

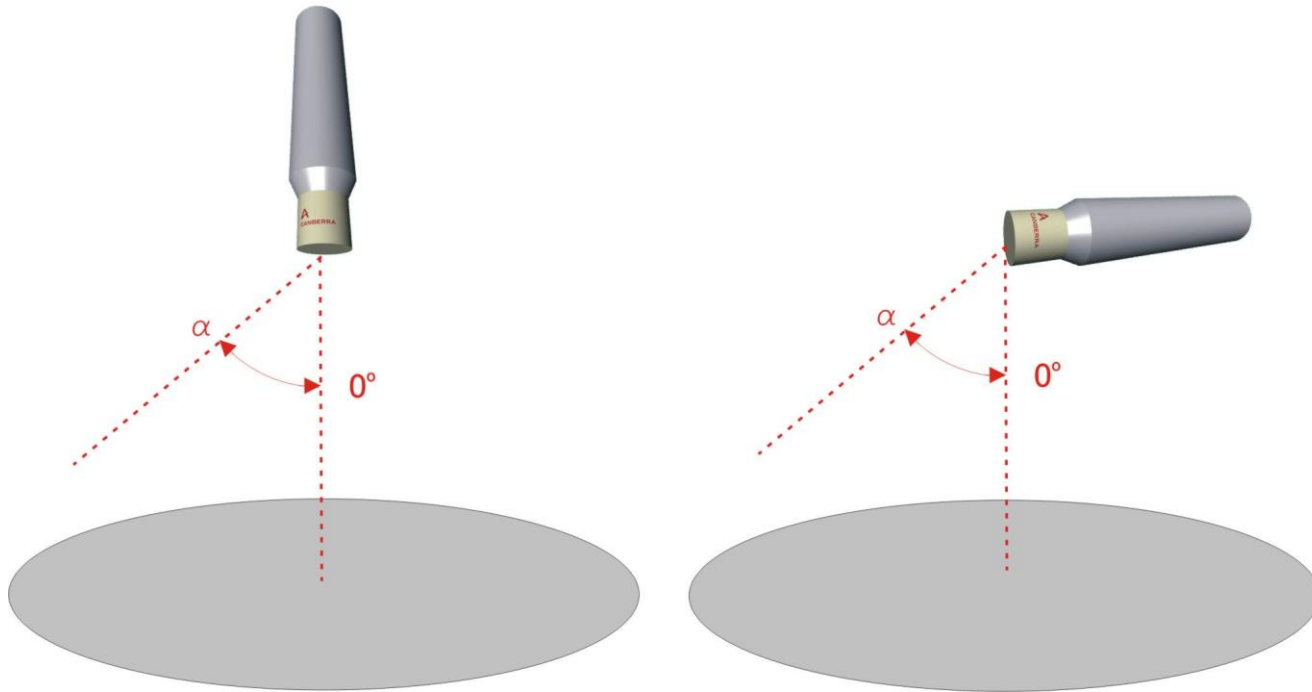


# Ocena przydatności do monitoringu radiacyjnego środowiska sondy scyntylacyjnej z detektorem $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$

---

Ł.MODZELEWSKI, B.KLIŚ, Ł.MAZUR, S.JEDNORÓG, A. KAWALEC

Cel pracy:  
Odpowiedź na pytanie jaka orientacja  
detektora  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  podczas badań *in-situ*  
jest lepsza



# Cel pracy: Odpowiedź na pytanie jaka orientacja sondy $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ jest lepsza

Badanie przeprowadzono trzema metodami:

1. Analizę porównawczą trójwymiarowych map wydajności rejestracji fotonów dla zmiennej średnicy skażonego obszaru i zmiennej energii fotonów.
2. Analizę przebiegu funkcjonału zbudowanego z elementów będących scałkowanymi wydajnościami absolutnymi dla płaskich skażonych obszarów kolistych o zmieniającej się średnicy i zbadaniu zachowania tego funkcjonału w nieskończoności. Fizycznie poszukiwanie granicy takiej funkcji oznacza wyznaczenie maksymalnego obszaru skażonego spoza, którego promieniowanie nie dociera już do detektora.
3. Analizę przebiegu współczynników wielomianu logarytmicznego opisującego funkcje wydajności dla ciągu średnic płaskiego skażonego obszaru kolistego. Wyznaczenie uniwersalnej funkcji wydajności dla nieskończonego skażonego płaskiego kulistego obszaru i rozpatrywanych orientacji detektora oraz określenie wartości wydajności scałkowanej.

