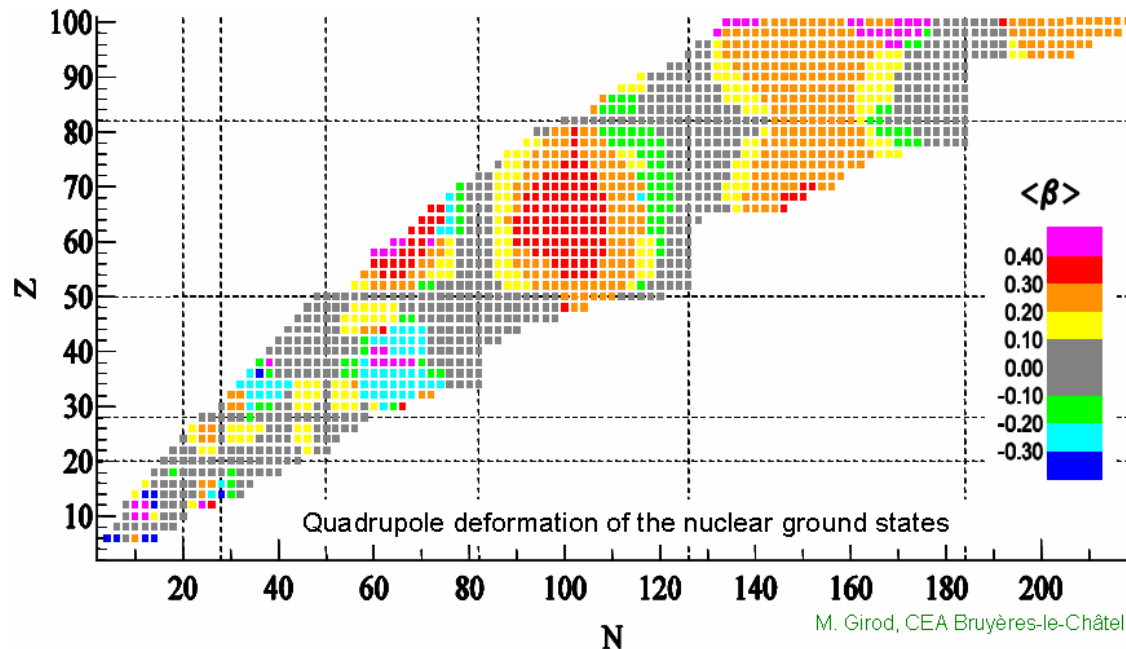


# Stany wzbudzone w jądrach atomowych

- stany „jednocząstkowe” ( $\rightarrow$  *model powłokowy*) – związane z ruchem jednego nukleonu;  
widoczne zwłaszcza w obszarach, gdzie liczby neutronów i protonów są bliskie *liczbom magicznym*
- stany kolektywne – związane z ruchem całego jądra  
powszechne w obszarach, gdzie liczba protonów i/lub neutronów jest daleka od liczb magicznych, a jądra atomowe mają kształt zdeformowany.



# Dane świadczące o deformacji jąder atomowych

- duże elektryczne momenty kwadrupolowe
- obserwacja stanów rotacyjnych

• energia rotacji – klasycznie:  $E_{rot} = \frac{L^2}{2J}$

• kwantowo:  $L^2 \rightarrow \hbar^2 L(L+1)$

$$E_{rot} = \frac{\hbar^2}{2J} L(L+1)$$

- symetria względem płaszczyzny x-y dopuszcza tylko spiny parzyste: 0, 2, 4...
- charakterystyczny układ poziomów: **6+**

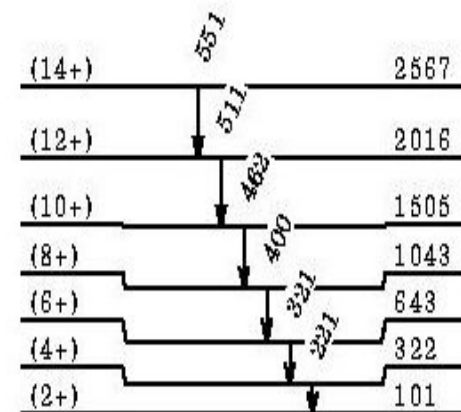
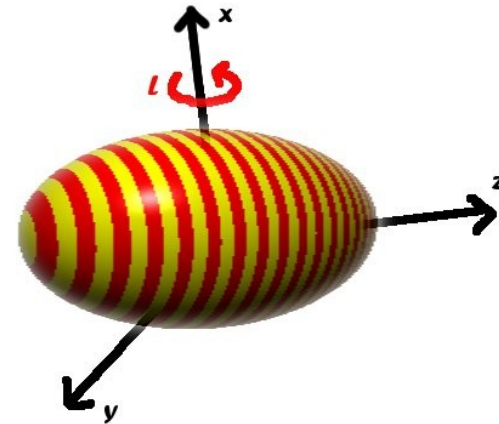
$$E_{rot} = \frac{\hbar^2}{2J} I(I+1)$$

$$E(4)/E(2) \approx 3.33$$

**4+**

**2+**

**0+**



${}_{72}^{170}\text{Hf}_{98}$

# Kształty jąder atomowych

- opis kształtu  $R(\theta, \phi) = R_0(1 + \sum \beta_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi))$
- istotne kształty:
  - $\beta_2$  deformacja kwadrupolowa ( $\approx$  elipsoida trójosiowa)
  - $\beta_3$  deformacja oktopolowa ( $\approx$  gruszka)
- najczęściej występuje deformacja kwadrupolowa

