczby próbkowań lub przerwaniu próbkowania przez operatora **blok zarządzający współpracą układów** przystępuje do odczytania komórki po komórce zgromadzonych danych widmowych. Dane te przekazywane są do **układu wizualizacji widma** (lampa obrazowa lub monitor komputera) który prezentuje postać graficzną widma. Widmo zwykle może być rejestrowane w postaci graficznej lub numerycznej.

Budowę spektrometru scyntylacyjnego przedstawia rys 10.

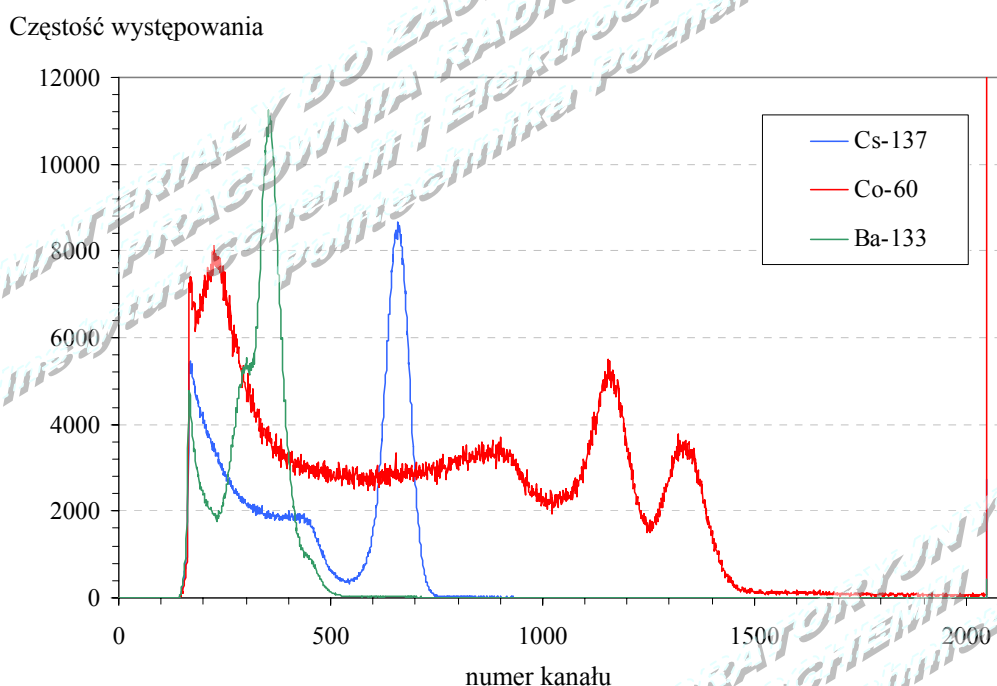


Rys. 10. Schemat budowy spektrometru scyntylacyjnego promieniowania γ

2.2. Kalibracja

Ponieważ widmo promieniowania jest w spektrometrze reprezentowane jako zależność częstości wystąpienia pików o konkretnej wysokości od wysokości pików, a interesuje nas zależność częstości występowania kwantu promieniowania od energii promieniowania konieczne jest przeprowadzenie kalibracji spektrometru.

Kalibracja polega na wykonaniu widm (Rys. 11.) szeregu źródeł wzorcowych (o dobrze znanych pasmach energetycznych emisji γ) i na ich podstawie sprawdzeniu liniowości zależności energia promieniowania wzorca od numeru kanału (wysokośći pików) w którym wystąpiło maksimum wysokości pików.

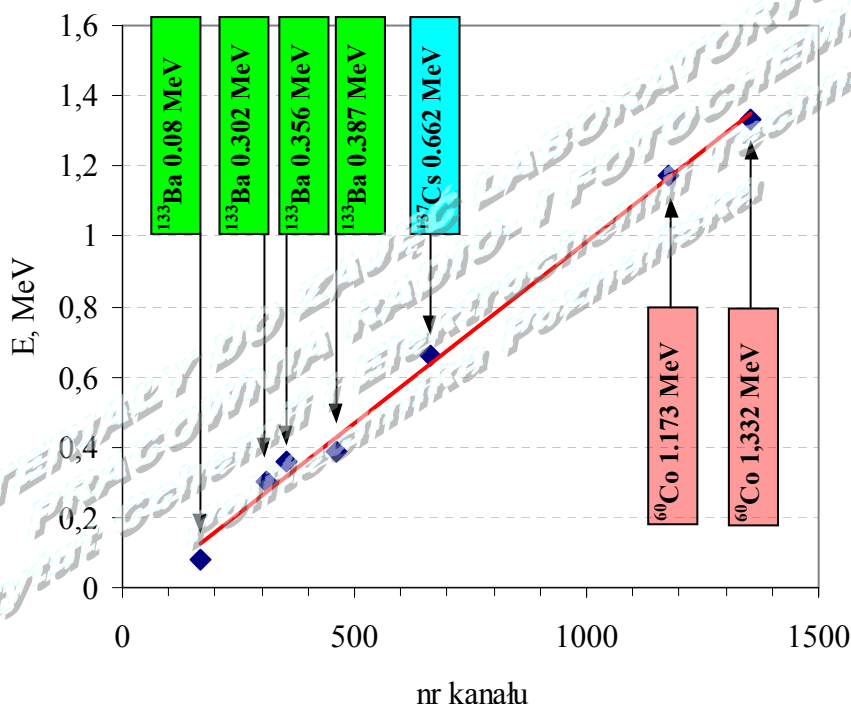


Rys. 11. Przykładowe widma źródeł stosowanych do kalibracji spektrometrów promieniowania γ