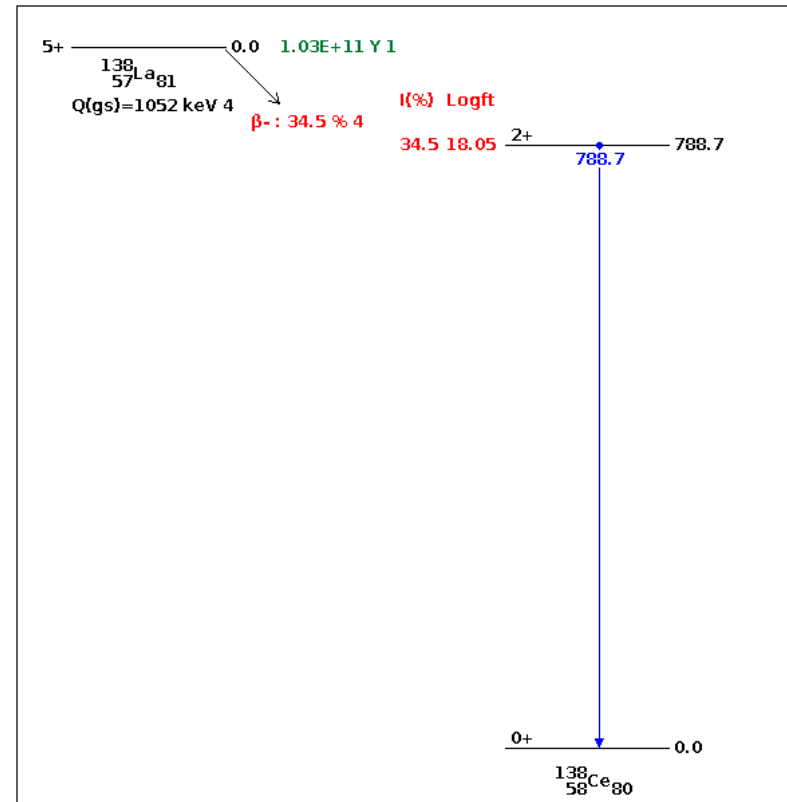
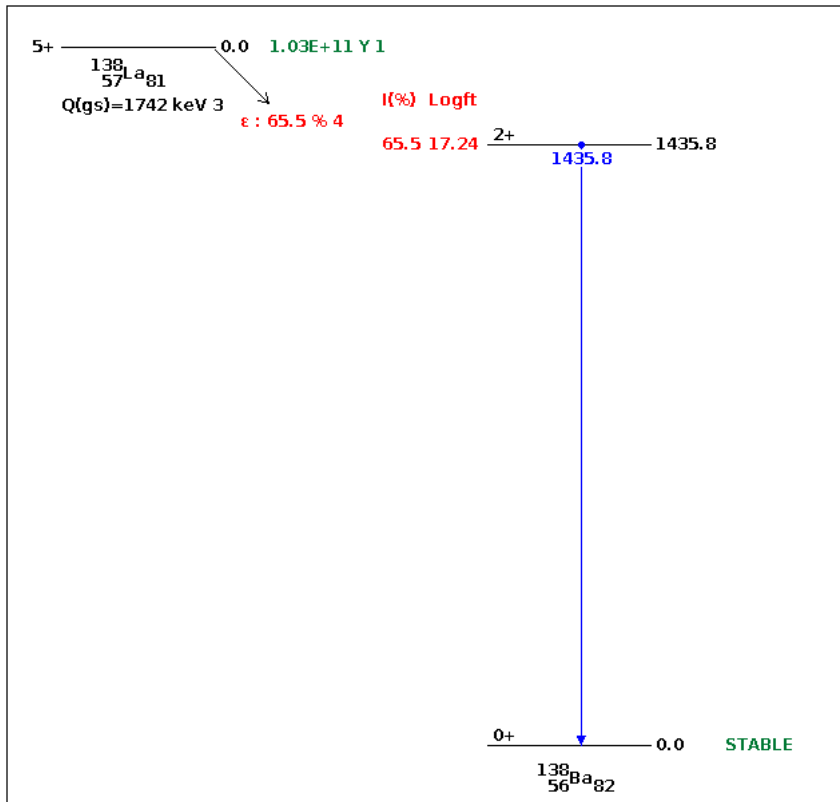
# Materiał: Właściwości detektora scyntylicyjnego na bazie $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ – bieg własny

Lantan występuje w postaci mieszaniny dwóch izotopów.  $^{139}\text{La}$  jest izotopem bardziej rozpowszechnionym (99,91%) i stabilnym.  $^{138}\text{La}$  jest radioaktywny o  $T_{1/2}=1,05 \cdot 10^{11}$  lat.