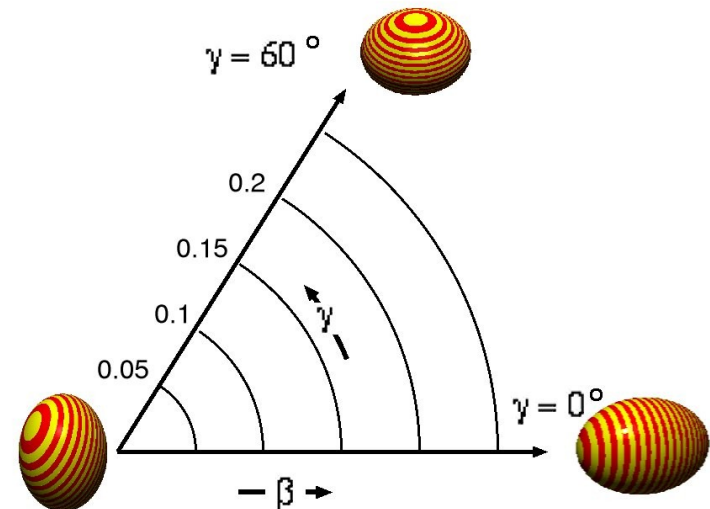
$$R(\theta, \phi) = R_0(1 + \sum \alpha_{2\mu} Y_{2\mu}(\theta, \phi))$$

jeśli układ współrzędnych obrócimy zgodnie z kierunkami osi głównych,

to  $\alpha_{21} = \alpha_{2-1} = 0$  i  $\alpha_{22} = \alpha_{2-2}$

→ dwa parametry do opisu kształtu!

$$\begin{aligned} - \alpha_{20} &= \beta \cos(3\gamma) \\ \alpha_{22} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \beta \sin(3\gamma) \end{aligned}$$



# Stany wibracyjne

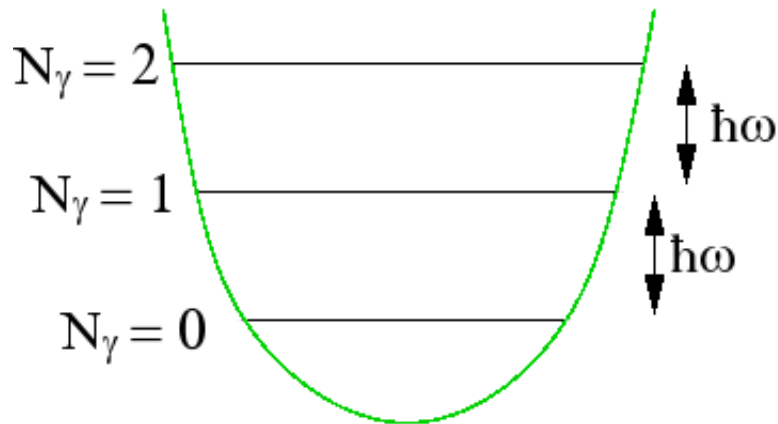
$$R(\theta, \phi) = R_0 \left( 1 + \sum \alpha_{2\mu} Y_{2\mu}(\theta, \phi) \right)$$

- parametry  $\alpha_{\mu\lambda}$  określają kształt jądra atomowego
- rozważając oscylacje jądra jako drgania kropli cieczy dostajemy równanie oscylatora:

$$H_{osc} = \frac{1}{2} B_\lambda |\dot{\alpha}_{\lambda\mu}|^2 + \frac{1}{2} C_\lambda |\alpha_{\lambda\mu}|^2$$

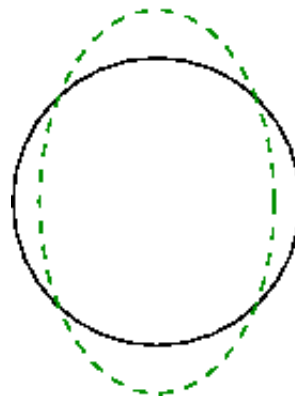
którego rozwiązaniem jest szereg stanów odległych o  $\hbar\omega$ , scharakteryzowanych liczbą fononów  $N_\lambda$ :

$$\omega = \sqrt{C_\lambda / B_\lambda}$$



energia fononu:  $\hbar\omega$ , moment pędu:  $\lambda$   
parzystość  $(-1)^\lambda$

