

# Doświadczenie J14: Pomiar zasięgu, rozrzutu zasięgu i zdolności hamującej cząstek alfa w powietrzu

KACPER CYBIŃSKI<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics, University of Warsaw, Pasteura 5, 02-093 Warsaw, Poland  
(Dated: 6 lipca 2022)

Przedmiotem doświadczenia były pomiary zachowania cząstek alfa w powietrzu: zasięgu, rozrzutu zasięgu (straggling) i zdolności hamującej. W wyniku analizy danych uzyskano szukane zależności, oraz przedstawiono rozważania na temat uzyskanych wyników. Wyznaczono średni zasięg i rozrzut cząstek  $\alpha$  w powietrzu jako odpowiednio  $\bar{R} = 3.253 \pm 0.002$  cm i  $\sigma_r = (8.649 \pm 0.004) \cdot 10^{-2}$  cm.

## I. WSTĘP

Omawiane w tym raporcie doświadczenie ma za zadanie wprowadzić studenta w tematykę badania zachowania naładowanych cząstek w materiałach, oraz pokazanie czego można się dowiedzieć o naturze cząstki, oraz świata w którym wchodzi w interakcję z obserwacji pomiarów. W tym przypadku badaną cząstką jest  $\alpha$ , wchodząca w interakcję z powietrzem. Z tego rodzaju interakcji można wyciągnąć w szczególności trzy interesujące nas wielkości, jakimi są zasięg cząstki w powietrzu, rozrzut zasięgu, oraz zdolność hamująca.

## II. WSTĘP TEORETYCZNY

Ciężkie naładowane cząstki, do których zaliczamy cząstki  $\alpha$  przechodząc przez ośrodek tracą energię głównie w wyniku zderzeń z elektronami ośrodka przez który podróżują, gdyż w wyniku tych zderzeń cząstki się jonizują i tracą małą porcję energii. Mimo, że strata w wyniku jednego zderzenia jest niewielka, to po złożeniu wielu zderzeń następujących po sobie sumaryczna strata energii może być znaczna. W szczególności po odpowiednio dużej ilości zderzeń cząstka może zostać w pełni zatrzymana, a odległość po jakiej to nastąpiło nazwiemy właśnie **zasięgiem**  $R$  cząstki. Teoretycznie wydawać by się mogło, że podczas emisji takich samych cząstek o takiej samej energii ich zasięg powinien być taki sam, lecz ze względu na losową naturę zderzeń, które zabierają energię z cząstki, ten zasięg podlega pewnemu **rozrzutowi**  $\sigma_r$ . Jakkolwiek wielkość  $R$  podlega pewnemu rozkładowi, to z dużo większą dokładnością jesteśmy w stanie określić odległość po jakiej wiązka cząstek jest osłabiana o połowę, więc to wydaje się być lepszym pomysłem na definicję zasięgu. Dla rozróżnienia oznaczmy go  $\bar{R}$  i nazwiemy **zasięgiem średnim**. Ostatnia z wielkości, jakie bierzemy na warsztat to zdolność hamująca. Jest ona zdefiniowana jako strata energii na jednostkę długości:  $S(E) = -dE/dx$  i w ogólnym przypadku jest dla ciężkich cząstek naładowanych opisywana wzorem Bethgo-Blocha. Najbardziej ogólną jego postać można znaleźć w podręczniku A.Strzałkowskiego [1], zaś w warunkach naszych cząstek  $\alpha$ , które lecą z prędkością

nierelatywistyczną i po uproszczeniach wzór ten ma postać:

$$-\frac{dE}{dx} = \kappa \frac{\rho z^2 m c^2}{2E} \frac{Z}{A} \log \frac{4m_e c^2 E}{I m c^2} \quad (1)$$

