

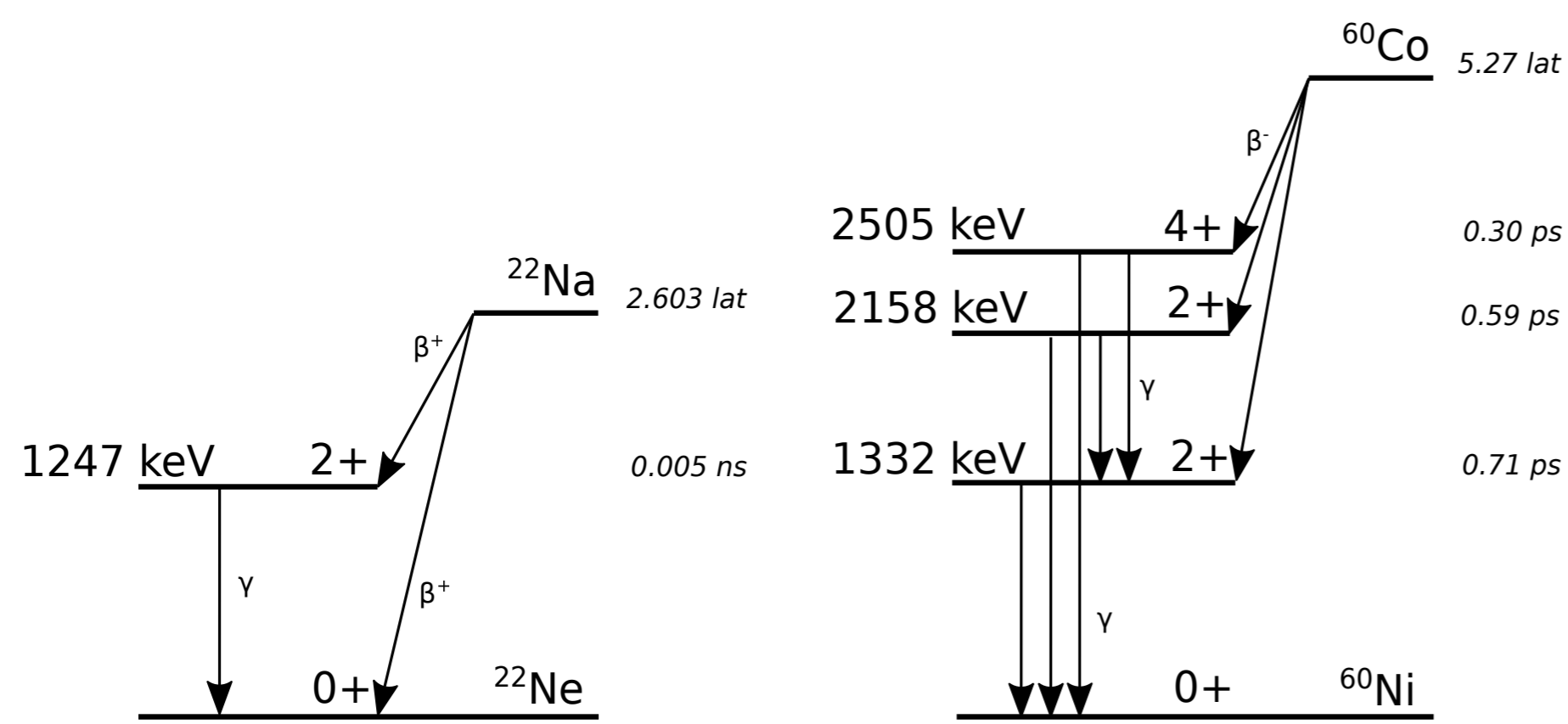
# Korelacje kierunkowe promieniowania gamma