dla najpopularniejszych drgań  
kwadrupolowych  $\lambda = 2$



4+	1330.83
2+	1216.07
0+	1122.32

2+	559.05
----	--------

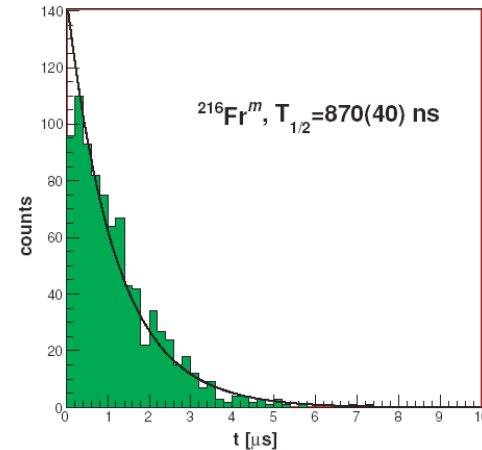
0+	0.0
----	-----

${}^{76}_{34}\text{Se}_{42}$

# Metody pomiaru prawdopodobieństw przejść

- pomiary czasów życia stanów wzbudzonych

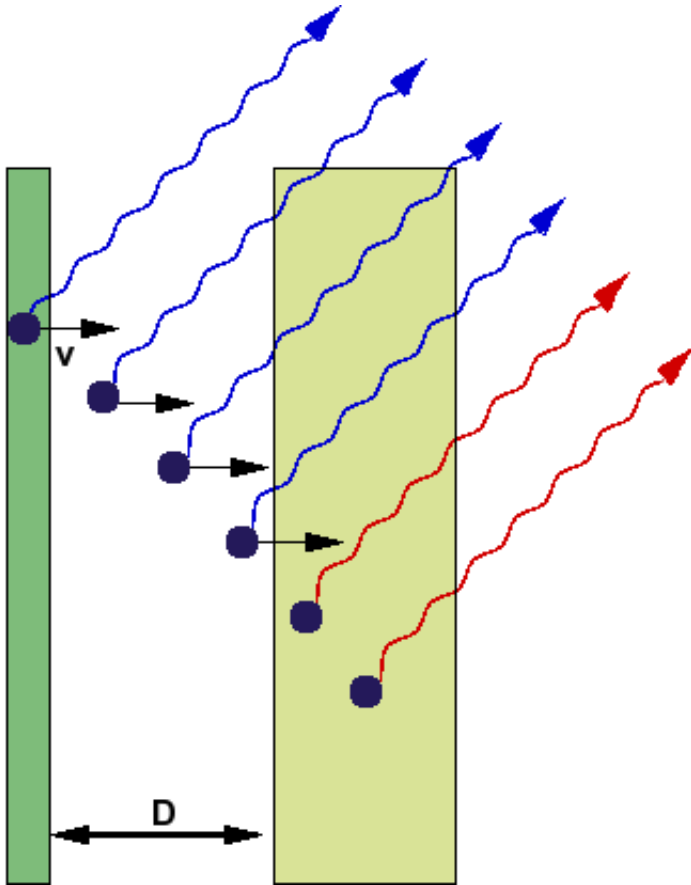
- bezpośredni pomiar zaniku aktywności  
(czasy życia dłuższe niż  $10^{-9}$ s)



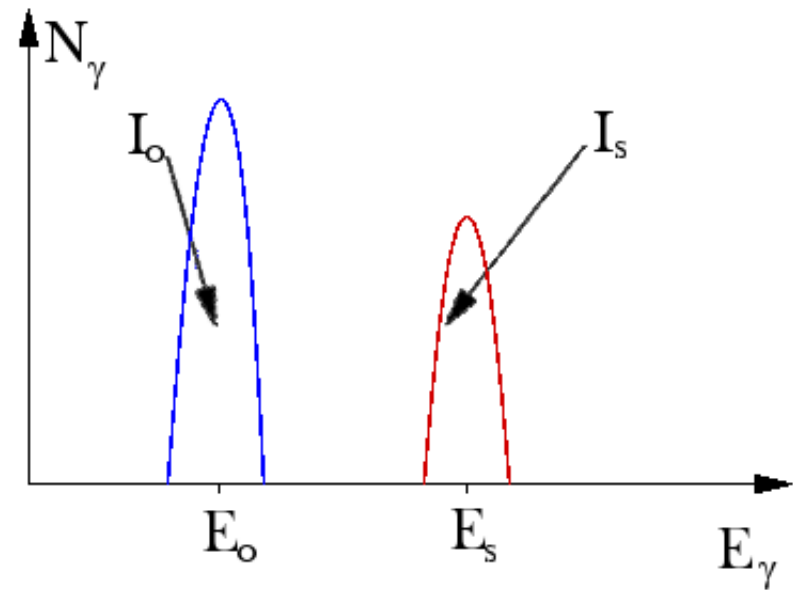
- metody wykorzystujące efekt Dopplera (czasy życia pomiędzy  $10^{-9}$  a  $10^{-14}$ s)
  - *Recoil Distance Method* (RDM) – metoda odległości przelotu jąder odrzutu
  - *Doppler Shift Attenuation Method* (DSAM) – metoda osłabienia przesunięcia Dopplera dla hamujących jąder odrzutu
- wzbudzenia kulombowskie – pomiar prawdopodobieństw przejść elektromagnetycznych