Gdzie  $\kappa = 0.307$  MeV cm<sup>2</sup>/g jest wielkością grupującą stałe z oryginalnego wzoru,  $\rho$  - gęstość ośrodka,  $z$  - ładunek cząstki,  $m$  - masa cząstki,  $m_e$  - masa elektronu. Człon  $\frac{Z}{A}$  przedstawia stosunek liczby masowej pierwiastka z którego składa się ośrodek, do liczby atomowej. Jako, że powietrze jest mieszaniną przede wszystkim trzech gazów - Azotu, Tlenu i Argonu, to licząc ten ułamek wzięto wyniki dzielenia dla tych trzech pierwiastków, z wagami odpowiadającymi procentowej ich zawartości w powietrzu, tj odpowiednio 78.080% N<sub>2</sub>, 20.950% O<sub>2</sub>, 0.9340% Ar.

Narysowawszy wykres straty energii w funkcji przebytej drogi widać, że straty energii rosną i osiągają maksimum dla końca toru lotu cząstki, a następnie szybko maleją w wyniku dominacji ekranowania ładunku cząstki przez wychwycone elektrony.

## III. UKŁAD POMIAROWY

Układ pomiarowy wykorzystywany w tym doświadczeniu jest widoczny na Rys. 1. Jest to zintegrowany układ firmy ORTEC, model Alpha Aria na który składa się szczelna komora testowa z zamontowaną w środku próbką <sup>241</sup>Am, która emituje cząstki  $\alpha$ , odległego od próbki o 39.5 mm półprzewodnikowego detektora krzemowego, serii zaworów i pompy do manipulowania ciśnieniem powietrza w komorze, oraz ciśnieniomierza. Sygnał wychodzący z detektora był przekazywany do przedwzmacniacza, a następnie poprzez wzmacniacz liniowy i wielokanałowy analizator amplitudy kierowany do komputera, który zapisywał zliczenia cząstek na detektorze dla poszczególnych 4096 kanałów. Dokładna zasada działania poszczególnych elementów jest opisana a Instrukcji do doświadczenia [2]. Kanały analizatora odpowiadały różnym energiom padających cząstek  $\alpha$ , co podlegało kalibracji poprzez zmapowanie numerów kanałów do energii emitowanej przez źródło o dobrze znanej energii jakim był pulser o energii 5.276 MeV.

Jak widać po opisie układu doświadczalnego, zamiast wyznaczania szukanych zachowań cząstki  $\alpha$  dla różnych oddaleń próbki od detektora postanowiono emulować różne grubości warstwy powietrza poprzez modulację ciśnienia, tj ilości cząstek powietrza na objętość, przy stałej odległości. Jako, że odległość z ciśnieniem wiąże się linowo, to jest to bardzo naturalna zmiana w założeniach doświadczenia. Funkcję kalibracyjną tutaj dopasowywano na podstawie

\* e-mail: k.cybinski@student.uw.edu.pl

następujących trzech informacji: a) odległość do detektora w ciśnieniu atmosferycznym 1023 hPa wynosi 39.5 mm b) w czasie wykonywania pomiarów rzeczywiste ciśnienie atmosferyczne wynosiło 1004.9 hPa c) minimalne uzyskiwane ciśnienie w komorze to 0.004 mBa.

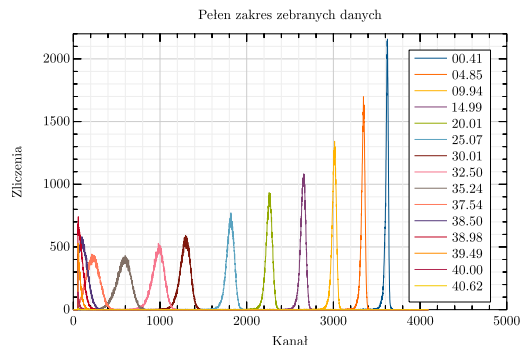


Rysunek 1: Zdjęcie przedstawiające układ doświadczalny [3]

