ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 117 Energetyka z. 16 1964

WŁADYSŁAW ŁUKASZEK
Katedra Matematyki D

DEFINICJE I NAZWY POJĘĆ ZWIĄZANE Z OPISEM POLA PROMIENIOWANIA JĄDROWEGO

Streszczenie: W artykule opisuje się pole promieniowania jądrowego. Pojęcia związane z opisem wprowadzane są stopniowo i podawane są ich definicje. Ponieważ w dziedzinie pomiarów pola promieniowania jądrowego nie ustalono do tej pory terminologii w języku polskim, autor podaje w artykule propozycje racjonalnej nomenklatury. Pod tym względem artykuł niniejszy winien być potraktowany jako artykuł polemiczny.

1. WSTĘP

W artykule niniejszym podjęta została próba uporządkowania i zaproponowania właściwej terminologii związanej z matematycznym opisem pola promieniowania jądrowego. Intencja autora polegała na tym, aby wprowadzona terminologia, przy spełnieniu postulatów ścisłości i jednoznaczności była zrozumiała zarówno dla teoretyków jak również dla praktyków. W szczególności autor miał na uwadze wymagania, jakie w zakresie terminologii stawiają zagadnienia osłaniania przed promieniowaniem jądrowym.

Podjętą próbę uzasadniają następujące przyczyny:

W języku polskim brak jest książki poświęconej wyłącznie matematycznemu opisowi pola promieniowania jądrowego. (Informacja z dnia 5. 12. 1963 r. udzielona przez "Ośrodek Informacji Naukowej Technicznej i Ekonomicznej"). Nieliczne tłumaczenia literatury naukowej na język polski stosują terminologię niekompletną, która ogranicza się w zasadzie do takich wyrazów jak strumień, prąd i widmo promieniowania, podawanych często bez dokładnej definicji. W ścisłym związku z tłumaczeniami pozostaje obawa przenikania synonimów do literatury naukowej w języku polskim. Przykładem może być np.

zastosowanie terminów prąd [1] i natężenie prądu [2] w dwóch różnych pozycjach wydawniczych (tłumaczenia) do określenia tej samej wielkości fizycznej. Wprowadzaniu synonimów sprzyja fakt, że w literaturze obcej obok ścisłej terminologii występuje terminologia uproszczona [3], [4], wygodniejsza w pisowni.

W wyniku opisanej sytuacji, nasuwają się następujące uwagi:

Rozwój wiedzy o zagadnieniach jądrowych wymaga uporządkowania i ujednolicenia właściwej terminologii w wielu dziedzinach. Próby dokonania tych czynności rokują lepsze wyniki im wcześniej zostaną podjęte. Ostatecznym rezultatem tych prób może być opracowanie obowiązującego słownika wyrazów stosowanych w zagadnieniach jądrowych. Słownik taki obok definicji omawianego pojęcia powinien podawać terminologię w kilku językach. W ten sposób należy oczekiwać, że uniknie się wprowadzania synonimów oraz ułatwi się studiowanie literatury krajowej i obcej.

Terminologia proponowana, dotycząca pojęć zdefiniowanych i rozważonych w niniejszym artykule została w tekście podkreślona. Jeżeli pojęcia, których dotyczy ta terminologia stosowane są w literaturze, wówczas podaje się nawiasy ukośne zawierające liczby porządkowe w tablicy 1, podanej na końcu artykułu można odszukać terminologię stosowaną w języku angielskim lub rosyjskim. Dla skrócenia tablicy 1 uwidoczniono w niej jedynie terminologię ścisłą, natomiast terminologia uproszczona została pominięta.

Ponieważ terminologia stosowana dotąd w języku polskim jest niekompletna i nieuporządkowana, więc w tablicy 1 nie została ona uwzględniona.

2. POLE PROMIENIOWANIA I JEGO OPIS

Pole promieniowania /1/ jest to przestrzeń, w której ujawnia się oddziaływanie promieniowania na detektory. Poniżej omawiać się będzie pola promieniowania jądrowego. Dla uproszczenia rozważań zakłada się, że aktualnie rozpatrywane promieniowanie dotyczy określonego rodzaju cząstek elementarnych, którymi mogą być np. fotony lub neutrony.