# Metoda RDM

odpowiednia dla czasów życia  
ok.  $10^{-9} - 10^{-12}$  s



$$E_{\gamma} = E_0 \left( 1 + \frac{v}{c} \cos \theta \right)$$



czas przelotu pomiędzy foliami odległymi o  $D$

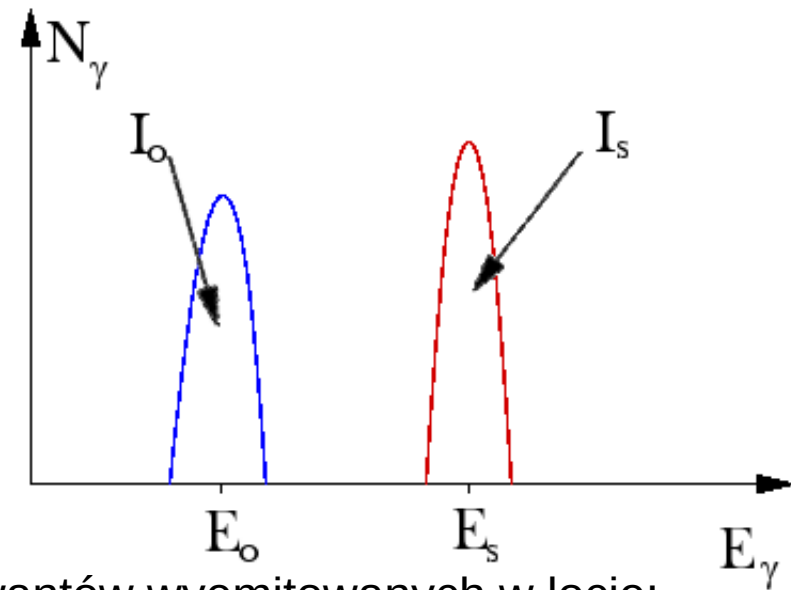
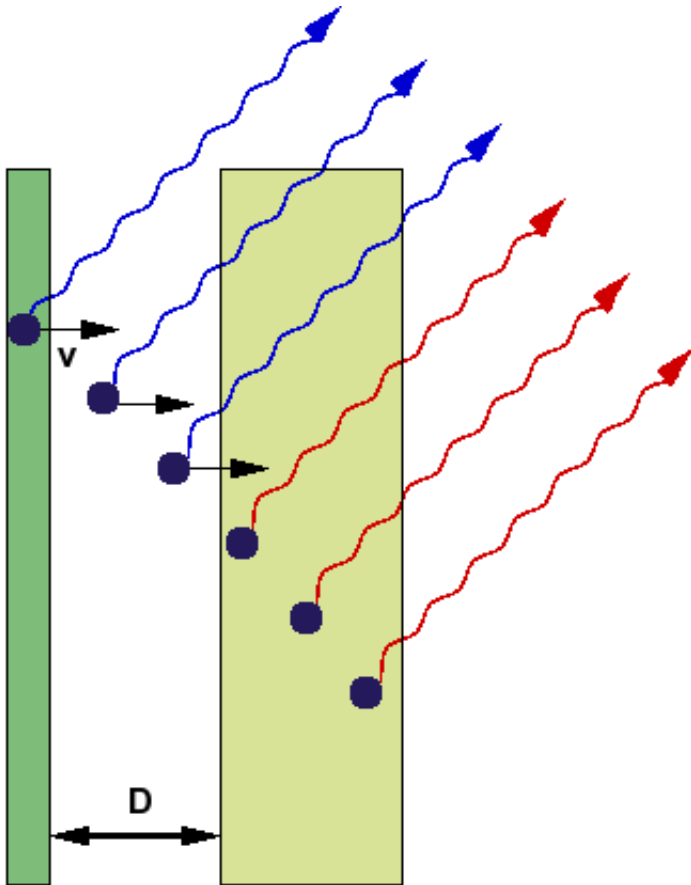
$$t_D = \frac{D}{v}$$

liczba kwantów wyemitowanych po zatrzymaniu

$$I_s = N_0 \exp\left(-\frac{t_D}{\tau}\right) = N_0 \exp\left(-\frac{D}{v\tau}\right)$$

# Metoda RDM

zmniejszamy odległość D:



liczba kwantów wyemitowanych w locie:

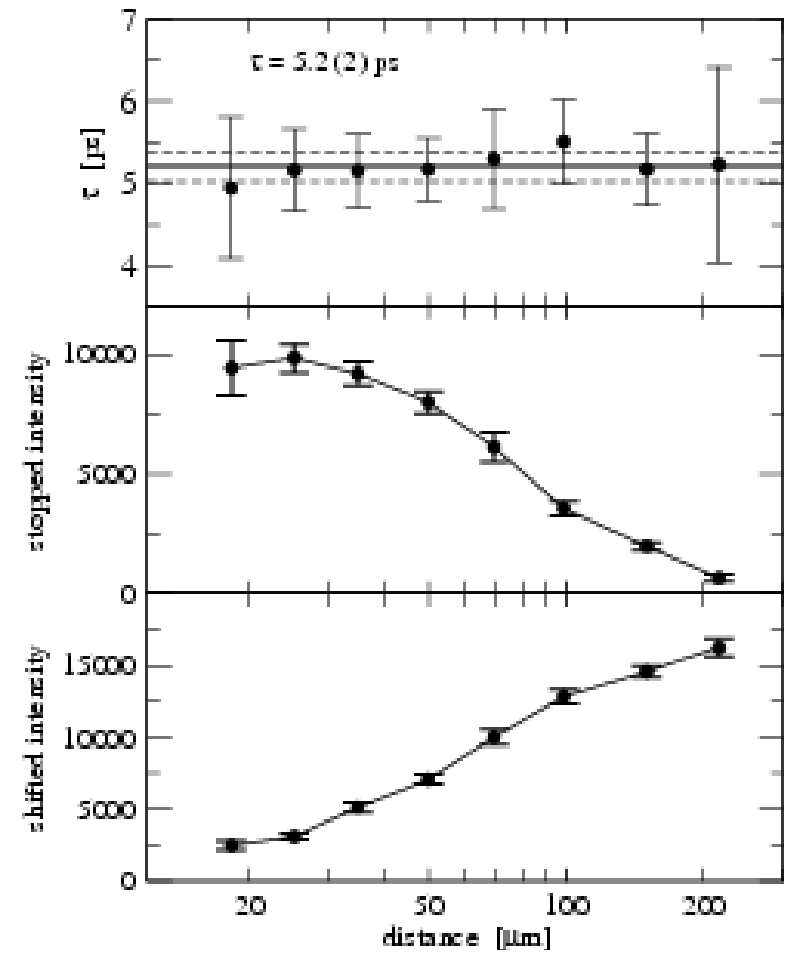
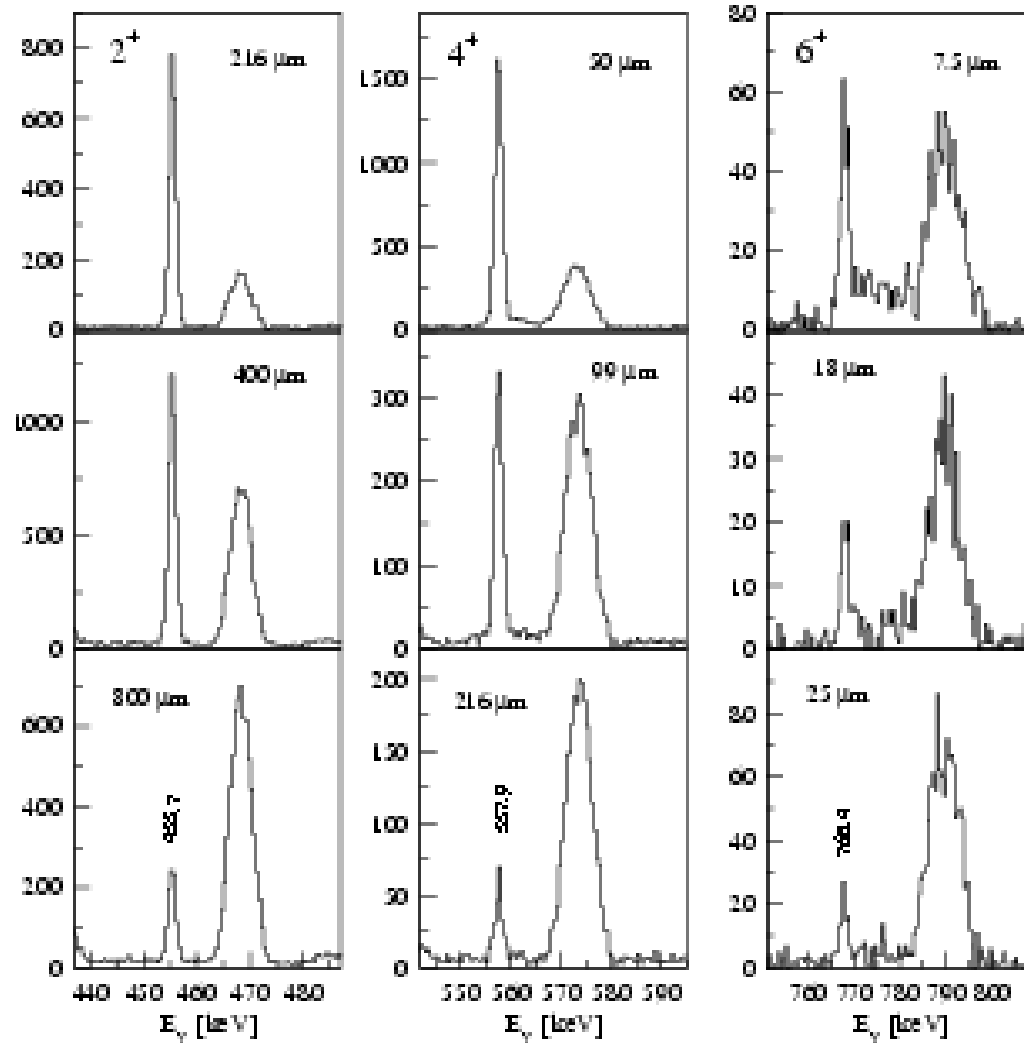
$$I_o = N_o - I_s = N_o \left( 1 - \exp\left(-\frac{D}{v\tau}\right) \right)$$