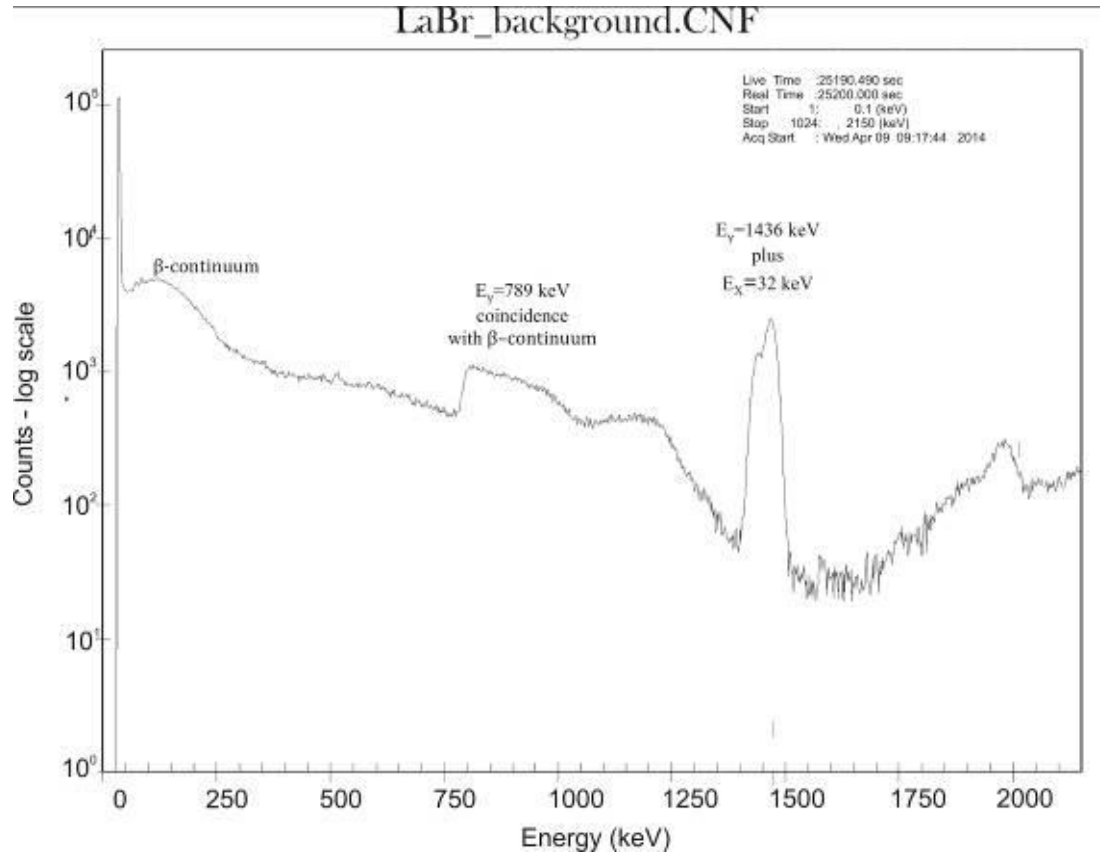
$^{138}\text{La}$  rozpada się na dwa sposoby. 66.4% atomów rozpada się poprzez wychwyt elektronu (EC – ang.: electron capture). W wyniku tego powstaje wzbudzony  $^{138}\text{Ba}$ , który z kolei rozpada się emitując promieniowanie gamma ( $E_\gamma=1436$  keV). EC wywołuje przeorientowanie powłok elektronowych czemu towarzyszy emisja promieniowania X o energii z zakresu 4,46–5,53 keV i około 35 keV występujących w koincydencji z promieniowaniem jądrowym baru. Pozostałe 33,6% jader  $^{138}\text{La}$  rozpada się do  $^{138}\text{Ce}$ , emitując przy tym promieniowanie beta i gamma ( $E_\gamma=789$  keV).



