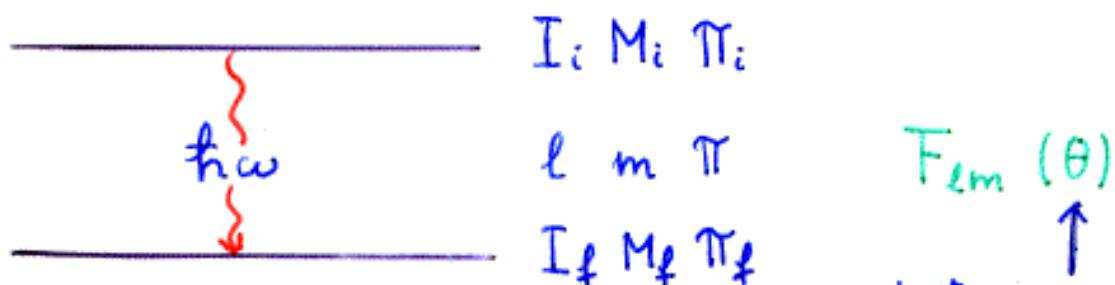


Perturbált γ - γ mögkorreláció (PAC)

A γ -sugárzás szögeloszlása az $|I_i M_i\rangle \rightarrow |I_f M_f\rangle$ átmenetnél:



A γ -sugárzás irányá és a kvantálási tengely által bezárt szög

A kvantálási tengely számára nincs kitüntetett irány (vagyis valamennyi M_i, M_f alinívó egyenlő valószínűséggel van betöltve)

↓
 A γ -sugárzás izotróp

Hogyan lehet a magokat orientálni?

- „nyers erő” - megoldás: orientáció mágneses térben (magorientáció, NO)
- egy megelőző átmenet megfigyelésével (PAC)
- ionnyalábbal történő gerjesztéssel (PAD)

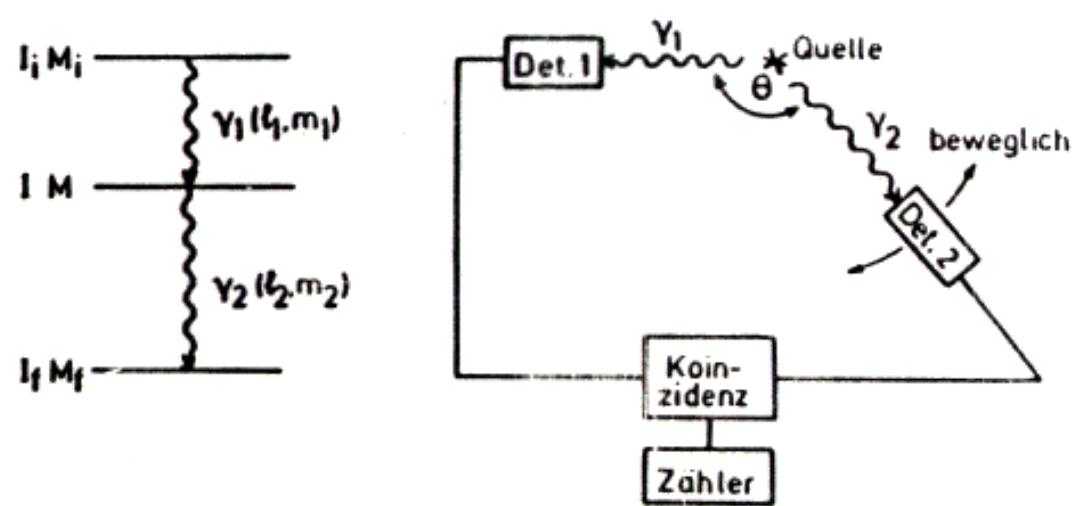


Abb. 5.1: Prinzip einer γ - γ -Winkelkorrelationsapparatur

Perturbálattal szöghorreláció, naiv elmélet

Annak valószínűsége, hogy az

$$\begin{array}{c} \text{---} & I_i M_i \\ \text{---} & \left\{ \gamma_i (l_i m_i) \right. \\ \text{---} & I M \end{array}$$

átmenetben

- az M alnivőrre jut a mag **és**
- a γ_i fotonat a θ_i irányban figyeljük meg:

$$P(M) = \sum_{M_i} G(M_i \rightarrow M) F_{l_i m_i}(\theta)$$

\uparrow
átmeneti valószínűség

$$G(M_i \rightarrow M) \sim |\langle IM | \hat{M}_{l_i m_i} | I_i M_i \rangle|^2 =$$

$$= \begin{pmatrix} I_i & l_i & I \\ -M_i & m_i & M \end{pmatrix}^2 \langle I | \hat{M}_{l_i} | I_i \rangle^2$$