Po wykonaniu zestawienia numerów kanału w których zarejestrowano piki i odpowiadających im energii emitowanych kwantów (tab. 1) można sprawdzić liniowość spektrometru, graficznie (Rys. 12) lub analitycznie obliczając równanie prostej i współczynnik regresji.

Tab. 1. Zestawienie numerów kanału w których wystąpiły maksima emisji dla źródeł wzorcowych i energii emitowanych kwantów promieniowania.

Nuklid	Nr kanału	E [MeV]
¹³³ Ba	168	0,080
	309	0,302
	353	0,356
	463	0,387
¹³⁷ Cs	663	0,662
⁶⁰ Co	1178	1,173
	1355	1,332



Rys. 12 Krzywa kalibracyjna spektrometru γ .

Znajomość krzywej kalibracyjnej spektrometru pozwala na wyznaczenie energii rejestrowanych kwantów γ .

Energję tę można również wyznaczyć wykorzystując znajomość położenia pików dla ^{137}Cs posługując się następującym wzorem:

$$E = \frac{N}{N_{\text{Cs-137}}} \cdot 0.662 \quad [\text{MeV}]$$

gdzie

E – energia kwantów γ ,

N – położenie pików kwantów gamma w zarejestrowanym widmie promieniowania,

$N_{\text{Cs-137}}$ – położenie pików ^{137}Cs w widmie zarejestrowanym przy tych samych warunkach pracy spektrometru,

0.662 – energia w MeV, kwantów γ ^{137}Cs .

2.3. Wyznaczenie energetycznej zdolności rozdzielczej spektrometru γ .

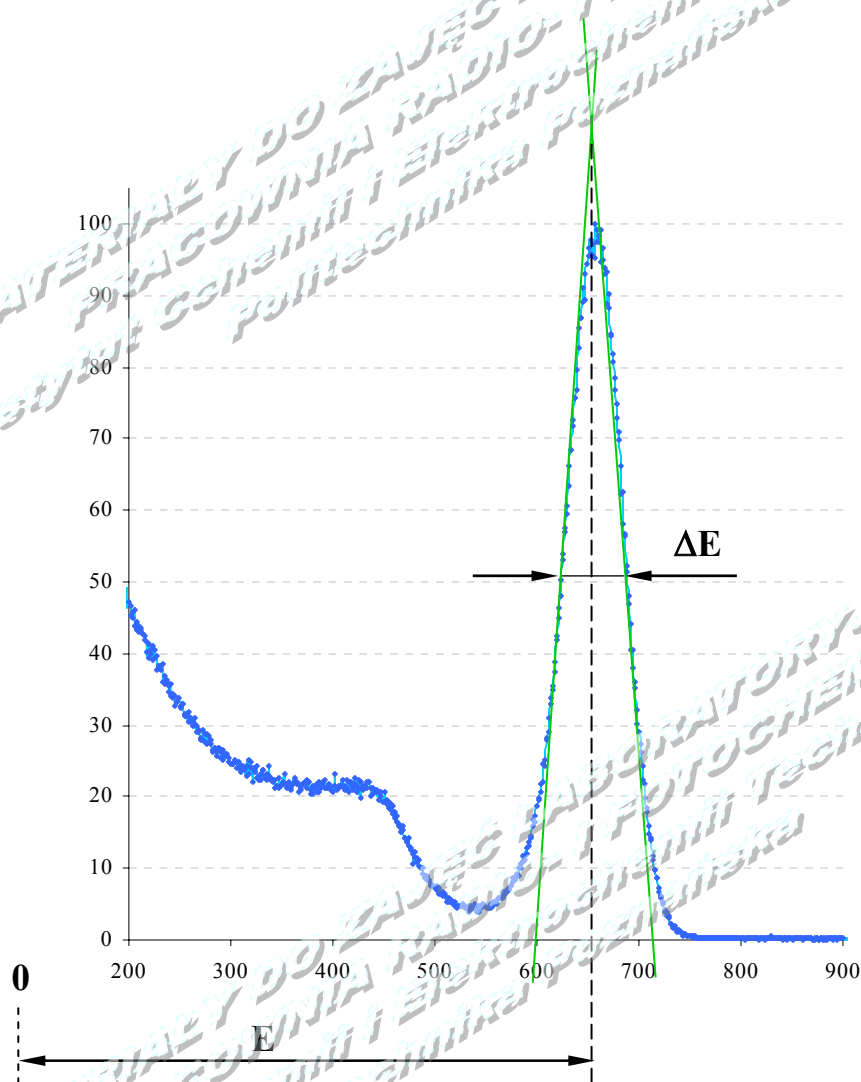
Podstawowym parametrem spektrometru scyntylicyjnego jest jego energetyczna zdolność rozdzielcza. Określa ona, minimalną różnicę energii dwóch kwantów promieniowania γ umożliwiającą rozróżnienie na spektrogramie odpowiadających im pików.