Opisać pole promieniowania znaczy, podać ile cząstek, z jaką energią (lub prędkością) i w jakim kierunku przechodzi przez każdy punkt pola w jednostce czasu. W tym celu wprowadza się funkcję $N(\vec{r}, E, \Omega)$ zwaną funkcją rozkładu gesto-

ści strumienia cząstek wg energii i kierunków /2/. Funkcja $N(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$ posiada w układzie CGS wymiar $cm^{-2} sek^{-1} erg^{-1}$ $(St\ rad)^{-1}$. Argumentami tej funkcji są:

$\vec{r}$ - wektor punktu bieżącego pola; $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$,

E - energia cząstki, erg,

$\vec{\Omega}$ - wektor jednostkowy, którego współrzędne są funkcjami kątów ψ i ϑ mianowicie:

$$\vec{\Omega} = \cos\psi \sin\vartheta \vec{i} + \sin\psi \sin\vartheta \vec{j} + \cos\vartheta \vec{k}$$

Jeżeli rozważać się będzie niestacjonarne pole promieniowania jako argument funkcji należy ponadto wprowadzić czas.

Znaczenie funkcji $N(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$ staje się lepiej zrozumiałe jeżeli weźmie się pod uwagę wielkość zwaną różniczkową gestością strumienia cząstek wg energii i kierunków:

$$N(\vec{r}, E, \vec{\Omega})\, d\Omega\, dE,\ cm^{-2} sek^{-1} \qquad (1)$$

gdzie:

Ω - skalar określający kąt bryłowy w stereoradianach; elementarny kąt bryłowy wyznaczony jest związkiem

$$d\Omega = \sin\vartheta\, d\vartheta\, d\psi$$

Wielkość (1) oznacza, że po ulokowaniu w punkcie $\vec{r}$ pola, powierzchni jednostkowej o normalnej $\vec{\Omega}$, zlicza się w jednostce czasu cząstki które:

a) przecinają rozpatrywaną powierzchnię jednostkową,

b) posiadają energie należące do przedziału od E do E + + dE,

c) posiadają prędkości, których wektory nie odchylają się więcej od wektora $\vec{\Omega}$ aniżeli pozwala na to wybrany elementarny kąt bryłowy $d\Omega$.

Rysunek nr 1 stanowi próbę wyjaśnienia znaczenia wyrażenia (1).

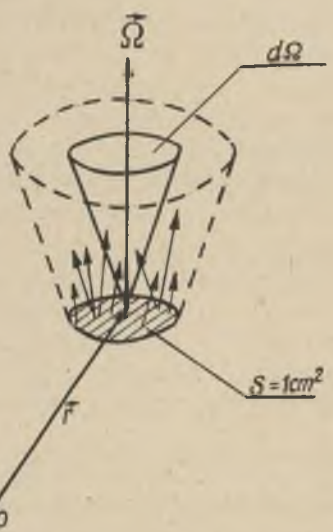
Dla opisu pola promieniowania wprowadza się ponadto funkcję $I(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$ zwaną funkcją rozkładu gestości strumienia energii wg energii i kierunków /3/, która związana jest z funkcją rozkładu gęstości strumienia cząstek wg energii i kierunków, przy pomocy zależności:

$$I(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) = E\, N(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) \qquad (2)$$

i posiada w układzie CGS wymiar $cm^{-2} sek^{-1} (St\ rad)^{-1}$. Wielkość

$$I(\vec{r}, E, \vec{\Omega})\, d\Omega\, dE, \ erg\ cm^{-2} sek^{-1} \qquad (3)$$

określa energię przenoszoną przez cząstki opisane wyrażeniem (1) i może być nazwana różniczkowa gestościa strumienia energii wg energii i kierunków.



Rys. 1. Ilustracja wyrażenia $N(\vec{r}, E, \Omega) d\Omega\, dE$. Pokazane zostały wektory prędkości cząstek przecinających powierzchnię S

W obliczeniach związanych z zagadnieniami promieniowania jądrowego (fizyka reaktorów, detekcja promieniowania, osłanianie) podstawowe znaczenie posiadają dwie wielkości fizyczne a mianowicie: gęstość strumienia cząstek oraz gęstość prądu cząstek do omówienia których przystąpi się poniżej.

3. MATEMATYCZNY OPIS STRUMIENIA CZĄSTEK

W celu określenia strumienia cząstek w pewnym punkcie $\bar{r}$ pola najwygodniej będzie wprowadzić pojęcie funkcji rozkładu gęstości strumienia cząstek wg energii /4/, określoną przy pomocy całki:

$$N_o(\bar{r}, E) = \int_{4\pi} N(\bar{r}, E, \bar{\Omega})d\Omega, \quad cm^{-2}sek^{-1}erg^{-1} \tag{4}$$

Wyrażenie:

$$d\varphi_N(\bar{r}) = N_o(\bar{r}, E)dE, \quad cm^{-2}sek^{-1}$$

w sytuacji przedstawionej na rys.1 może być wymierzane liczbą cząstek których energie należą do przedziału od E do E + + dE, przy uwzględnieniu wszelkich możliwych położeń powierzchni jednostkowej. Postulat ten odpowiada przyjęciu we wzorze (4) przedziału całkowania w granicach od 0 do 4π stereoradianów.