Egy adott $I_i \rightarrow I$ átmenetre:

$$G(M_i \rightarrow M) \sim \begin{pmatrix} I_i & l_i & I \\ -M_i & m_i & M \end{pmatrix}^2$$

$$P(M) \sim \sum_{M_i} \begin{pmatrix} I_i & l_i & I \\ -M_i & m_i & M \end{pmatrix}^2 F_{l_i m_i}(\theta)$$

\uparrow
 $m_i = M_i - M$

A z -tengely speciális választása: $z \parallel \hat{y}_1$

$$P(M) = \sum_{M_i} \begin{pmatrix} I_i & l_1 & I \\ -M_i & \pm 1 & M \end{pmatrix}^2 F_{l_1 \pm 1}(0)$$

$$\uparrow \quad \uparrow$$

csak $m_1 = \pm 1$ esetén van foton-emisszió a z -irányban

$P(M) \neq P(M')$

, de

$$P(M) = \begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ -M-1 & 1 & M \end{pmatrix}^2 F_{l_1, 1}(0) + \begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ -M+1 & -1 & M \end{pmatrix}^2 F_{l_1, -1}(0) =$$

$$= \left[\begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ -M-1 & 1 & M \end{pmatrix}^2 + \begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ -M+1 & -1 & M \end{pmatrix}^2 \right] F_{l_1, 1}(0)$$

mivel $F_{l_1 m}(0) = F_{l_1 -m}(0)$

$$P(-M) = \left[\begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ M+1 & -1 & -M \end{pmatrix}^2 + \begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ M-1 & 1 & -M \end{pmatrix}^2 \right] F_{l_1, 1}(0)$$

$P(M) = P(-M)$

mert $\begin{pmatrix} j_1 & j_2 & j_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{pmatrix} = (-1)^{j_1+j_2+j_3} \begin{pmatrix} j_1 & j_2 & j_3 \\ -m_1 & -m_2 & -m_3 \end{pmatrix}$

Alignment (irányítottság)

A koincidencia valószínűsége θ nöök alatt:

$$W(\theta) = \sum_{M_1, M_f} P(M) \underbrace{G(M \rightarrow M_f)}_{F_{l_2 m_2}} F_{l_2 m_2}(\theta)$$

$$\sim \begin{pmatrix} I & l_2 & I_f \\ -M & m_2 & M_f \end{pmatrix}^2$$

$$W(\theta) = \sum_{M_i M_f} \begin{pmatrix} I_1 & l_1 & I \\ -M_i & \pm 1 & M \end{pmatrix}^2 F_{l_1 \pm 1}(0) \begin{pmatrix} I & l_2 & I_f \\ -M & m_2 & M_f \end{pmatrix}^2 F_{l_2 m_2}(\theta)$$

Példa: 0-1-0 kaskád

$\begin{array}{c} 0 \rightarrow 1 \\ 1 \rightarrow 0 \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \text{csak dipolus-átmenetek lehetségek (háromszög-} \\ \text{egyenlötlenesség).} \end{array} \right.$

$$\downarrow \\ l_1 = l_2 = 1$$

$$W(\theta) \sim \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}^2 \underbrace{F_{11}(0)}_{\downarrow} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix}^2 F_{1-1}(\theta) +$$

$$+ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}^2 \underbrace{F_{1-1}(0)}_{\downarrow} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}^2 F_{11}(\theta) \\ = 1/2$$

$$W(\theta) \sim F_{1\pm 1}(\theta) \sim 1 + \cos^2 \theta$$

Példa: a ^{60}Co mögkorrelációja ($4^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$)

$\begin{array}{c} 4^+ \rightarrow 2^+ \\ 2^+ \rightarrow 0^+ \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \text{tiszta E2-átmenetek} \end{array} \right.$

A 12 M> alnivők betöltési valószinűségei: $F_{21}(0) = F_{2-1}(0) = 1/2$

$$P(\pm 2) \sim \left(\frac{4}{\mp 3} \frac{2}{\pm 1} \frac{2}{\pm 2} \right)^2 + \left(\frac{4}{\mp 1} \frac{2}{\mp 1} \frac{2}{\pm 2} \right)^2 = \frac{1}{18} + \frac{1}{126} = \frac{4}{63}$$

$$P(\pm 1) \sim \left(\frac{4}{\mp 2} \frac{2}{\pm 1} \frac{2}{\pm 1} \right)^2 + \left(\frac{4}{0} \frac{2}{\mp 1} \frac{2}{\pm 1} \right)^2 = \frac{4}{63} + \frac{8}{315} = \frac{4}{45}$$