zwykle analizujemy wielkość

$$R(D) = \frac{I_o}{I_o + I_s} = \exp\left(-\frac{D}{v\tau}\right)$$

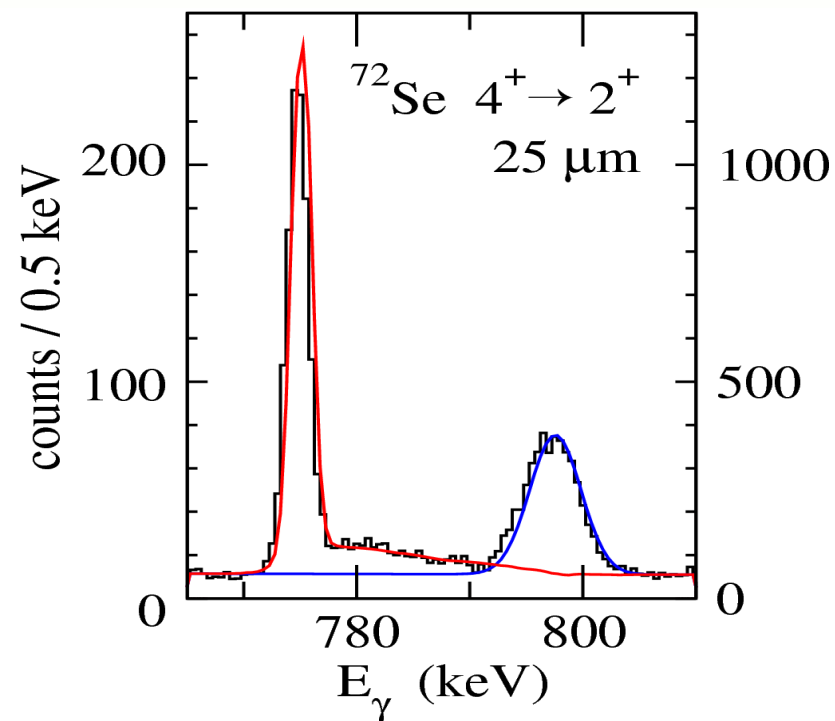
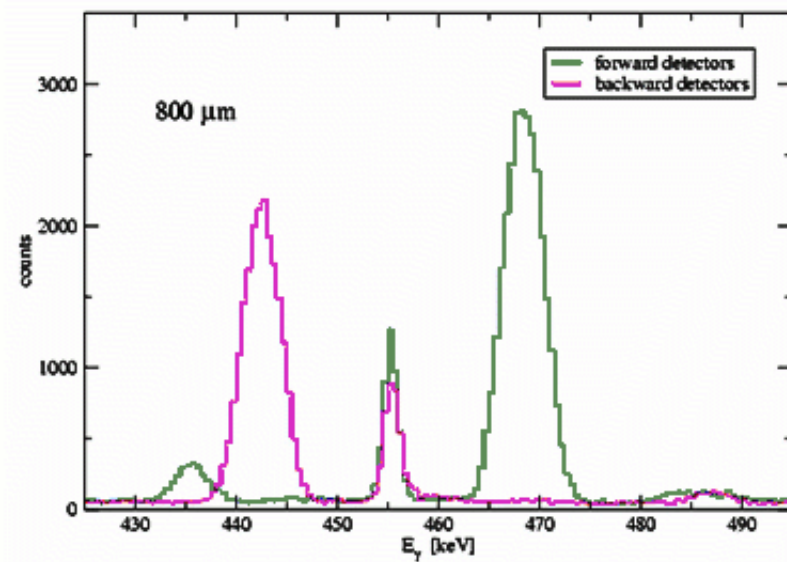
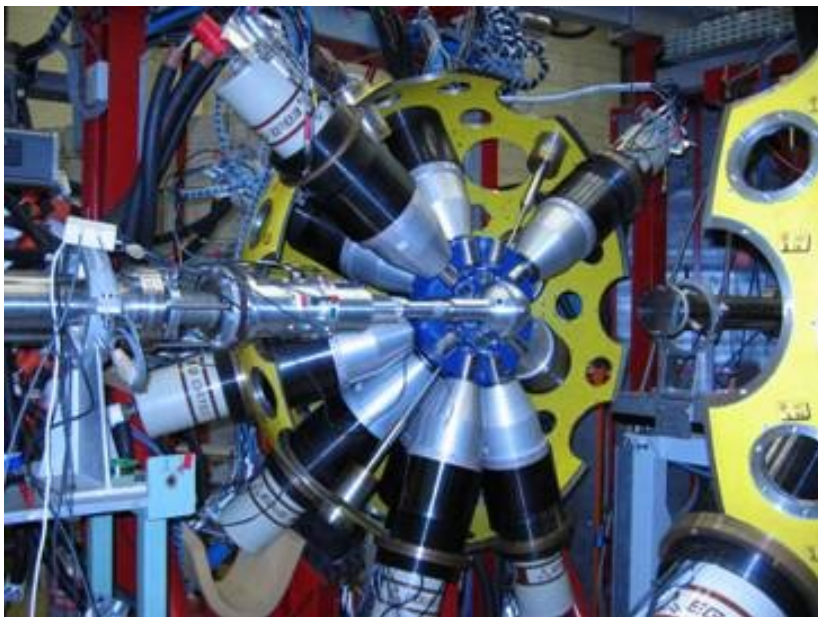
# Metoda RDM