Gęstość strumienia cząstek /5/ w punkcie $\bar{r}$ może być przedstawiona wzorem:

$$\varphi_N(\bar{r}) = \int_{(E)} N_o(\bar{r}, E)dE, \quad cm^{-2}sek^{-1} \tag{5}$$

przy czym całkowanie rozciągnięte jest na wszystkie energie cząstek.

Jeżeli w polu promieniowania rozważa się ponadto pewną powierzchnię S, to całka powierzchniowa:

$$\Phi_N = \int_{(S)} \varphi_N(\vec{r})\, dS, \quad sek^{-1} \tag{6}$$

określa pełną liczbę cząstek przechodzących w jednostce czasu przez powierzchnię S, niezależnie od kierunku padających cząstek. Całka (6) wyznacza zatem <u>strumień cząstek</u> przez rozważaną powierzchnię.

4. MATEMATYCZNY OPIS STRUMIENIA ENERGII

Ze względu na wyrażenie (2) określające związek pomiędzy funkcjami $N(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$ i $I(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$, odpowiednio do rozważań ustępu 3, można wprowadzić pojęcia:

1. <u>Funkcji rozkładu gęstości strumienia energii wg energii</u> /6/

$$I_o(\vec{r}, E) = E\, N_o(\vec{r}, E), \quad cm^{-2} sek^{-1} \tag{4a}$$

2. <u>Gęstości strumienia energii</u> /7/

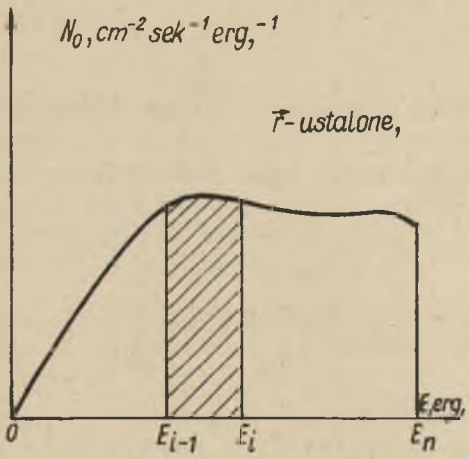
$$\varphi_E(\vec{r}) = \int_{(E)} I_o(\vec{r}, E)\, dE, \quad erg\ cm^{-2} sek^{-1} \tag{5a}$$

3. <u>Strumienia energii</u>

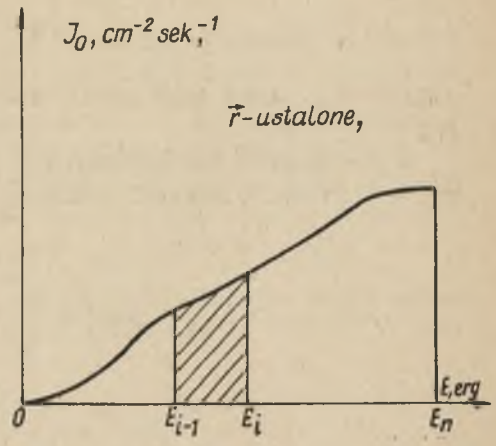
$$\Phi_E = \int_{(S)} \varphi_E(\vec{r}) dS, \quad erg\ sek^{-1} \tag{6a}$$

5. ROZKŁAD GĘSTOŚCI STRUMIENIA CZĄSTEK I ROZKŁAD GĘSTOŚCI STRUMIENIA ENERGII

Jeżeli w wyrażeniach (4) i (4a) ustali się punkt pola promieniowania, to funkcje N_o i I_o można przedstawić wykreślnie w interesującym przedziale energii, np. od 0 do E_n (rys. 2 i 3). Wykresy funkcji N_o oraz I_o (względnie wykresy funkcji typu aN_o oraz aI_o, gdzie a współczynnik liczbowy lub funkcyjny) w odróżnieniu od ich analitycznych postaci wygodnie jest nazywać odpowiednio <u>rozkładem gęstości strumienia cząstek</u> /8/ i <u>rozkładem gęstości strumienia energii</u> /9/.