# Właściwości detektora scyntylacyjnego na bazie $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ – bieg własny

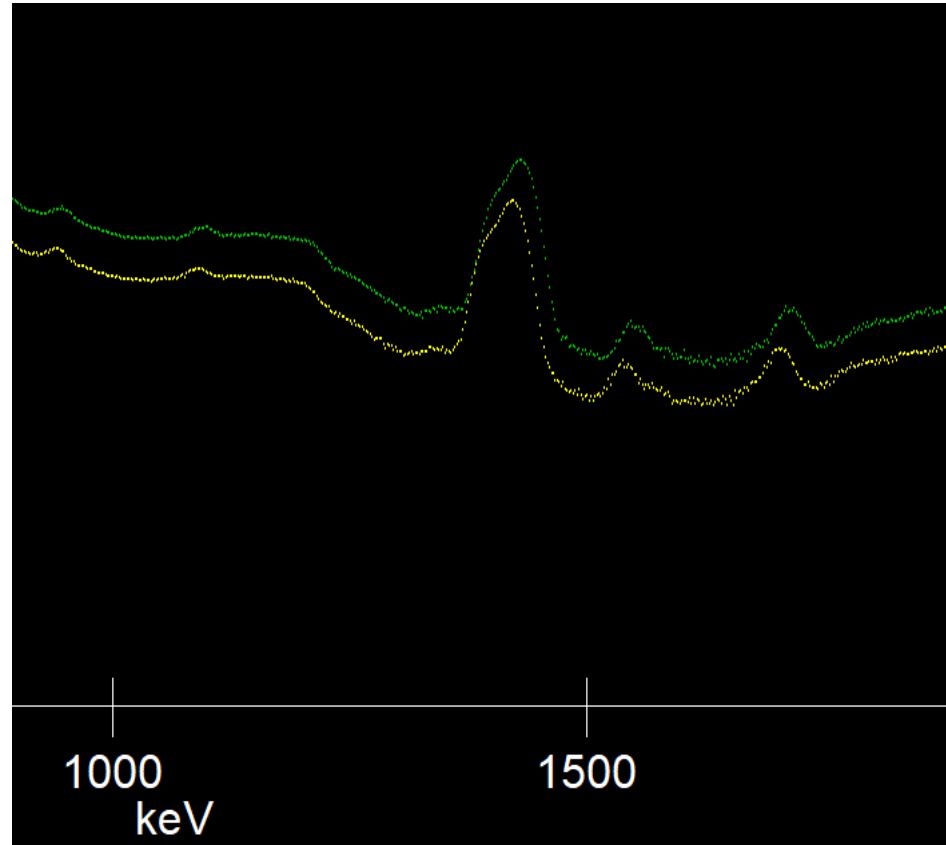


# Właściwości detektora scyntylacyjnego na bazie $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ – bieg własny

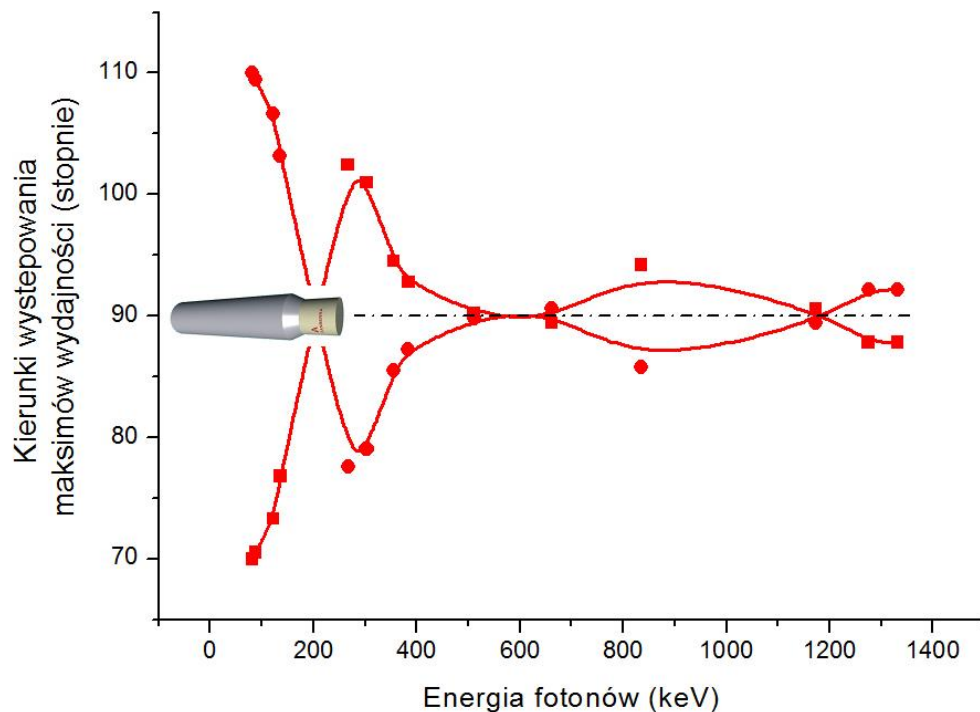


# Właściwości detektora scyntylicyjnego na bazie $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ - dryft temperaturowy

Przy zmianie temperatury otoczenia o  $5^\circ\text{C}$  następuje przesunięcie piku o energii 1436 keV o 19 kanałów



# Uprzywilejowane kierunki i energie fotonów



Wcześniejsze badania wykonane w CLOR dowiodły, że w badaniach środowiskowych występują pewne uprzywilejowane kierunki oraz energie fotonów powodujące lokalne ekstrema funkcji wydajności rejestracji fotonów. To natchnęło do zbadania czy powszechne stosowanie do monitoringu orientacji pionowej detektora jest uzasadnione

Jednorog S, Ciupek K, Krajewski P, Laszyna E, Ziolkowski A (2015) alibration of the angular energy efficiency of an in situ spectrometer based on a  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  detector J Radioanal Nucl Chem DOI 10.1007/s10967-014-3444-z  
Ciupek K, Jednorog S, Fujak M, Szewczak K (2014) Evaluation of efficiency for in situ gamma spectrometer based upon cerium-doped lanthanum bromide detector dedicated for environmental radiation monitoring J Radioanal Nucl Chem DOI 10.1007/s10967-013-2906-z



# Metody: Narzędzia analityczne do badania wydajności rejestracji fotonów

Wydajność rejestracji fotonów

$$eff(E) = R / (S \times P_{\gamma})$$

Gdzie: R- count rate, S- Source strength  
 $P_{\gamma}$ -Transition abundance

Postać analityczna wydajności

$$AFEPE = eff(E) = \sum_{i=0}^n A_i \ln(E)^i$$

lub

$$AFEPE = eff(E) = \sum_{i=0}^n A_i \ln(x)^i$$

$$\text{gdzie } x = \ln\left(\frac{B}{E}\right),$$

Gdzie AFEPE: Absolute Full Energy  
Peak Efficiency, E–energia fotonów  
[keV],  $A_i$  i B–współczynniki  
dopasowania

Miara sprawności rejestracji fotonów

$$IAFEPE = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} eff(E) dE.$$

Gdzie: IAFEPE Integrated AFEPE- jest całką  
Riemana po zakresie energii rejestracji, czym  
wyższe IAFEPE tym efektywniejszy proces  
rejestracji/ detekcji

