

Kacper Kulczycki

Zadanie 120

Pomiar aktywności właściwej izotopu ^{137}Cs w suszonych grzybach

Warszawa 2002

Wstęp

Celem doświadczenia jest zbadanie aktywności właściwej próbki grzybów, przy użyciu scyntylicyjnego spektrometru promieniowania γ .

Teoria

Wykorzystując symetrię walcową układu rejestrującego i źródła można zapisać:

$$\varepsilon(h,r) = \frac{I}{I_0} \quad \text{wz.1}$$

$$I = \int A_w \varepsilon(h,r) dm = A_w \frac{M}{V} \int_V \varepsilon(h,r) d_3r \quad \text{wz.2}$$

$$\varepsilon = \frac{I}{A} \quad \text{wz.3}$$

gdzie:

- ε - funkcja wydajności rejestracji promieniowania γ ,
- h, r - współrzędne punktowego źródła promieniowania (odległość od powierzchni scyntylicatora, oraz odległość od jego osi)
- I_0 - intensywność kwantów γ emitowanych przez źródło o wymiarach punktowych (liczba kwantów emitowanych w jednostce czasu, w pełen kąt bryłowy),
- I - intensywność kwantów γ zarejestrowanych w danym pikcie funkcji energii od czasu (liczba kwantów rejestrowanych w jednostce czasu),
- A_w - aktywność właściwa (stała dla wszystkich „ punktowych ” elementów próbki),
- dm - element masy próbki (przybliżenie punktowego źródła promieniowania),
- M - masa próbki,
- V - objętość próbki,
- A - aktywność źródła.

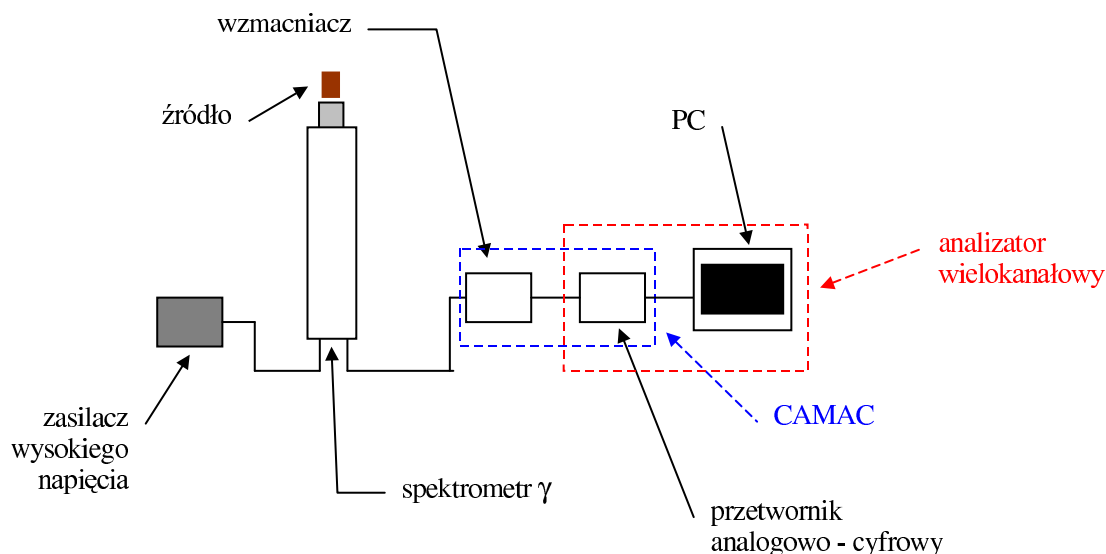
Przebieg doświadczenia

Aktywność właściwa (liczba rozpadów promieniotwórczych, na sekundę, na jednostkę masy substancji) jest wielkością charakterystyczną każdej substancji promieniotwórczej. Mając A_w dla grzybów (absorbują one z otoczenia cez – w tym izotopy promieniotwórcze ^{134}Cs i ^{137}Cs , w stopniu większym niż inne organizmy żywe), można określić jaką ich ilość należałoby zjeść w ciągu roku, aby napromieniować się dawką graniczną.

Pomiar zawartości ^{137}Cs w grzybach prowadzi się pośrednio, mierząc ilość kwantów γ towarzyszących rozpadowi jądra ^{137}Cs do ^{137}Ba (około 95% rozpadów β jąder cezu tworzy stan wzbudzony jądra ^{137}Ba , który przechodzi do stanu podstawowego emitując kwant γ o energii 661,6 keV). Rejestracja tych kwantów (ich ilość jest proporcjonalna do ilości rozpadów jąder ^{137}Cs) umożliwia obliczenie A_w dla grzybów (przy znajomości liczby pomiarów i masy próbki). Kwanty γ emitowane są przez źródło w pełen kąt bryłowy, stąd konieczność znalezienia funkcji wydajności rejestracji promieniowania γ (dla energii 662

keV) przez spektrometr (o walcowej symetrii). Wykorzystuje się do tego źródło cezowe o znanej aktywności A. Umieszczając je w różnych położeniach (r i h) otrzymuje się punkty do których dopasować można krzywą doświadczalną funkcji $\epsilon(r, h)$, co z kolei pozwala obliczyć całkę w sposób numeryczny.