Rys.2. Rozkład gęstości strumienia cząstek



Rys.3. Rozkład gęstości strumienia energii

W praktycznych zagadnieniach funkcje N_o i I_o zwykle nie są znane, zatem całkowanie wyrażeń (5) i (5a) nie wchodzi w rachubę z wyjątkiem teoretycznych przypadków. Wykresy w rodzaju przedstawionych na rys. 2 i rys. 3 mogą być uzyskane w drodze odpowiednich pomiarów.

Rozkłady gęstości strumienia cząstek i strumienia energii, pozwalają wyznaczyć gęstość strumienia cząstek oraz gęstość strumienia energii; w zasadzie wystarczającym do tego celu jest rozkład gęstości strumienia cząstek. Łatwo bo-

wiem stwierdzić, że drogą planimetrowania pod krzywą z rys. 2, w przedziale energii od E_{i-1} do E_i uzyskuje się gęstość strumienia cząstek - dla rozpatrywanego przedziału energii - równą:

$$\varphi_N(\vec{r})\Big|_i = \int_{E_{i-1}}^{E_i} N_o(\vec{r}, E)\, dE \qquad (7)$$

Gęstość strumienia energii dla tego samego przedziału wyrazi się w przybliżeniu:

$$\varphi_E(\vec{r})\Big|_i \approx E_i \;\; \varphi_N(\vec{r})\Big|_i$$

gdzie E_i jest wartością energii wybraną z i-tego przedziału.

W przypadku korzystania z wykresu na rys. 3 uzyskuje się wprost przez planimetrowanie:

$$\varphi_E(\vec{r})\Big|_i = \int_{E_{i-1}}^{E_i} I_o(\vec{r}, E)\, dE \qquad (8)$$

6. MATEMATYCZNY OPIS PRADU CZĄSTEK

Funkcja wektorowa rozkładu gęstości prądu cząstek wg energii /10/ dana jest w postaci

$$\vec{J}_N(\vec{r}, E) = \int_{4\pi} \vec{\Omega}\, N(\vec{r}, E, \vec{\Omega})\, d\Omega, \quad cm^{-2} sek^{-1} erg \qquad (9)$$

Kierunek wektora $\vec{j}_N$ wskazuje średni wypadkowy kierunek ruchu cząstek o energii E w rozpatrywanym punkcie pola. Wartość bezwzględna wektora równa jest wypadkowej liczbie cząstek o energii E, które w jednostce czasu przecinają powierzchnię jednostkową ulokowaną w punkcie $\vec{r}$, przy warunku, że wektor normalny tej powierzchni posiada kierunek i wzrost wektora $\vec{j}_N$. Przez wypadkową liczbą cząstek rozumie się bezwzględną wartość różnicy pomiędzy liczbą cząstek padających na dodatnią i ujemną stronę przyjętej powierzchni jednostkowej.

Gęstość prądu cząstek /11/ w punkcie $\vec{r}$ pola jest również wielkością wektorową i może być określona wzorem:

$$\vec{j}_N(\vec{r}) = \int_{(E)} \vec{j}_N(\vec{r}, E)dE, \quad cm^{-2}sek^{-1} \tag{10}$$

przy czym całkowanie rozciąga się na cały aktualny przedział energii. Kierunek wektora $\vec{J}_N(\vec{r})$ wskazuje średni wypadkowy kierunek ruchu cząstek w rozpatrywanym punkcie pola. Wartość bezwzględna wektora równa jest wypadkowej liczbie cząstek, które w jednostce czasu przenikają przez powierzchnię jednostkową ulokowaną w punkcie $\vec{r}$, przy warunku, że wektor normalny tej powierzchni jest zgodny z wektorem $\vec{J}_N(\vec{r})$.

Prąd cząstek przez powierzchnię ΔS zorientowaną zgodnie z wektorem $\vec{J}_N(\vec{r})$, może być obliczony przy pomocy wzoru

$$\Delta J_N = \left|\vec{J}_N\right| \Delta S, \quad sek^{-1} \tag{11}$$

Uzyskany wynik określa wypadkową liczbę cząstek, które w jednostce czasu przenikają przez powierzchnię ΔS ulokowaną w punkcie $\vec{r}$.