# Narzędzia analityczne do badania wydajności rejestracji fotonów

Jeżeli rozważymy pewien ciąg utworzony przez płaskie skażone powierzchniowo obszary kołiste nieznacznie różniące się od siebie średnicą  $D_n$ : to można analizować funkcję wydajności rejestracji fotonów jako zależność od dwóch zmiennych: energii fotonów i średnicy próbki  $D_n$ :

$$eff(E, D_1), eff(E, D_2), eff(E, D_3) \dots eff(E, D_n) \dots eff(E, D_\infty)$$

gdzie  $eff(E, D_n)$  jest funkcją wydajności rejestracji fotonów emitowanych przez próbkę o średnicy  $D_n$

Wartość średnicy skażonego, kołowego obszaru oraz współczynniki wielomianu interpolacyjnego opisującego funkcję kalibracji wydajnościowej wprowadzono do tablicy M:

$$M = \begin{bmatrix} D_1 & A_{0,D_1} & A_{1,D_1} & A_{2,D_1} & A_{3,D_1} \\ D_2 & A_{0,D_2} & A_{1,D_2} & A_{2,D_2} & A_{3,D_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_n & A_{0,D_n} & A_{1,D_n} & A_{2,D_n} & A_{3,D_n} \end{bmatrix}$$

gdzie:  $D_1=10m$ ,  $D_2=20m$ , ...,  $D_n=100m$ . Wszystkie współczynniki są bezwymiarowe a indeks  $l$  przy średnicy  $D$  oznacza, że jest to wartość  $l$ -tego współczynnika dla  $k$ -tej średnicy z przedziału  $\langle 10m, 100m \rangle$  wielomianu logarytmicznego

# Narzędzia analityczne do badania wydajności rejestracji fotonów

Wartości z każdej kolumny (począwszy od drugiej) zostały potraktowane oddzielnie i wraz z kolumną pierwszą utworzono z nich cztery tablice dwuwymiarowe  $\{2 \times n\}$ :  $M_0 \div M_3$ :

$$M_0 = \begin{bmatrix} D_1 & A_{0,D_1} \\ D_2 & A_{0,D_2} \\ \dots & \dots \\ D_n & A_{0,D_n} \end{bmatrix}; \quad M_1 = \begin{bmatrix} D_1 & A_{1,D_1} \\ D_2 & A_{1,D_2} \\ \dots & \dots \\ D_n & A_{1,D_n} \end{bmatrix};$$
$$M_2 = \begin{bmatrix} D_1 & A_{2,D_1} \\ D_2 & A_{2,D_2} \\ \dots & \dots \\ D_n & A_{2,D_n} \end{bmatrix}; \quad M_3 = \begin{bmatrix} D_1 & A_{3,D_1} \\ D_2 & A_{3,D_2} \\ \dots & \dots \\ D_k & A_{3,D_n} \end{bmatrix};$$

Następnie wartości każdej z tych tablic zostały przedstawione graficznie jako rozkład współczynnika wielomianu według średnicy skażonego, kolistego obszaru  $D_n$ . Kolejno dokonano interpolacji tego rozkładu za pomocą funkcji wykładniczej i zbadano czy funkcja ta ma granicę i gdzie. Cztery szczególne wartości liczbowe  $a_0 \div a_3$  współczynników  $A_0 \div A_3$  obliczono w następujący sposób:

$$a_k = \lim_{D \rightarrow \infty} M_n(D)$$

# Narzędzia analityczne do badania wydajności rejestracji fotonów

Jeżeli każdy element tego funkcjonału zostanie zastąpiony całką oznaczoną po energii rejestrowanych fotonów otrzymamy ciąg:

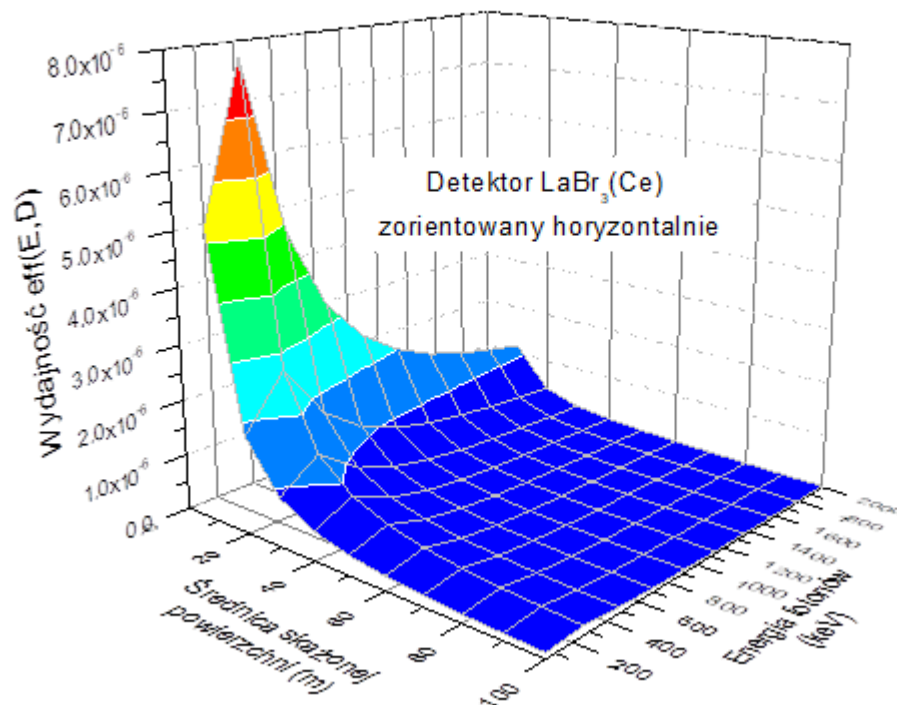
$$IAFEPE(D_1), IAFEPE(D_2), IAFEPE(D_3), \dots, IAFEPE(D_n), \dots, IAFEPE(D_\infty),$$