Schemat układu pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 1. Spektrometr scyntylacyjny składał się z kryształu NaI (scyntylator) i fotopowielacza (scyntylator użyty w doświadczeniu ma taką konstrukcję, że liczba emitowanych w nim fotonów jest proporcjonalna do wydzielonej w nim energii – pozwala to na pomiar liczby kwantów γ , oraz ich energii). Do cyfrowej analizy wyników używany był program COALA.



rys.1 Schemat układu pomiarowego.

Rejestracja kwantu γ przez scyntylator może następować poprzez dwa zjawiska – fotoelektryczne (cała energia kwantu jest rejestrowana) i zjawisko Comptona (tylko częściowa rejestracja). Fotony wydzielone w scyntylatorze, które trafią do fotopowielacza są wzmacniane. Sygnał ze spektrometru jest wzmacniany przez wzmacniacz, i digitalizowany przez przetwornik analogowo - cyfrowy. Umożliwia to jego cyfrową analizę.

Po uzyskaniu A_w dla grzybów wyznaczyć można ich masę potrzebną do uzyskania ALI (Annual Limit of Intake = rocznie granicznie wniknięcie)

Wyniki i wnioski

Kalibracja energetyczna spektrometru (na podstawie dopasowania widma Radu i Cezu)

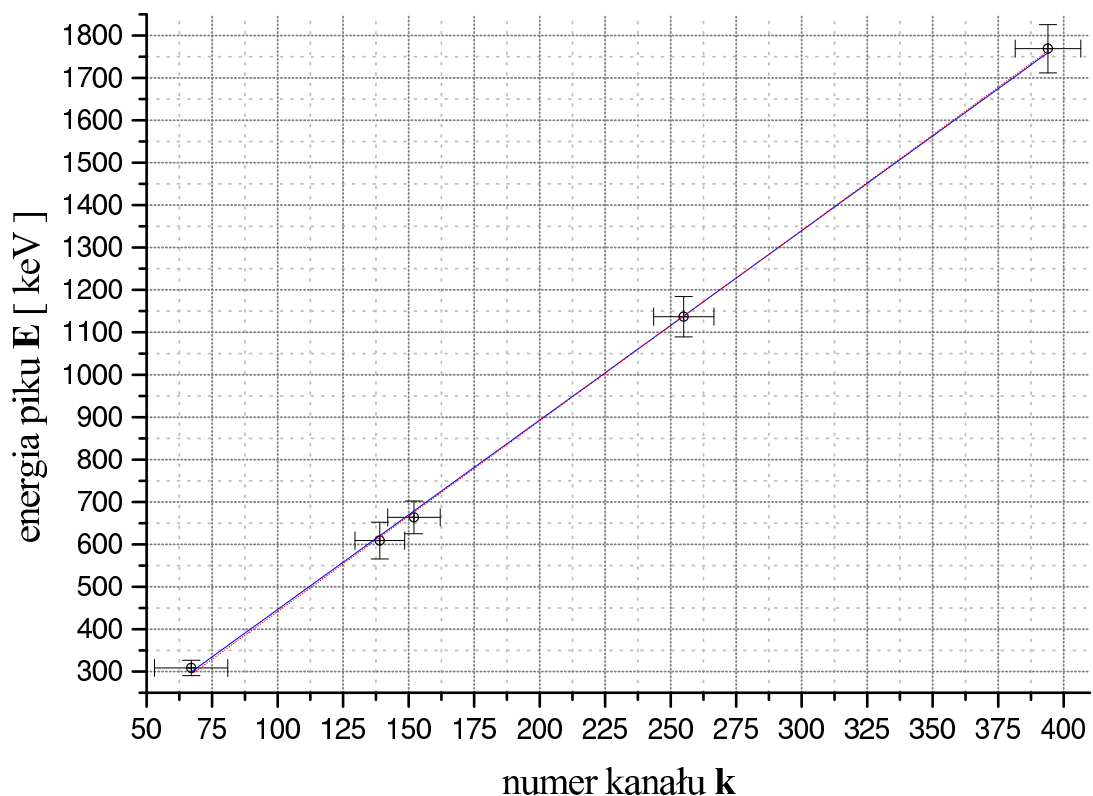
$$E = Ak + B$$

gdzie :

E - energia linii widma,

k - numer kanału w który „wpada” dana linia widma,

A,B – współczynniki proporcjonalności.