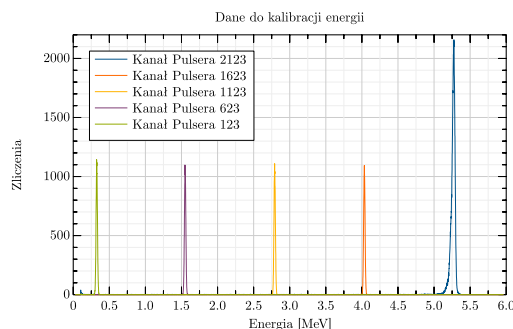
#### IV. ANALIZA I OMÓWIENIE WYNIKÓW

W toku doświadczenia dokonano kilkunastu pomiarów dla różnych wartości ciśnienia w komorze, co jest widoczne na Rys. 2. Każdy z pomiarów miał charakter widma energetycznego, zaś ciśnienie mierzone było poprzez wartość napięcia na woltomierzu podłączonym do barometru. Zmierzono wartości napięcia dla ciśnienia maksymalnego i minimalnego, a następnie dopasowano do tych pomiarów funkcję liniową, która służyła do przeliczania napięć na ciśnienia w barach, a te dalej na grubości warstwy absorbenta. Zliczenia w kanałach były za to przeliczane na energię cząstek zgodnie z procedurą opisaną wcześniej. Dane użyte do kalibracji energii widoczne są na Rys. 3. Surowe dane z Rys. 2 zostały następnie przetłumaczone na wartości, które nas docelowo interesują: energię i grubość absorbenta w cm. Zostało to przedstawione na Rys. 4.

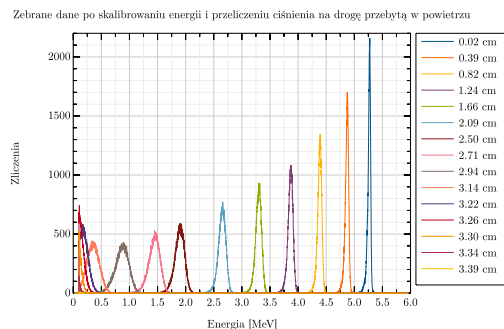
Idąc za wskazaniem [4] do danych widocznych na Rys. 4 dopasowywano rozkład Gaussa. Następnie wartości całkowitych liczb zliczeń w funkcji grubości absorbenta nam dają krzywą absorpcji, z której jesteśmy w stanie odczytać średni zasięg jako  $\bar{R} = 3.253 \pm 0.002 \text{ cm}$  i rozrzut zasięgu jako  $\sigma_r = (8.649 \pm 0.004) \cdot 10^{-2} \text{ cm}$ , co jest wartościami zgodnymi z oczekiwaniami co do rzędu wielkości opartymi o wyniki zaprezentowane w publikacji [4]. Wykres przedstawiający krzywą absorpcji i wynikającą z niej pochodną



Rysunek 2: Wykres przedstawiający wszystkie zarejestrowane widma wraz z napięciami - ciśnieniami dla których zostały zarejestrowane.

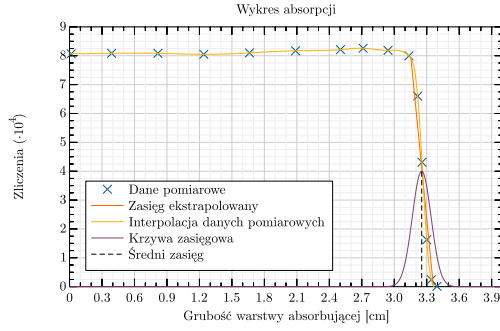


Rysunek 3: Wykres przedstawiający widma zarejestrowane do kalibracji korelacji numer kanału - energia

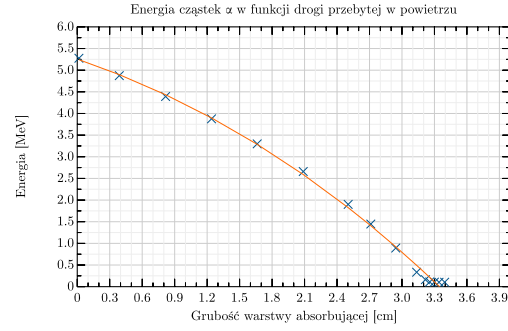


Rysunek 4: Wykres przedstawiający wszystkie zarejestrowane widma docelowych jednostkach.