Po obliczeniu poszczególnych wartości tego ciągu można pokusić się o znalezienie najlepszej funkcji interpolacyjnej  $f(IAFEPE(D))$ . W tym przypadku  $D$  jest zmienną niezależną, mającą, w rozpatrywanym przedziale średnic  $D < 10m, 100m >$ , charakter ciągły. Po znalezieniu takiej funkcji przeprowadza się badanie jej przebiegu a w szczególności poszukiwanie granicy:

$$\lim_{D \rightarrow \infty} f(IAFEPE(D)) = IAFEPE(d = const)$$

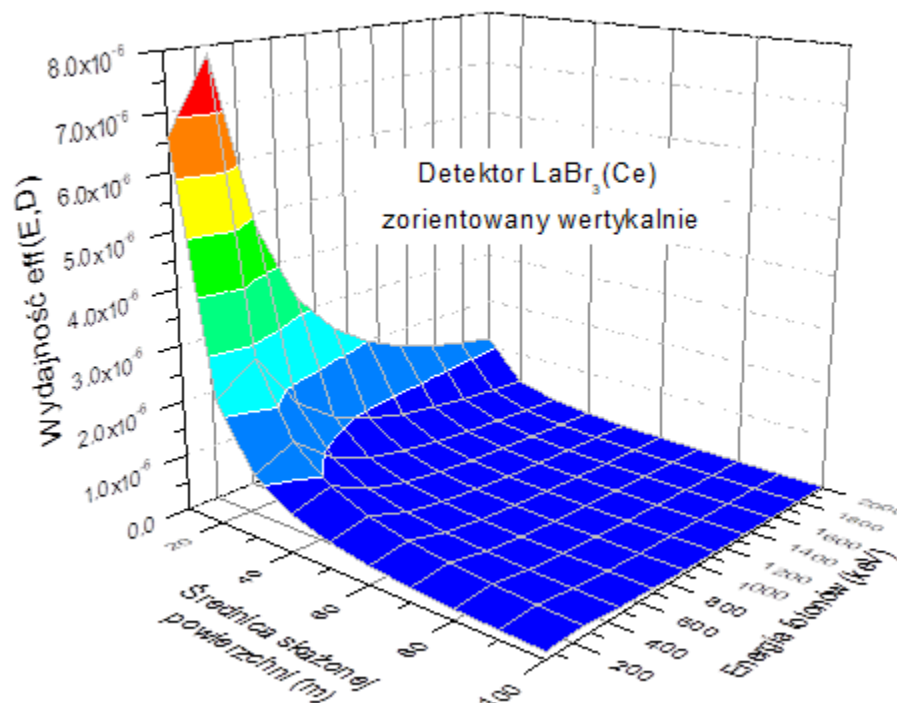
# Wyniki-3D mapy wydajności

Trójwymiarowa (3D) mapa wydajności jako funkcja energii fotonów  $E$  i średnicy próbki  $D_n$  powstanie wtedy kiedy wszystkie funkcje wydajności (lub pewna ich frakcja) zostaną zebrane razem i w odpowiedni sposób przedstawione na jednym wykresie



3D mapa przedstawia w sposób graficzny zależność wydajności rejestracji fotonów od ich energii oraz średnicy kolistego, skażonego terenu w przypadku, gdy detektor *in-situ* umieszczony jest horyzontalnie w stosunku do powierzchni ziemi