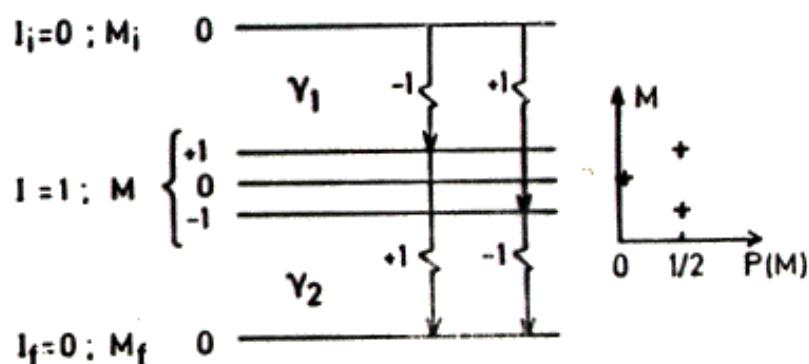


Abb. 5.2: Niveauschema für eine 0-1-0 γ - γ -Kaskade. Rechts die Be-
setzungswahrscheinlichkeit für die Unterzustände des
Zwischenlevels. Die M -Zustände sind energetisch entar-
tet, sie sind nur aus Darstellungsgründen aufgetrennt

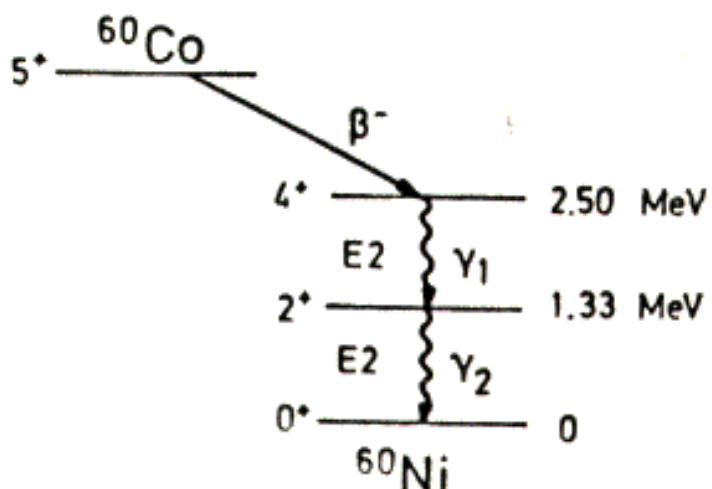


Abb. 5.3:
Zerfallsschema von ^{60}Co

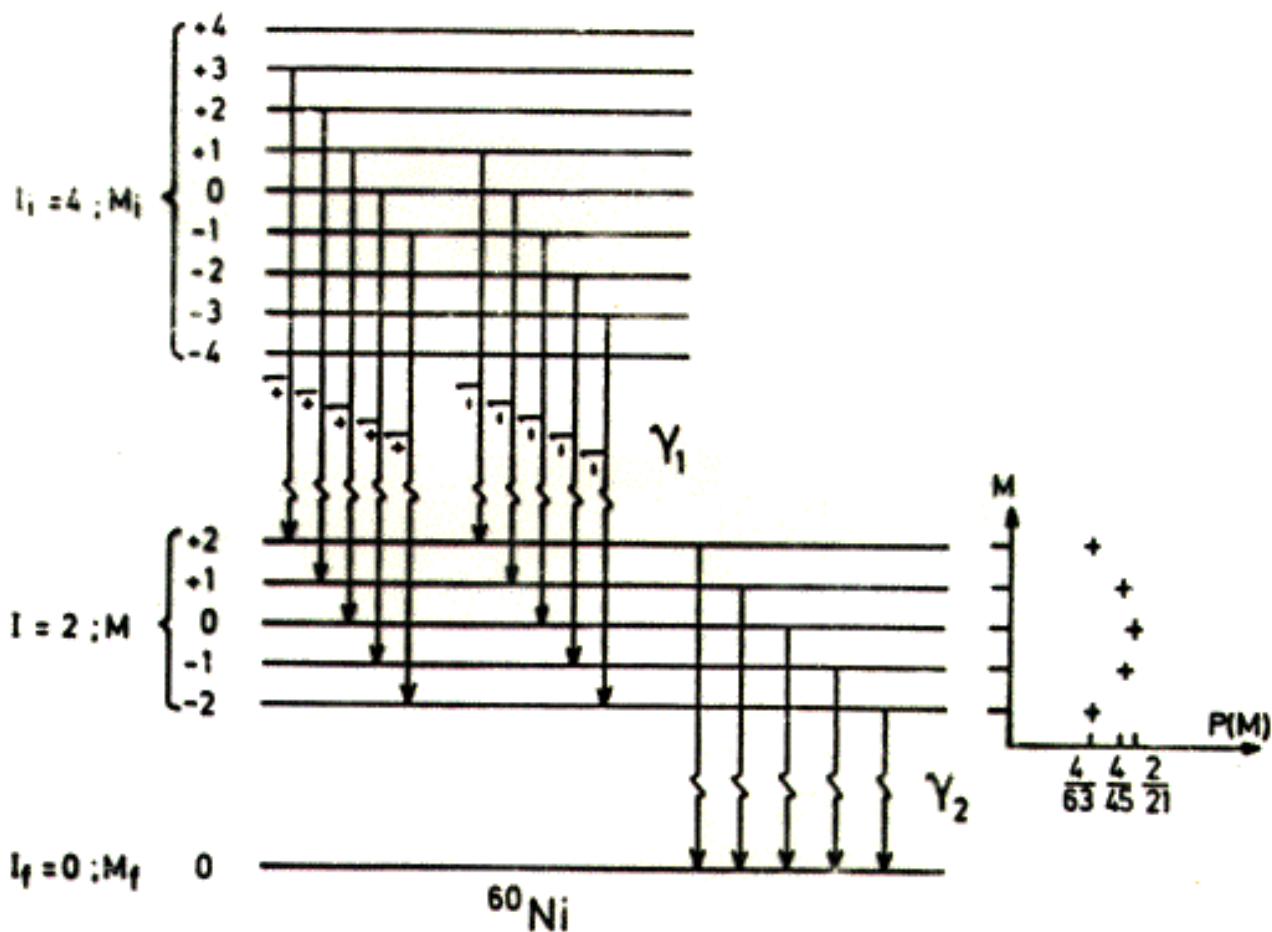


Abb. 5.4: Die möglichen Übergänge in ^{60}Ni bei Wahl der z-Achse in Richtung γ_1 (Auswahlregel $m_l = \pm l$ für γ_1). Auf der rechten Seite sind die Besetzungswahrscheinlichkeiten $P(M)$ der verschiedenen Unterzustände im Zwischenniveau aufgetragen. Die M_i und M Zustände sind energetisch entartet, sie sind nur aus Darstellungsgründen aufgetrennt

$$P(0) \sim \left(\begin{smallmatrix} 4 & 2 & 2 \\ -1 & +1 & 0 \end{smallmatrix}\right)^2 + \left(\begin{smallmatrix} 4 & 2 & 2 \\ +1 & -1 & 0 \end{smallmatrix}\right)^2 = \frac{3}{63} + \frac{3}{63} = \frac{2}{21}$$