Example:  $^{74}\text{Kr}$ ,  $4^+$ ,  $36^\circ$



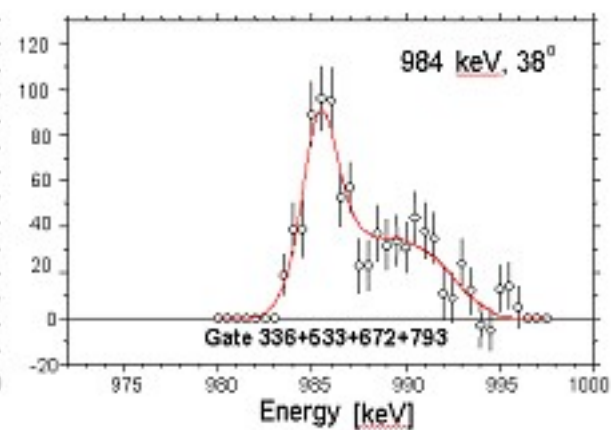
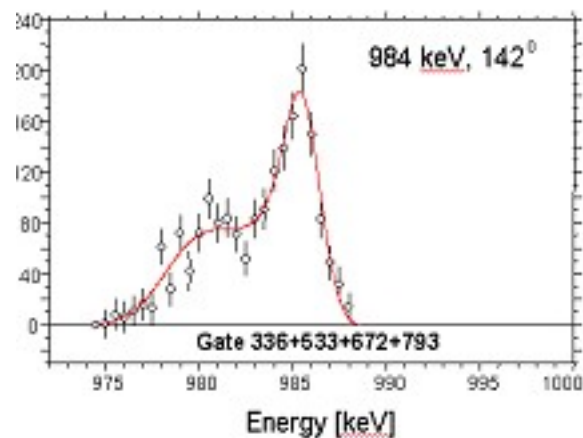
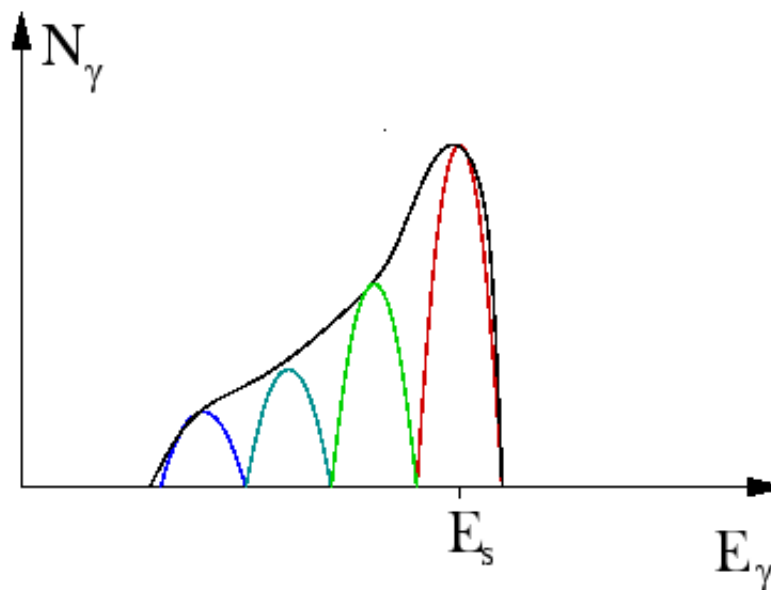
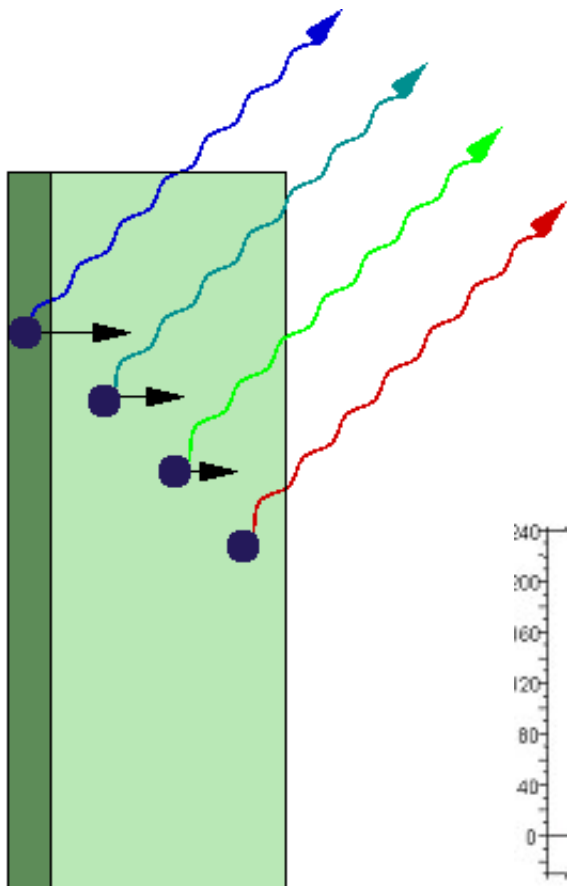