# Wyniki-3D mapy wydajności

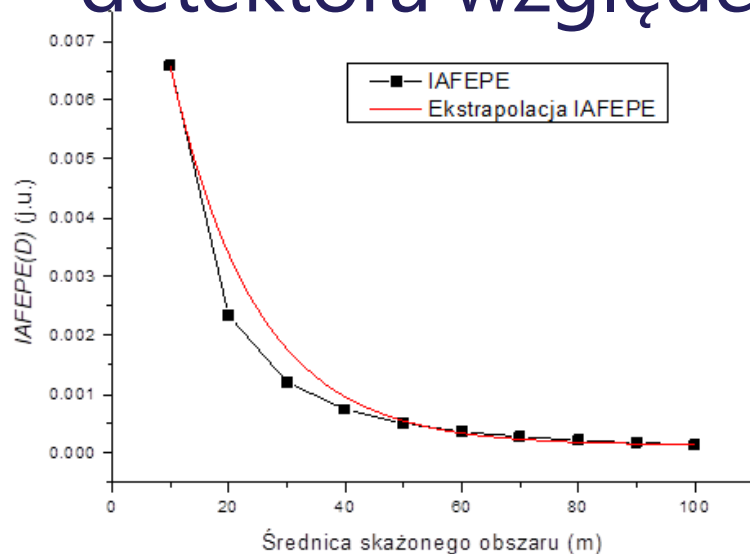


3D mapa wydajności dla wertykalnie zorientowanego detektora *in-situ*

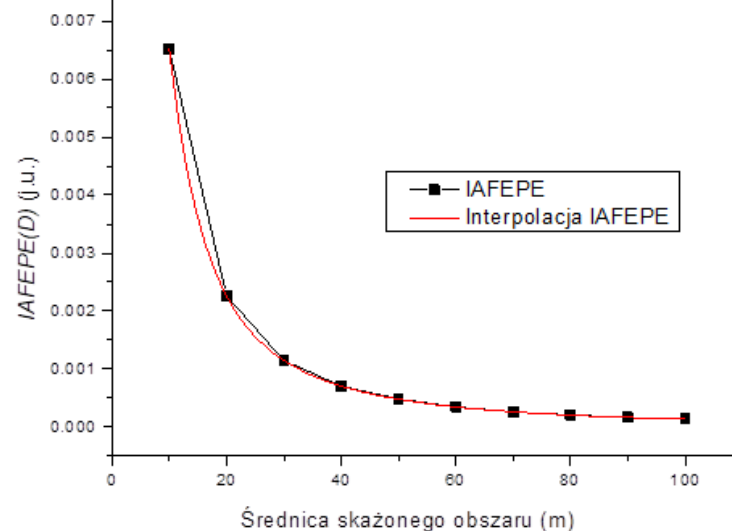
Wniosek: Na podstawie analizy przebiegu trójwymiarowych funkcji wydajności rejestracji fotonów dla orientacji wertykalnej i horyzontalnej nie można wskazać uprzywilejowanej orientacji detektora stosowanego *in-situ*.

# Wyniki

## Porównanie sprawności rejestracji fotonów przy orientacji pionowej i poziomej detektora względem ziemi



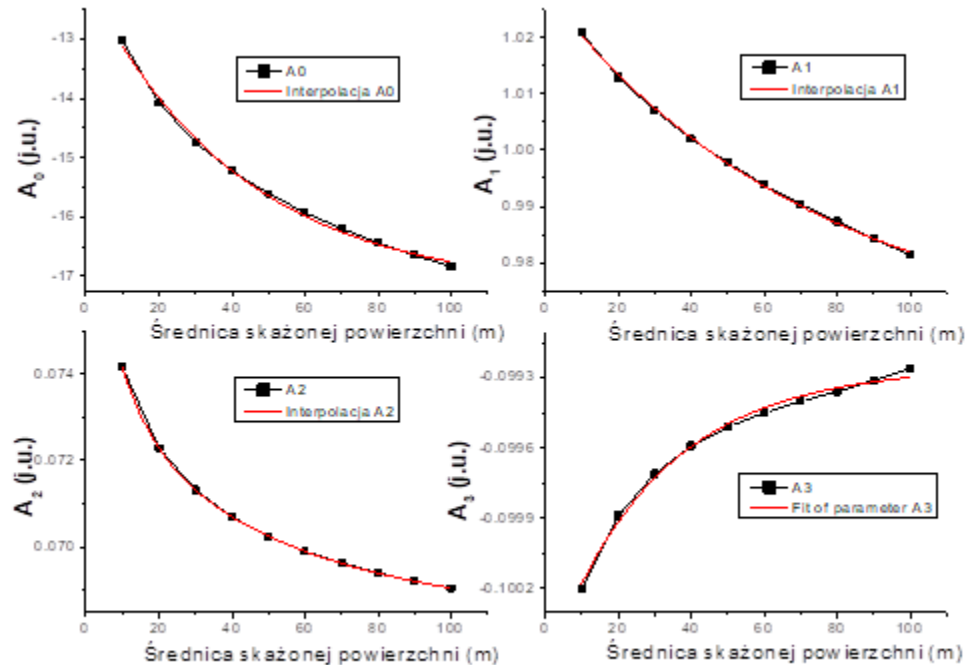
Wartości IAFEPE (czarne kwadraty) dla horyzontalnie zorientowanego in-situ detektora i ich analityczna reprezentacja (czerwona krzywa), gdzie j.u. jednostki umowne



Wartości IAFEPE (czarne kwadraty) dla wertykalnie zorientowanego in-situ detektora i ich analityczna reprezentacja (czerwona krzywa)

Przebiegi zmienności IAFEPE w funkcji średnicy skażonej powierzchni jest porównywalny dla obu orientacji. **Wniosek: żadna orientacja nie jest skutkuje wydajniejszą rejestracją fotonów.**