wyk.1 Kalibracja energetyczna spektrometru (dopasowania liniowej zależności $E(k)$)[•]

wartości współczynników dopasowanej prostej:

$A = 4,496 \pm 0,049 \text{ keV}$

$B = -10 \pm 11 \text{ keV}$

(czerwone kropki $\chi^2 = 157$)

oraz prostej typu:

$E = Ak$

$A = 4,466 \pm 0,023 \text{ keV}$

(niebieska linia $\chi^2 = 138$) – widać że jest to lepsze dopasowanie

Aktywność punktowego źródła cezowego była zmierzona 13.01.1988, i miała wartość 134 kBq. Czas połowicznego zaniku dla cezu wynosi 30,17 lat, należało więc wziąć poprawkę na aktywność tego źródła. Na dzień dzisiejszy wynosiła ona 96,48 kBq.

[•] Niepewności punktów na podstawie niepewności znalezienia maksimum pików podawanych przez program COALA w wersji dla Windows (dla k przy „ nie skalibrowanym ” widmie – intensywności w funkcji numeru kanału, dla energii pików na podstawie skalibrowanego automatycznie – intensywność w funkcji energii)

uzyskane widma:

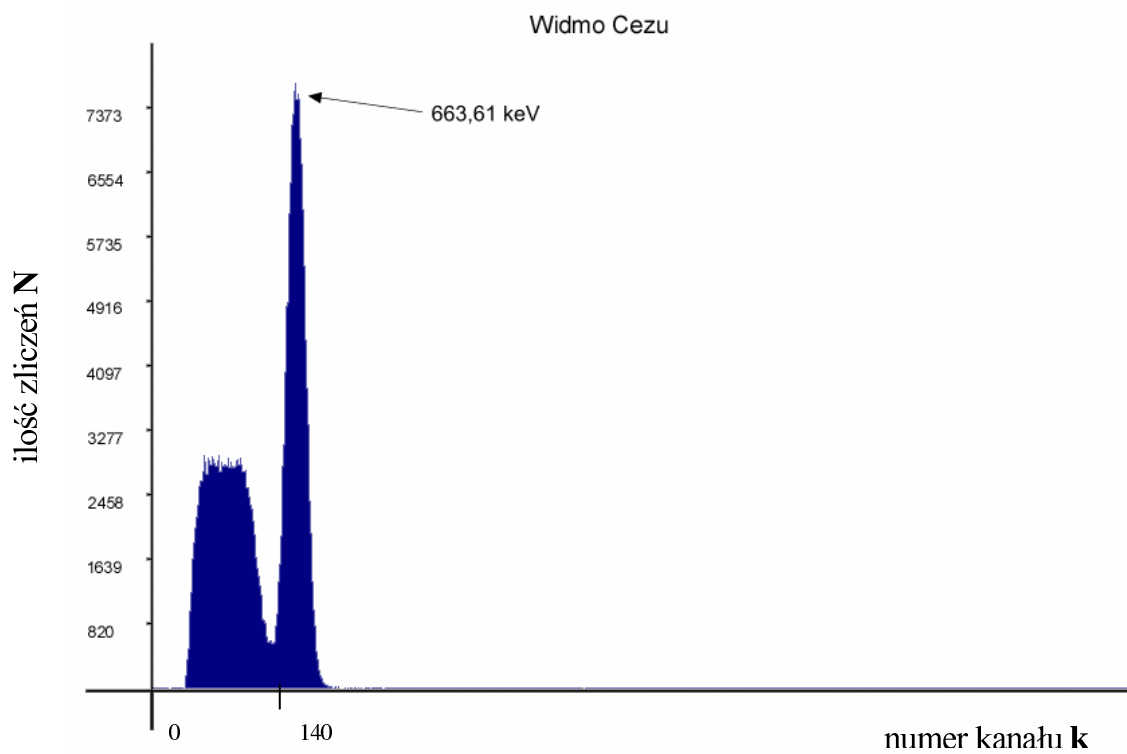
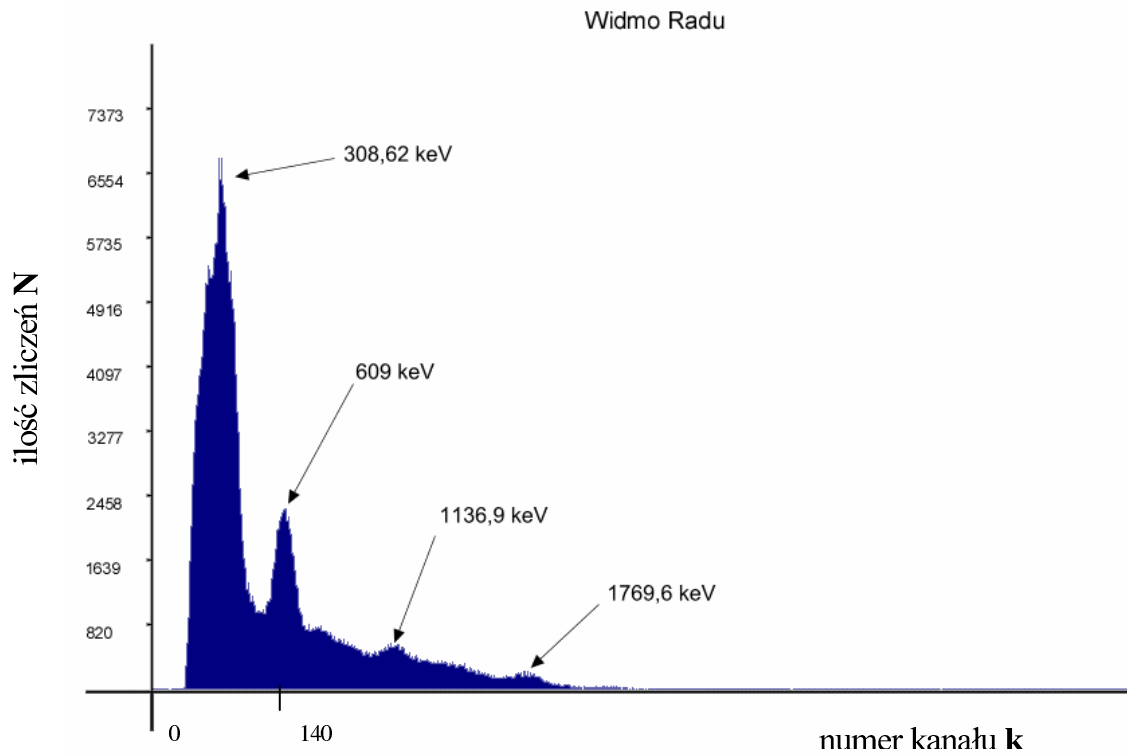
Radu - czas pomiaru 1025 s