Energetyczna zdolność rozdzielcza (R) jest definiowana jako stosunek szerokości pików ΔE mierzonej w połowie jego wysokości do położenia maksimum tego pików wyrażony w procentach.

$$R = \frac{\Delta E}{E} \cdot 100\%$$

Jeżeli spektrometr cechuje się dobrą liniowością wielkości ΔE i E nie muszą być wyrażone w jednostkach energii, można je wyrazić w liczbie kanałów spektrometru.

Standardowo do wyznaczania energetycznej zdolności rozdzielczej stosuje się ^{137}Cs , charakteryzujący się monoenergetycznym widmem kwantów γ o energii 0,662 MeV. Przykładowe widmo ^{137}Cs z naniesionym sposobem odczytu danych niezbędnych do wyliczenia energetycznej zdolności rozdzielczej przedstawia na rysunek 13.



Rys. 13. Widmo ^{137}Cs z naniesionym sposobem odczytu wielkości niezbędnych do obliczenia energetycznej zdolności rozdzielczej.

3. OPIS ĆWICZENIA.

3.1. CEL ĆWICZENIA

- Wyznaczenie podstawowych parametrów pracy spektrometru promieniowania γ
- Rejestracja i interpretacja widm energetycznych promieniowania γ

3.2. APARATURA I ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA

- Komputerowy licznik promieniowania MAZAR
- Źródła kalibracyjne promieniowania γ

OPIS APARATURY I PRZYGOTOWANIE APARATURY DO PRACY

Patrz instrukcja licznika MAZAR

UWAGA !!! Włączenie aparatury powinno odbyć się w obecności prowadzącego.

1. Uruchomić licznik i komputer pomiarowy.
2. Ustawić wzmocnienie aparatu.
3. Umieścić w domku pomiarowym preparat promieniotwórczy.
4. Ustawić liczbę zbieranych widm.
5. Rozpocząć pomiar.
6. Po zakończeniu pomiaru zapisać wynik.
7. Po zakończeniu pomiarów wyłączyć interfejs ekranowy licznika.
8. Skopiować wyniki pomiarów.
9. Zamknąć system WINDOWS i wyłączyć komputer.

3.3. WYKONANIE ĆWICZENIA

Rejestracja pojedynczego widma promieniowania gamma.

Ustawić wzmocnienie aparatu w przedziale 200 do 250. Umieścić źródło kalibracyjne promieniowania gamma w domku pomiarowym jak najbliżej kryształu NaJ(Tl), ustawić liczbę zbieranych widm zgodnie z wskazaniem prowadzącego (zwykle 50) i zarejestrować widno promieniowania gamma. Uzyskane widno zapisać do pliku.

3.4. OPRACOWANIE WYNIKÓW

- Wykreślić widma wszystkich zarejestrowanych źródeł promieniowania.
Uwaga: w zbiorach zarejestrowanych widm separatorem międzykolumnowym jest spacja.
Pierwsza kolumna to numer kanału, druga liczba zliczeń w kanale.
- Wykreślić krzywą kalibracyjną spektrometru.
- Obliczyć energetyczną zdolność rozdzielczą.
- Na podstawie widma zarejestrowanego starego krótkożyciowego źródła promieniowania γ jego atestu z dnia zakupu i danych tablicowych odpowiedzieć jakie izotopy są w nim obecne dzisiaj .

LITERATURA

1. A. B. Niesmiejjanow (i inni): Ćwiczenia z radiochemii, PWN 1959.
2. W. Boczkariow (i inni): Pomiary aktywności źródeł promieniowania beta i gamma, PWN 1956.
3. R. T. Overman, H. M. Clark: Izotopy promieniotwórcze, metodyka stosowania, WNT 1963.
4. J. Sobkowski: Chemia Jądrowa, PWN 1981.
5. A. Lewandowski, S. Magas: Wiadomości do Ćwiczeń laboratoryjnych z chemii fizycznej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1994.
6. S. Magas: Technika izotopowa, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1997.
7. A. Z. Hryniewicz: Człowiek i promieniowanie jonizujące, PWN 2001.
8. W. Gorączko: Radiochemia i ochrona radiologiczna, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2003.
9. J. Terlecki: Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki i fizyki – podręcznik dla studentów. Wydawnictwa Lekarskie PZWL, W-wa 1999.
10. W. Lisiecki: Praktyczna spektrometria promieniowania gamma w badaniach technicznych. WNT 1967.