Mikołaj Morawiec

opiekun: dr hab. Jacek Zejma

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

Próbki  $^{22}\text{Na}$  i  $^{60}\text{Co}$  emitują skorelowane kierunkowo pary fotonów. Ich źródłem są odpowiednio: anihilacja par pozyton-elektron oraz promieniowanie kaskadowe z atomów  $^{60}\text{Ni}$  powstałych z rozpadu  $\beta^-$  atomów  $^{60}\text{Co}$ . Wykorzystując dwa liczniki scyntylacyjne, rozmieszczone wokół próbki na różnych kierunkach, dokonano pomiarów pozwalających na dostrzeżenie zjawiska korelacji. Uzyskane wyniki porównano z modelami teoretycznymi z uwzględnieniem rozdzielczości kątowej liczników scyntylacyjnych wykorzystanych do dokonania pomiarów.

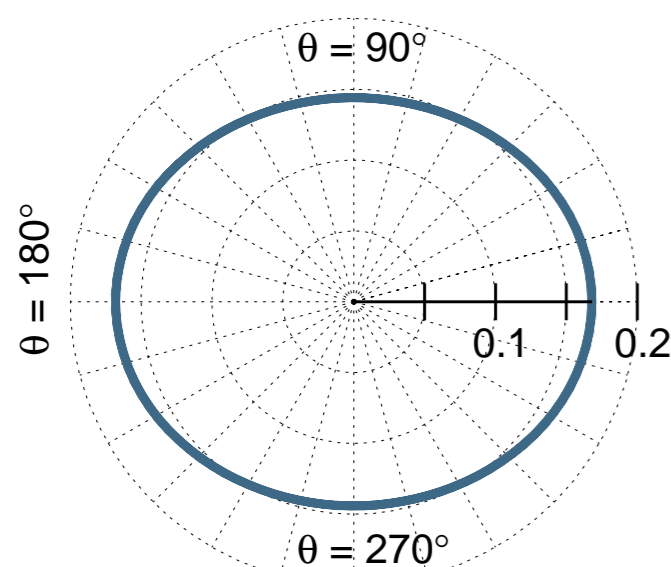


Schemat rozpadu  $^{22}\text{Na}$  [3]

Schemat rozpadu  $^{60}\text{Co}$  [3]

## Opis zjawiska

Atomy izotopu  $^{22}\text{Na}$  ulegają rozpadowi  $\beta^+$  do izotopu  $^{22}\text{Ne}$ . 90.3% rozpadów odbywa się do stanu wzbudzonego. Pozyton powstający w rozpadzie  $\beta^+$  ulega anihilacji z elektronem w materiale próbki promieniotwórczej, w wyniku czego powstają dwa fotony o energii ok 511 keV. Ze względu na zasadę zachowania pędu, fotony opuszczają próbkę w przeciwnych kierunkach, co tłumaczy korelację i wiąże się z następującą funkcją rozkładu kątowego:



Funkcja  $W_2(\theta)$

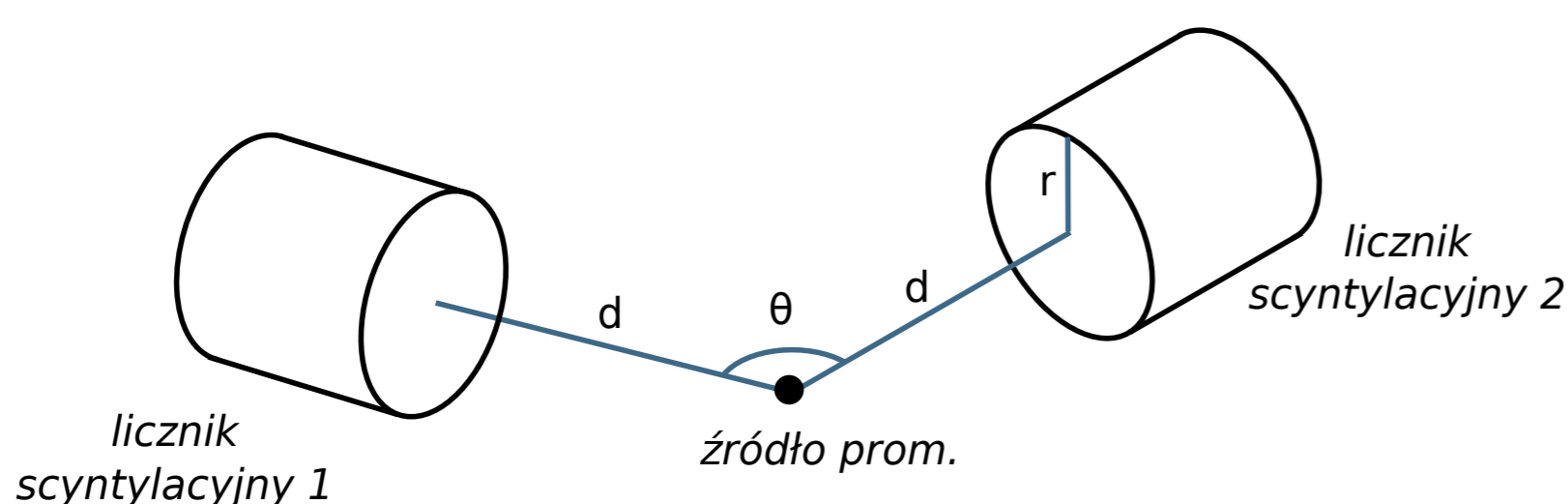
$$W_1(\theta) = \delta(\theta - 180^\circ) \quad (1)$$

W przypadku  $^{60}\text{Co}$ , atomy pierwiastka rozpadają się do  $^{60}\text{Ni}$ , który emituje kaskadowo dwa fotony (1173 i 1332 keV) skorelowane kierunkowo. Z punktu widzenia zastosowanych układów elektronicznych oba fotony pojawiają się praktycznie jednocześnie. Korelacje dla tego typu emisji są opisane funkcją ([1], za [2]):

$$W_2(\theta) = \frac{24}{53\pi} \left( 1 + \frac{\cos^2 \theta}{8} + \frac{\cos^4 \theta}{24} \right) \quad (2)$$

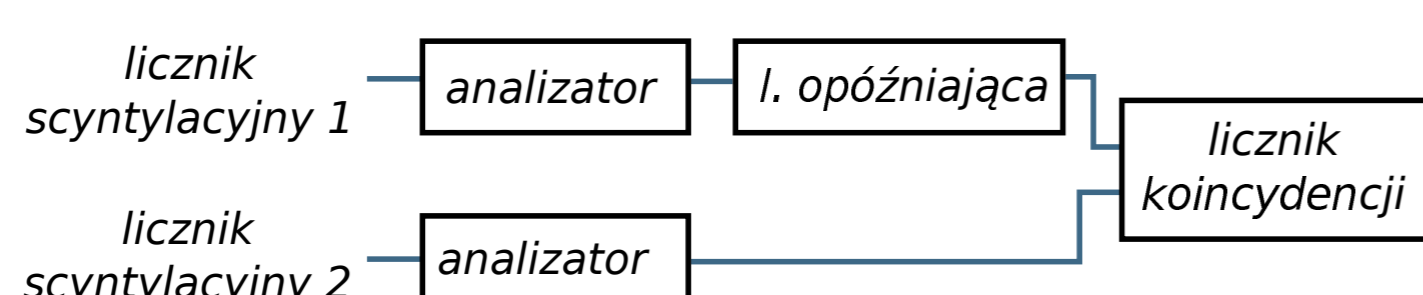
## Układ doświadczalny

Układ doświadczalny składał się z dwóch liczników scyntylacyjnych umieszczonych na stole w odległości  $d$  (kilka centymetrów) od źródła promieniotwórczego (próbki  $^{22}\text{Na}$  lub  $^{60}\text{Co}$ ).



Geometryczny schemat układu

Układy elektroniczne (analizatory jednokanałowe) pozwalały na wyizolowanie zliczeń odpowiadających fotonom podlegającym korelacji (na podstawie ich charakterystycznych energii). Jeden z kanałów był synchronizowany względem drugiego, po czym oba trafiały do układu koincydencyjnego. Zliczenia koincydencji wykonano dla różnych wartości kąta  $\theta$ .