Cezu - czas pomiaru 300 s

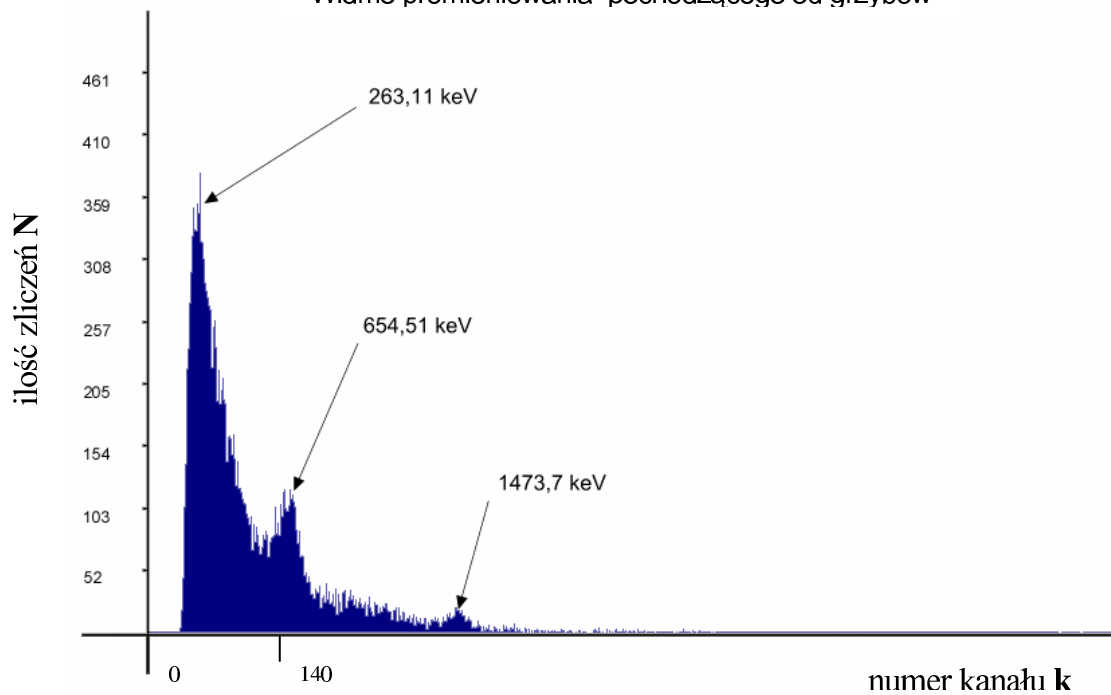
grzybów - czas pomiaru 900 s

tła - czas pomiaru 1160 s

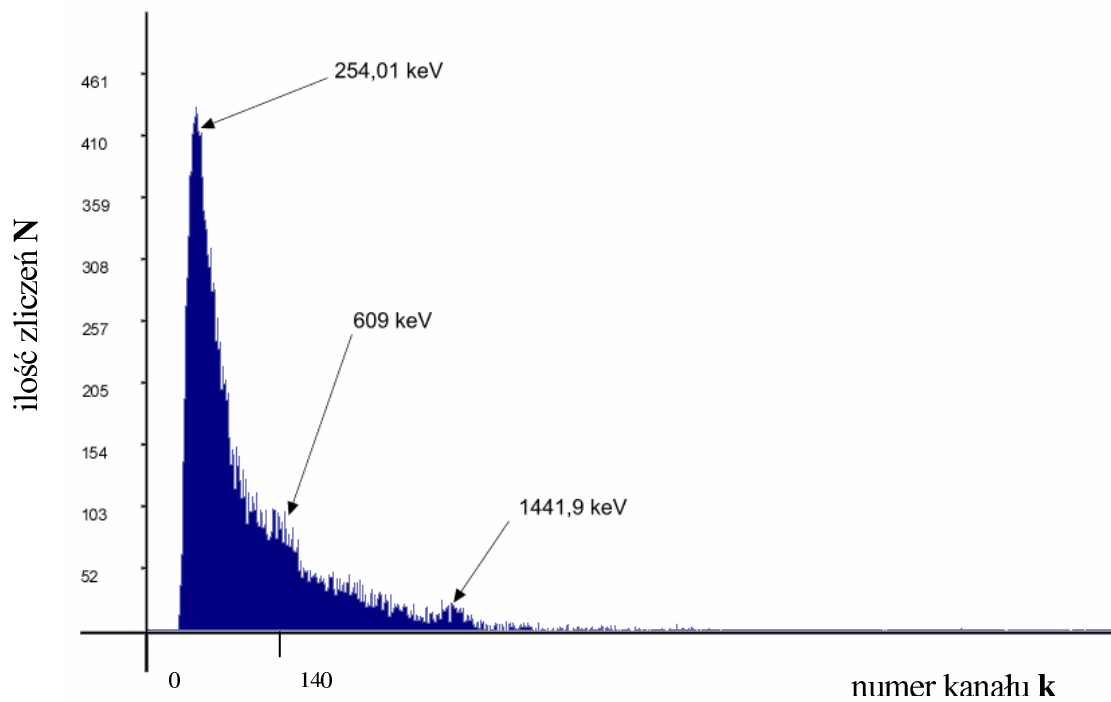
(Energie na wykresie, podane na podstawie kalibracji automatycznej programu COALA dla Windows na widmie Radu (I pik 609 keV, II pik 1765 keV))