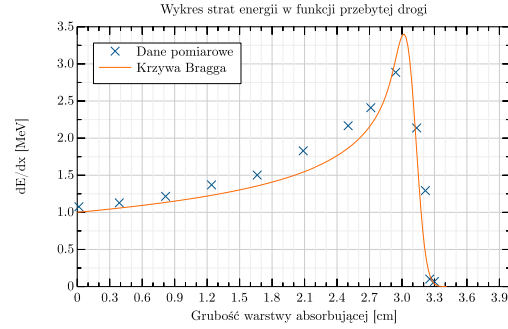
- krzywą liczbowo-zasięgową widoczny jest na Rys. 5.



Rysunek 5: Wykres przedstawiający krzywą absorpcji wraz z zaznaczonym średnim zasięgiem  $\bar{R}$  i krzywą zmiany liczby zliczeń w postaci funkcji Gaussowskiej o wartości oczekiwanej  $\bar{R}$  i wariancji  $\sigma_r$ .



Rysunek 6: Wykres przedstawiający energię cząstek  $\alpha$  w funkcji grubości absorbenta.



Rysunek 7: Wykres przedstawiający siłę hamującą w funkcji grubości absorbenta.

Kolejną szukaną charakterystyką była energia cząstki w zależności od grubości absorbenta. Wykres ten uzyskano poprzez naniesienie wartości oczekiwanych widocznych na Rys. 4 na odpowiadające im grubości absorbentów. Uzyskanie tych danych jest niezbędnym krokiem do wyznaczenia zdolności hamującej  $-dE/dx$  w funkcji grubości absorbenta, ponieważ dla naszych dyskretnych danych pomiarowych wartość tych strat energii była wyliczana jako  $-dE/dx = -\Delta E/\Delta x$  gdzie pod  $\Delta E$  rozumiemy różnicę energii dla dwóch kolejnych punktów pomiarowych, czy odpowiednio  $\Delta x$  różnicę grubości. Dane te są widoczne na Rys. 7. Widać jednoznacznie, że dane pomiarowe odpowiadające zdolności hamującej układają się w kształt przewidywany teoretycznie, tj. rosną do pewnego maksimum po to, a następnie gwałtownie spaść.

## V. PODSUMOWANIE

W warunkach laboratorium w zasięgu studenta można było wyznaczyć ważne charakterystyki dla ciężkiej cząstki naładowanej w powietrzu, jaką jest cząstka  $\alpha$ . Przeprowadzono serię pomiarów, które następnie wykalibrowano, dopasowano do nich funkcje i w efekcie uzyskano pożądane zależności. Udało się wyznaczyć krzywą absorpcji cząstek  $\alpha$  w powietrzu, zależność energii cząstki od grubości absorbenta, oraz zdolność hamującą w funkcji grubości absorbenta. Wyznaczono również średni zasięg i rozrzut cząstek  $\alpha$  w powietrzu jako odpowiednio  $\bar{R} = 3.253 \pm 0.002 \text{ cm}$  i  $\sigma_r = (8.649 \pm 0.004) \cdot 10^{-2} \text{ cm}$ .

[1] *Wstęp do fizyki jądra atomowego* - A. Strzałkowski

[2] *Instrukcja do doświadczenia*

[3] *Strona Pracowni dla Zaawansowanych*

[4] P. Ouseph, A. Mostovych *Am. J. Phys.*, Vol. 46, No.7 (1978), dostęp 05.07.2022