Elektroniczny schemat układu

## Analiza wyników

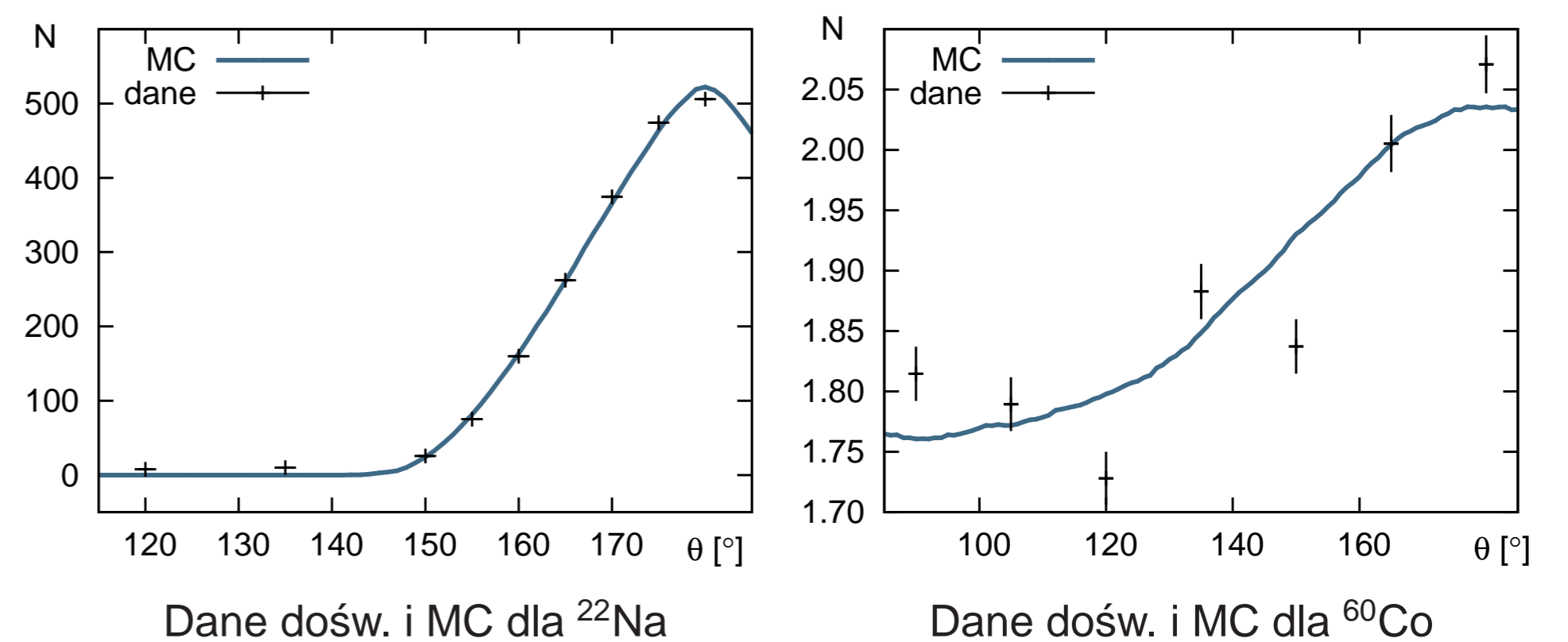
Rzeczywiste wyniki różnią się od czysto teoretycznej gęstości prawdopodobieństwa  $W(\theta)$  ze względu na rozdzielczość kątową liczników scyntylacyjnych. Wykonano symulacje Monte Carlo doświadczenia dla uwzględnienia tych efektów geometrycznych.