Widmo promieniowania pochodzącego od grzybów



Widmo I^{137}



Intensywność linii Cezu w grzybach:

$I = 1,681 \pm 0,094$ zliczeń/s

Masa suszu grzybowego (odczytana z opakowania – błąd oszacowany na niecały 1 % wartości):

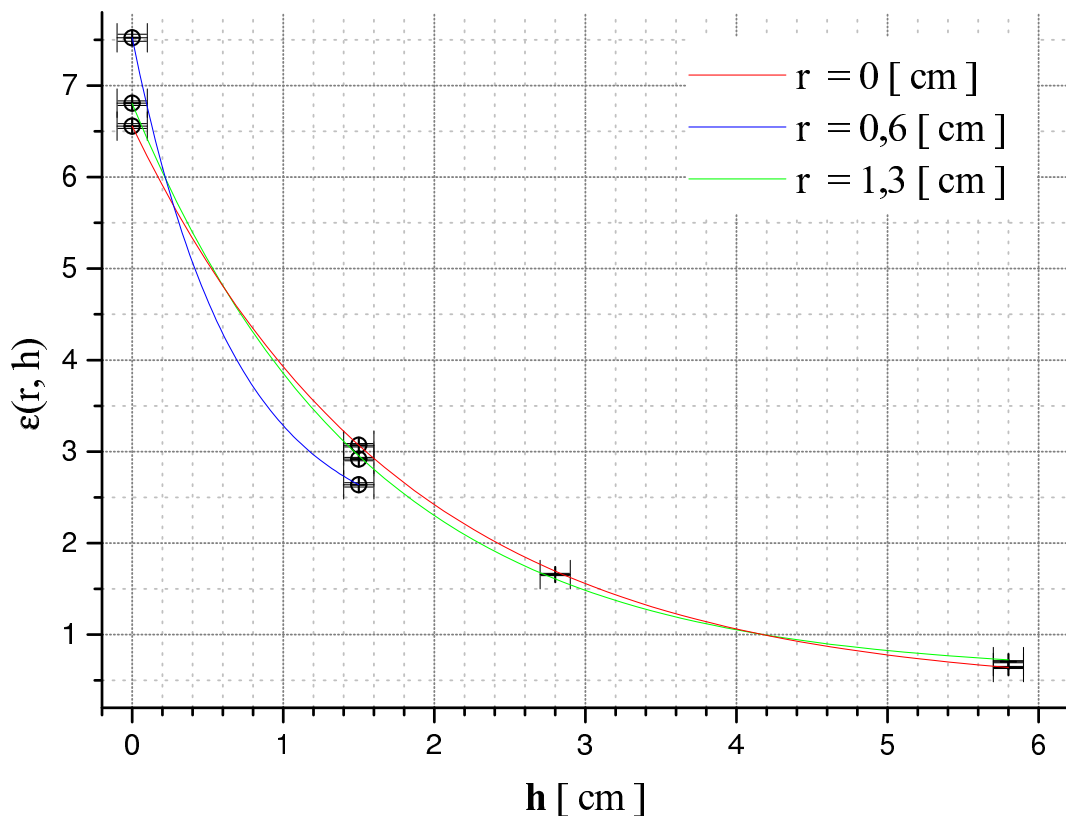
$$\underline{M = 66,3 \pm 0,5 \text{ g}}$$