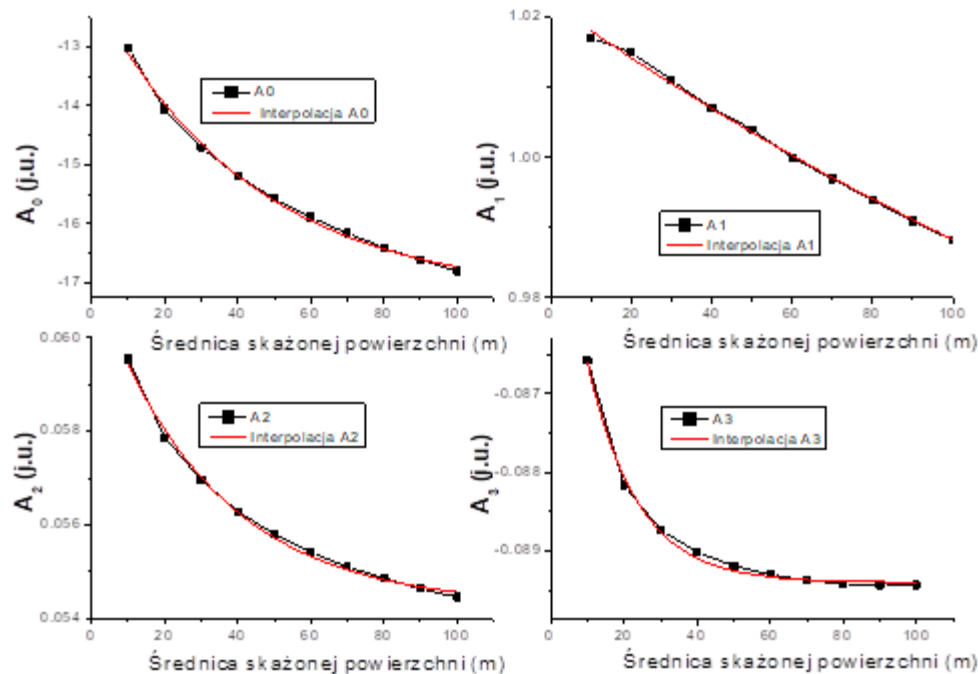
# Badanie przebiegu funkcji opisującej wydajność - orientacja pionowa



Przebieg zmienności współczynników funkcji wydajności rejestracji fotonów  $A_0 \div A_3$  dla horyzontalnie zorientowanego detektora in-situ. Wyznaczając wartość graniczną każdego ze współczynników funkcji wyznaczoną uniwersalną krzywą wydajności rejestracji fotonów i poddaną ją testowi IAFEPE



# Badanie przebiegu funkcji opisującej wydajność - orientacja pozioma



Przebieg zmienności współczynników funkcji wydajności rejestracji fotonów  $A_0 \div A_3$  dla wertykalnie zorientowanego detektora in-situ. Wyznaczając wartość graniczną każdego ze współczynników funkcji wyznaczoną uniwersalną krzywą wydajności rejestracji fotonów i poddaną ją testowi IAFEPE

# Uniwersalne funkcje rejestracji fotonów

Dla detektora zorientowanego wertykalnie wartości współczynników funkcji opisanej kalibracją wydajnościową (wzór 1) wyniosły odpowiednio:  
 $A_0 = -17,23 \pm 0,13$ ;  $A_1 = 0,92 \pm 0,01$ ;  $A_2 = 0,054 \pm 0,0002$ ; i  $A_3 = -0,089 \pm 0,00002$ .

Dla detektora umieszczonego horyzontalnie wartości te wyniosły odpowiednio:  
 $A_0 = -17,25 \pm 0,13$ ;  $A_1 = 0,97 \pm 0,002$ ;  $A_2 = 0,068 \pm 0,00007$ ; i  $A_3 = -0,099 \pm 0,00002$ .

# Wynik testu IAFEPE

W celu oszacowania, która z opisanych geometrii pomiarowych: z detektorem umieszczonym wertykalnie czy horyzontalnie, jest lepsza wartości wymienionych powyżej współczynników wstawiono do funkcji opisujących wydajność i scałkowano je. Obliczone w ten sposób wartości *IAFEPE* wynoszą odpowiednio: dla detektora zorientowanego horyzontalnie  $(9,13 \pm 1,14) \cdot 10^{-5}$ , oraz dla detektora zorientowanego wertykalnie  $(8,97 \pm 1,23) \cdot 10^{-5}$ .

**Wniosek: Na podstawie wyznaczenia uniwersalnych funkcji wydajności rejestracji fotonów i oszacowania dla obydwu orientacji detektora wartości wydajności scałkowanych nie można wskazać, która z analizowanych orientacji skutkuje wydajniejszą rejestracją.**

# Wnioski

**Na podstawie analizy skuteczności rejestracji fotonów trzema prezentowanymi metodami stwierdzono, że nie ma statystycznie znamiennej różnicy między orientacją wertykalną a horyzontalną detektora  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  pracującego in-situ**

Dziękuję za uwagę