**Symulacja Monte Carlo** Wykonane symulacje opierały się na rozważeniu  $A$  rozpadów na sekundę generujących foton w losowo wybranym kierunku, oraz drugi foton w odpowiednio skorelowanym kierunku, tj. przeciwnym kierunku dla próbki  $^{22}\text{Na}$  i obróconym o kąt  $\theta$  dany rozkładem prawdopodobieństwa  $W_2(\theta)$  w przypadku próbki  $^{60}\text{Co}$ . Założono sferyczny kształt próbki i jej promień równy  $s$  (rozpady zachodzą w losowym miejscu wewnątrz próbki). Dla każdego symulowanego rozpadu program sprawdza czy wektory trafiają równocześnie w symulowane okrągłe tarcze o promieniu  $r$  ustawione w odległości  $d + d'$  od źródła.  $d'$  jest składnikiem korekcyjnym dla uwzględnienia faktu, że nie wszystkie promienie przechodzące przez przód komory licznika scyntylacyjnego są rejestrowane.

**Wybór parametrów symulacji** Dokonano wyboru parametrów  $A$ ,  $s$  i  $d'$  modelu Monte Carlo tzw. metodą *grid-search*, wykorzystując błąd średniokwadratowy jako funkcję kosztu. W tabeli przedstawiono zestawy najlepszych znalezionych parametrów dla obu przypadków, wraz z odpowiednimi wartościami kroku siatki.

ozn.	opis	$^{22}\text{Na}$	$^{60}\text{Co}$
$A$	aktywność próbki	15 kBq $\pm 0.5$	39 Bq $\pm 0.5$
$d'$	składnik korekcyjny	0.3 cm $\pm 0.2$	0.15 cm $\pm 0.5$
$s$	rozmiar próbki	4 mm $\pm 2$	2 mm $\pm 2$

**Wyniki** Poniższe wykresy przedstawiają zmierzona liczbę koincydencji na sekundę  $N$  dla różnych kątów  $\theta$ , na tle wyników symulacji Monte Carlo wykonanych dla podanych wyżej optymalnych parametrów.



Dane dośw. i MC dla  $^{22}\text{Na}$

Dane dośw. i MC dla  $^{60}\text{Co}$

## Wnioski

Nietrudno zauważyć że dopasowanie dla próbki  $^{22}\text{Na}$  jest dużo lepsze niż w przypadku próbki  $^{60}\text{Co}$ . Należy zaznaczyć, że próbka  $^{60}\text{Co}$  była bardziej wymagająca pod względem technicznym, ze względu na niską aktywność, stąd mniejsza liczba punktów pomiarowych i większe niepewności. Ponadto sama korelacja jest dużo mniej wyrazista niż w przypadku promieniowania anihilacyjnego w próbce  $^{22}\text{Na}$ . Dla próbki  $^{60}\text{Co}$  zjawisko korelacji jest wyraźniej widoczne w asymetrii między kierunkami  $\theta = 90^\circ$  i  $\theta = 180^\circ$ , która wynosi:

$$a_{\text{dat}} = \frac{N_{180^\circ} - N_{90^\circ}}{N_{180^\circ} + N_{90^\circ}} = 0.0659(84) \quad a_{\text{MC}} = 0.0698 \quad (3)$$

odpowiednio dla danych doświadczalnych i symulacji Monte Carlo. Wartość symulowana mieści się w granicach niepewności wartości zmierzonej.

Wykonane symulacje Monte Carlo okazały się w tym przypadku wystarczającym narzędziem analizy danych, ale nie oddają wszystkich subtelności doświadczenia. Wprowadzenie składnika korekcyjnego  $d'$  jest dosyć heurystycznym zabiegiem, nie wzięto pod uwagę efektów czasowych (koincydencje przypadkowe).

## Literatura

- [1] D. R. Hamilton, „On directional correlation of successive quanta”, Physical Review vol. 58 (1940)
- [2] E. L. Brady, M. Deutch, „Angular Correlation of Successive Gamma Rays”, Physical Review vol. 78 (1950)
- [3] „Table de Radionucléides”, LNHB/CEA-Scalay (2011)