Objętość próbki grzybów:

$$\underline{V = 128 \pm 60 \text{ cm}^3}$$

W celu znalezienia wydajności rejestracji ϵ , do zależności stosunku intensywności rejestracji, przez aktywność źródła cezowego, od wysokości nad scyntylatorem dopasowana została następująca funkcja:

$$y = y_0 + A \exp\left(-\frac{x - x_0}{B}\right)$$



wyk .2 wydajność rejestracji w funkcji wysokości nad scyntylatorem, dla różnych odległości od pionowej osi przechodzącej przez jego środek symetrii. ••

dla $r = 0 \pm 0,1 \text{ cm}$
 $y_0 = 0,573 \pm 0,079$
 $x_0 = 0,0 \pm 0,0$
 $A = 6,229 \pm 0,098$
 $B = 1,559 \pm 0,061$

•• błędy ϵ z propagacji małych błędów, z całki z $N(k)$ i aktywności źródła cezowego, czas mierzony bezbłądnie.

$$\begin{aligned} \text{dla } r &= 0,6 \pm 0,1 \text{ cm} \\ y_0 &= 2,05148 \pm 1,1 \times 10^{-142} \\ x_0 &= 0,0 \pm 0,0 \\ A &= 5,4705 \pm 1,1 \times 10^{-142} \\ B &= 0,67101 \pm 4,8 \times 10^{-143} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dla } r &= 1,3 \pm 0,1 \text{ cm} \\ y_0 &= 0,40 \pm 0,00 \\ x_0 &= 0,0 \pm 0,0 \\ A &= 6,2 \pm 0,0 \\ B &= 1,8 \pm 0,0 \end{aligned}$$

wiem że te wartości niepewności są zaskakujące, ale tak dobrze dopasowana została ta zależność funkcyjna (w ostatnim przypadku program podał 0 dla każdego współczynnika).

widać że wzór ten można uprościć do postaci:

$$y = y_0 + A \exp\left(-\frac{x}{B}\right)$$

Przy czym A zależy od jakiejś wyższej potęgi r (dla skrajnych wartości r wartości A są zbliżone, a dla pośredniej wartości r, A jest nieco mniejsze od brzegowych – nasuwa się zależność od parzystej potęgi, o dodatnim współczynniku - ramiona paraboli zwrócone do góry np. $A = ar^2 + br + c$), podobnie ma się rzecz z B(r).

Wydaje mi się jednak że takie wyniki zależą głównie od tego że dla r = 0,6 cm zostały zebrane tylko dwa pomiary

Po dopasowaniu do obu tych wielkości funkcji:

$$y = ax^2 + bx + c$$

(y – odpowiednio A lub B, x – r.)

dla A(r):

$$\begin{aligned} a_1 &= 2,37619 \pm 4,1 \times 10^{-7} \\ b_1 &= -2,9 \pm 0,0 \\ c_1 &= 1,55943 \pm 4,1 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

dla B(r):

$$\begin{aligned} a_2 &= 1,72987 \pm 3,8 \times 10^{-7} \\ b_2 &= -2,3 \pm 0,0 \\ c_2 &= 6,22882 \pm 3,8 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

Podobnie wygląda zależność y_0 od r (dla skrajnych wartości r wartości y_0 są zbliżone, a dla pośredniej wartości r, y_0 jest nieco większe od brzegowych – dobra wydaje się zależność od parzystej potęgi, o ujemnym współczynniku - ramiona paraboli zwrócone w dół).