# Plunger



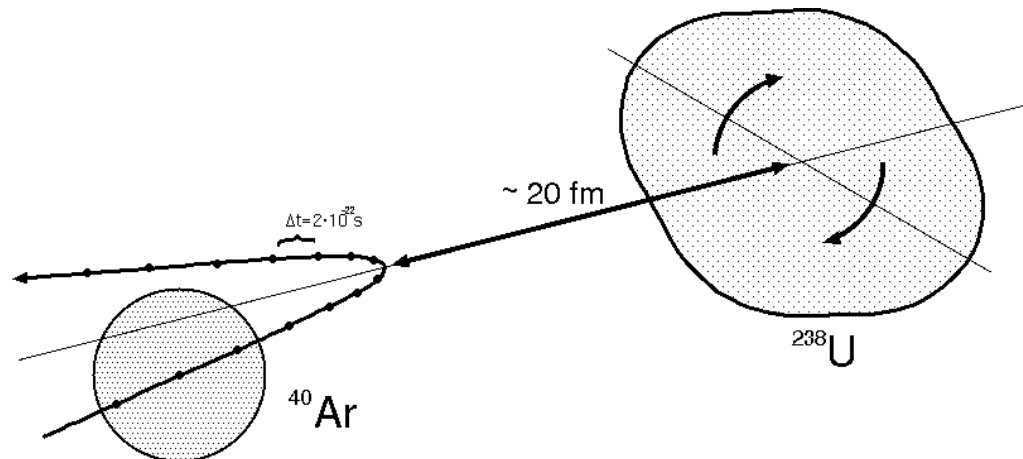
# Metoda DSAM

odpowiednia dla czasów życia  
ok.  $10^{-11}$ – $10^{-14}$  s

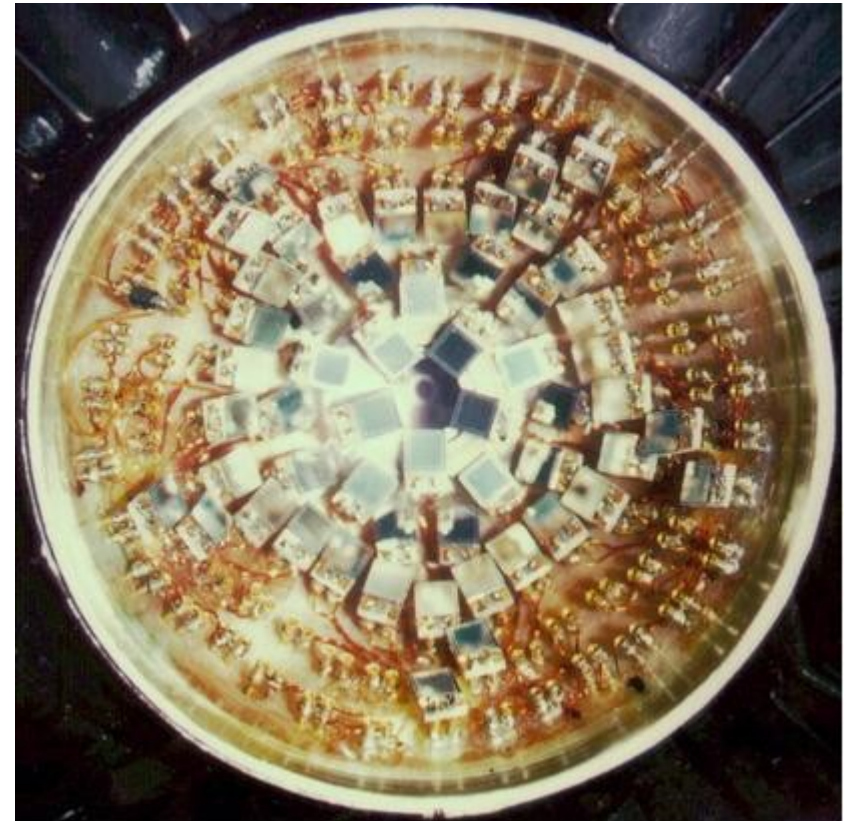
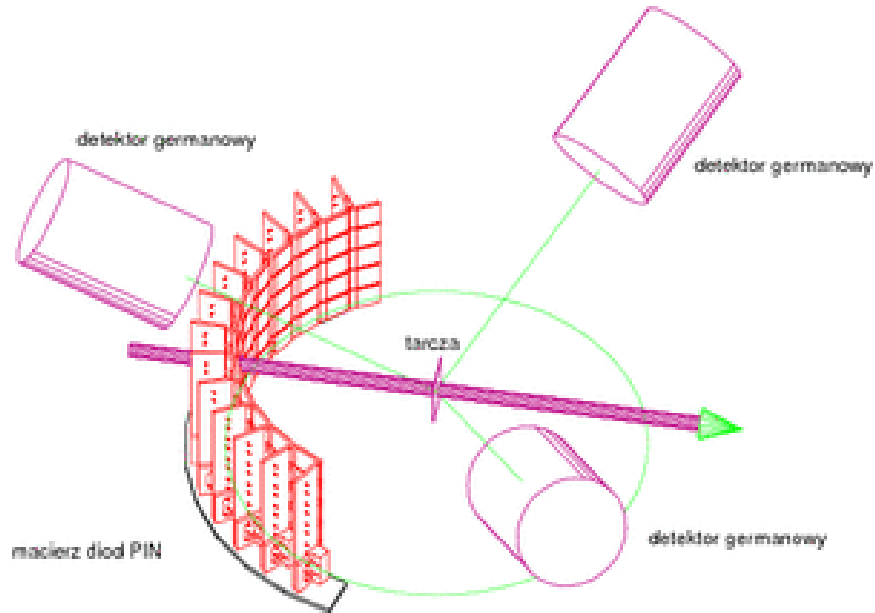


# Wzbudzenia kulombowskie

- jon wiązki, przebiegając blisko jądra tarczy, wytwarza silne niejednorodne pole elektromagnetyczne
- pod jego wpływem jądro tarczy przechodzi do stanu wzbudzonego
- energia wiązki tak dobrana, aby nie dochodziło do zderzenia, a nawet do oddziaływań jądrowych „na odległość” - wyłącznie oddziaływanie elektromagnetyczne (dobrze znane!)
- przekrój czynny na wzbudzenie proporcjonalny do prawdopodobieństwa przejścia → mierząc intensywności przejść gamma możemy otrzymać prawdopodobieństwa przejść między stanami.
- obserwowane wzbudzenie zależy silnie od kąta rozproszenia, energii wiązki, Z wiązki i tarczy.



# Wzbudzenia kulombowskie



$^{74}\text{Kr}$