$$\left(\begin{smallmatrix} 2 & 2 & 0 \\ M & m_2 & 0 \end{smallmatrix}\right) = \left(\begin{smallmatrix} 2 & 2 & 0 \\ M & -M & 0 \end{smallmatrix}\right) = (-1)^{2-M} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 2+1}} = (-1)^M \frac{1}{\sqrt{5}}$$

$$\left(\begin{smallmatrix} 2 & 2 & 0 \\ M & m_2 & 0 \end{smallmatrix}\right)^2 = \frac{1}{5}$$

$$\boxed{W(\theta) \sim 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot P(\pm 2) F_{2 \pm 2}(\theta) + 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot P(\pm 1) F_{2 \pm 1}(\theta) + \\ + \frac{1}{5} \cdot P(0) F_{20}(\theta) \sim \\ 2 \cdot \frac{4}{63} \cdot \frac{1}{4} (1 - \cos^4 \theta) + 2 \cdot \frac{4}{45} \cdot \frac{1}{4} (1 - 3\cos^2 \theta + 4\cos^4 \theta) + \\ + \frac{2}{21} \cdot \frac{3}{2} (1 - \cos^2 \theta) \cos^2 \theta \sim \\ \sim 1 + \frac{1}{8} \cos^2 \theta + \frac{1}{24} \cos^4 \theta}$$

$a_2 \qquad \qquad a_4$

Legendre-polinomok: $P_0(x) = 1$

$$P_1(x) = x$$

$$P_2(x) = \frac{1}{2} (3x^2 - 1)$$

$$P_3(x) = \frac{1}{2} (5x^3 - 3x)$$

$$P_4(x) = \frac{1}{8} (35x^4 - 30x^2 + 3)$$

:

:

$$W(\theta) \sim 1 + \underbrace{A_{22} P_2(\cos \theta)}_{\Downarrow \frac{1}{A} \left(\frac{2}{3} a_2 + \frac{4}{7} a_4 \right)} + \underbrace{A_{44} P_4(\cos \theta)}_{\frac{1}{A} \frac{8}{35} a_4}$$

$$A = 1 + \frac{1}{3} a_2 + \frac{1}{5} a_4$$

A legtöbb kiszakadra: $A_{22} \approx 0.1$ és $A_{22} \gg A_{44}$

A \mathcal{G} - \mathcal{T} szögkorreláció naiv elméletének korlátjai:

- a $z \parallel \mathcal{T}_1$ valasztás különböző perturbáció esetén kedvezőtlen.
- inkohérent összeg; interferenciát nem tud leírni. Ezért:
 - csak tisztta (pl. M1 vagy E2) átmenetekre alkalmazható
 - különböző perturbáció \Rightarrow a közbenső állapot nívói felhasadnák \Rightarrow interferencia \Rightarrow nem tudja leírni.

Perturbálhatlan szögkorreláció; általános elmélet

Naiv elmélet:

$$W(\theta) = \sum_{M_f \in M} \underbrace{\sum_{M_i} | \langle I_f M_f | \hat{M}_{\ell_1, m_1} | I_i M_i \rangle |^2 F_{\ell_1, m_1}(0)}_{P(M)} \cdot$$

$$\cdot | \langle I_f M_f | \hat{M}_{\ell_2, m_2} | I M \rangle |^2 F_{\ell_2, m_2}(\theta)$$

Inkohérent összeg: a közbenső állapot megfigyelhető.

Akkor ad helyes eredményt, ha

- az átmenetek tiszták,
- nincs különböző perturbáció,
- $z \parallel \mathcal{T}_1$,
- \mathcal{T}_1 polarizációját nem (vagy csak a cirkuláris polarizációját) figyeljük meg.

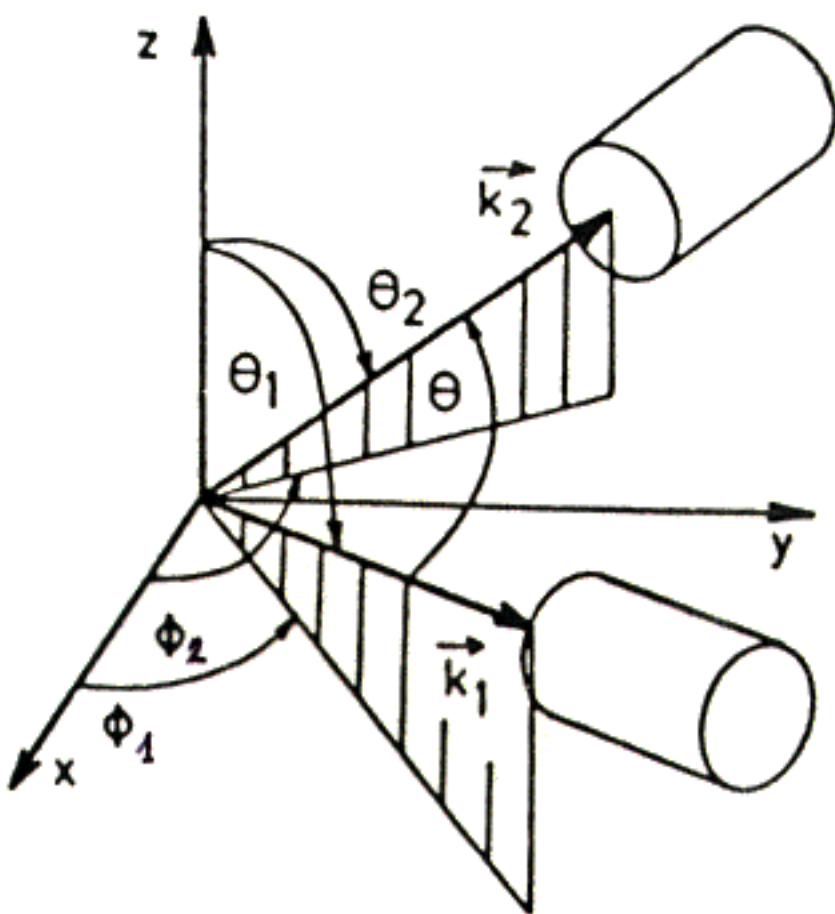


Abb. 5.5:
Allgemeines Koordinatensystem zur Beschreibung der γ - γ -Winkelkorrelation. \vec{k}_1 , \vec{k}_2 bezeichnen die Emissionsrichtung von γ_1 bzw. γ_2