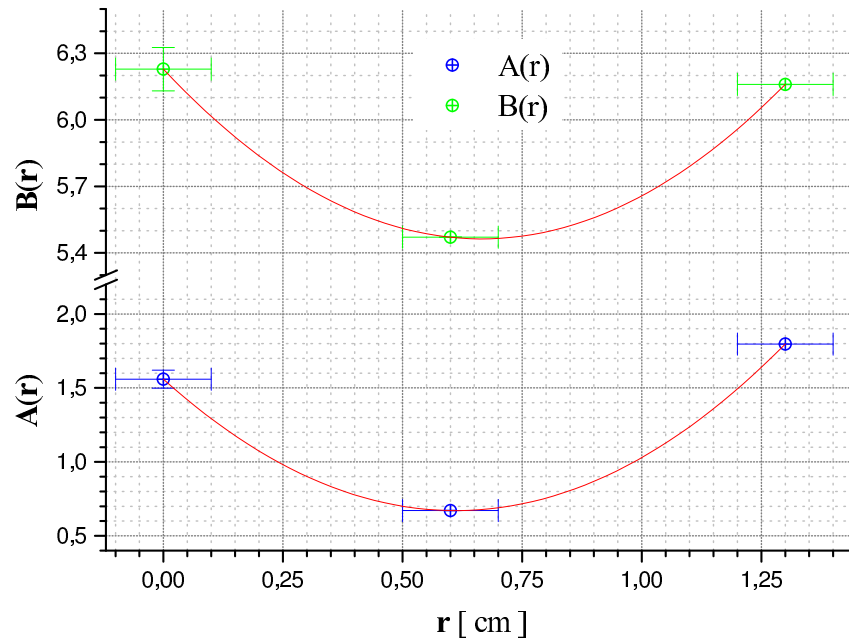
Tutaj też należało by się zastanowić nad ilością dokonanych pomiarów.

Po dopasowaniu takiego samego wielomianu jak powyżej:
dla $y_0(r)$:

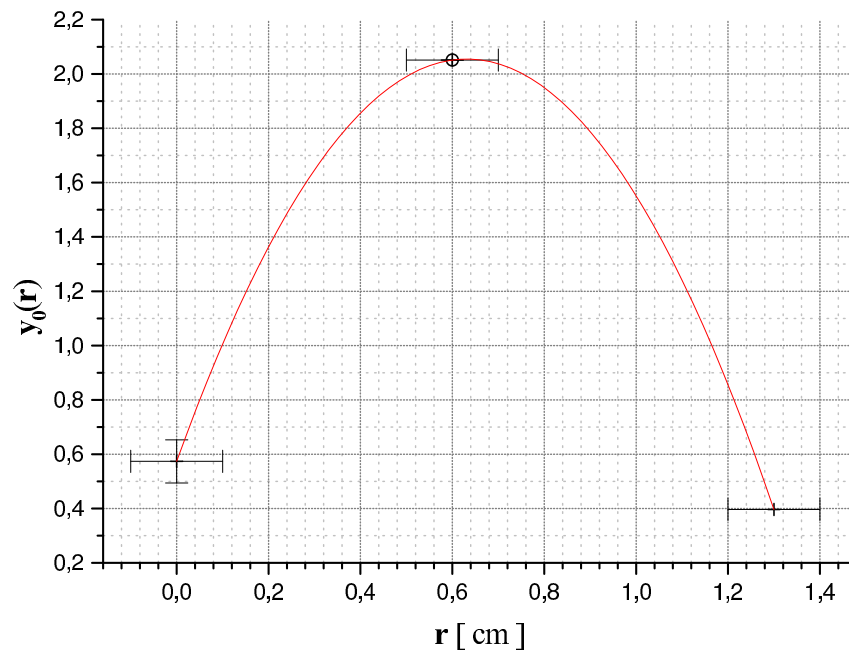
$$a_3 = -3,71342 \pm 1,3 \times 10^{-15}$$

$$b_3 = 4,69147 \pm 0,0 \pm 4,1 \times 10^{-15}$$

$$c_3 = 0,57 \pm 0,00$$



wyk.3 Zależność współczynników A,B zależności $\epsilon(h)$ od r.



wyk.4 Zależność współczynnika y_0 zależności $\epsilon(h)$ od r. ●●●

●●● Części błędów na obu wykresach nie można zaznaczyć, bo są zerowe albo rzędu 10^{-142}

Ostatecznie $\varepsilon(h,r)$ ma postać:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= (a_3 r^2 + b_3 r + c_3) + (a_1 r^2 + b_1 r + c_1) \exp\left(-\frac{h}{(a_2 r^2 + b_2 r + c_2)}\right) = \\ &= \left(a_3 + a_1 \exp\left(-\frac{h}{(a_2 r^2 + b_2 r + c_2)}\right) \right) r^2 + \left(b_3 + b_1 \exp\left(-\frac{h}{(a_2 r^2 + b_2 r + c_2)}\right) \right) r + \\ &+ \left(c_3 + c_1 \exp\left(-\frac{h}{(a_2 r^2 + b_2 r + c_2)}\right) \right) \end{aligned}$$

Co po scałkowaniu daje:

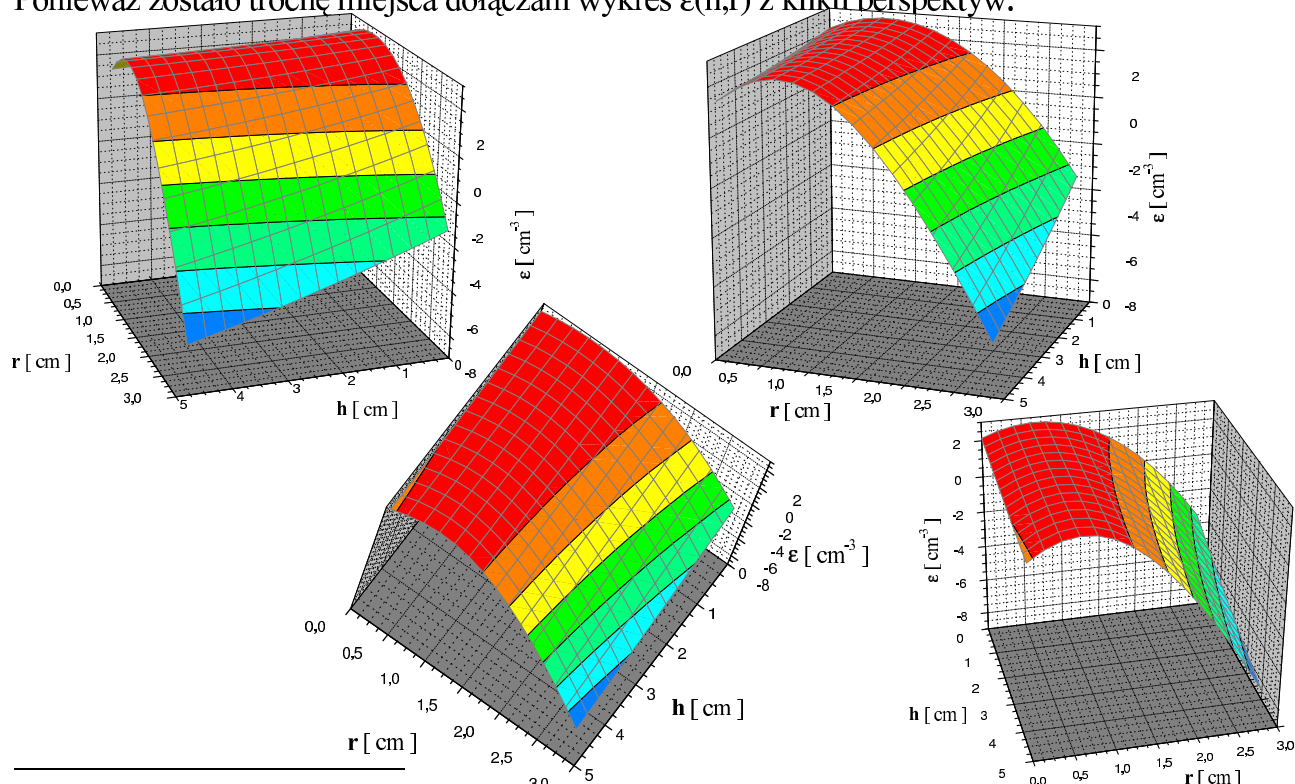
$\int_V \varepsilon = 16,07 \pm 0,78 \text{ cm}^3$ (całka po r i h daje rzeczywiście $2,55 \pm 0,12$ ale należy jeszcze scałkować po kącie czyli pomnożyć przez 2π)

Czyli $A_w = 202 \pm 62 \text{ kBq/kg}$ ****

Aby przekroczyć ALI należałoby zjeść około 19,8 kg suszu czyli około 594 kg „mokrych” grzybów. Co dla 0,02 ALI stanowi odpowiednio ok. 400 g suszu oraz ok. 12 kg „mokrych” grzybów.

Nie ma więc najmniejszych powodów, aby należało się przejmować szkodliwością promieniowania grzybów. Bardziej niebezpieczne i prawdopodobne jest zatrucie grzybami niejadalnymi, lub problemy z wątrobą po zjedzeniu zbyt dużej ilości grzybów jadalnych..

Ponieważ zostało trochę miejsca dołączam wykres $\varepsilon(h,r)$ z kilku perspektyw.



**** poprzednio licząc zapomniałem pomnożyć przez 1000 (kBq, a nie Bq, i stąd główny błąd), a w objętości, przy okazji dzielenia średnic, na pół, podzieliłem również i wysokość - stąd rozbieżności. Całka została też przeze mnie dokładniej obliczona nie dla macierzy elementów płaszczyzny (h, r) 32×32, ale 640×640