7. MATEMATYCZNY OPIS PRĄDU ENERGII

Jeżeli się uwzględni związek (2) można odpowiednio do wzorów ustępu 6 zdefiniować:

1. Funkcję wektorową rozkładu gęstości prądu energii wg energii /12/:

$$\vec{j}_E(\vec{r}, E) = E\,\vec{j}_N(\vec{r}, E), \quad cm^{-2}sek^{-1} \tag{12}$$

skąd widać, że wektory $\vec{j}_E$ i $\vec{j}_N$ są równoległe i zgodnie skierowane.

2. Gęstość prądu energii /13/:

$$\vec{J}_E(\vec{r}) = \int_{(E)} \vec{j}_E(\vec{r}, E)dE, \quad erg\ cm^{-2}sek^{-1} \tag{13}$$

3. Prąd energii przez powierzchnię ΔS zorientowaną zgodnie z wektorem $\vec{J}_E(\vec{r})$:

$$\Delta J_E = |\vec{J}_E|\ \Delta S, \quad erg\ sek^{-1} \tag{14}$$

przy czym wektory $\vec{J}_E$ oraz $\vec{J}_N$ niekoniecznie muszą być równoległe.

W zakończeniu artykułu pragnę złożyć podziękowanie prof. J. Szpileckiemu za rzeczową recenzję.

Zestawienie porównawcze oznaczeń matematycznych oraz terminologii proponowanej i stosowanej w literaturze

Tablica 1

Lp.	Oznaczenia i terminologia proponowane w artykule		Oznaczenia i terminologia stosowane w języku angielskim: po angielsku wg pozycji [3]		Oznaczenia i terminologia stosowane w języku angielskim: po rosyjsku wg pozycji [4] (pozycja [4] stanowi tłumaczenie poz. [3])	Oznaczenia i terminologia w języku rosyjskim zastosowane w pozycji [5]	
1		Pole promieniowania		Radiation field	Поле излучений		
2	$N(\vec{r},E,\vec{\Omega})$	Funkcja rozkładu gęstości strumienia cząstek wg energii i kierunków	$N(\vec{r},E,\vec{\Omega})$	Differential energy and angle distribution of the number flux density	Дифференциальное энергетическое и угловое распределение плотности потока частиц	$N(\vec{r},\vec{\Omega},E)$	Функция разпределения потока частиц по направлениям и энергиям
3	$I(\vec{r},E,\vec{\Omega})$	Funkcja rozkładu gęstości strumienia energii wg energii i kierunków	$I(\vec{r},E,\vec{\Omega})$	Differential energy and angle distribution of the energy flux density	Дифференциальное энергетическое и угловое распределение плотности потока энергии	$I(\vec{r},\vec{\Omega},E)$	Функция распределения потока энергии по направлениям и энергиям
4	$N_O(\vec{r},E)$	Funkcja rozkładu gęstości strumienia cząstek wg energii	$N_O(\vec{r},E)$	Differential energy spectrum of the number flux density	Дифференциальный энергетический спектр плотности потока частиц	$N_O(\vec{r},E)$	Поток частиц
5	$\varphi_N(\vec{r})$	Gęstość strumienia cząstek	$F_N(\vec{r})$	Integrated number flux	Интегральный поток частиц		
6	$I_O(\vec{r},E)$	Funkcja rozkładu gęstości strumienia energii wg energii	$I_O(\vec{r},E)$	Differential energy spectrum of the energy flux density	Дифференциальный энергетический спектр плотности потока энергии	$I_O(\vec{r},E)$	Поток энергии частиц
7	$\varphi_E(\vec{r})$	Gęstość strumienia energii	$F_E(\vec{r})$	Integrated energy flux	Интегральный поток энергии	$J(\vec{r})$	Интенсивность излучения
8		Rozkład gęstości strumienia cząstek		Differential number spectrum	Дифференциальный спектр (частиц)		
9		Rozkład gęstości strumienia energii		Differential energy spectrum	Дифференциальный энергетический спектр		Спектральное распределение излучения
10	$\vec{j}_N(\vec{r},E)$	Funkcja wektorowa rozkładu gęstości prądu cząstek wg energii	$\vec{j}_N(\vec{r},E)$	Differential number current density	Дифференцияльная плотность тока частиц	$\vec{j}_N(\vec{r},E)$	Ток частиц с энергией E в точке $\vec{r}$
11	$\vec{J}_N(\vec{r})$	Gęstość prądu cząstek	$\vec{J}_N(\vec{r})$	Number current density	Плотность тока частиц		
12	$\vec{j}_E(\vec{r},E)$	Funkcja wektorowa rozkładu gęstości prądu energii wg energii	$\vec{j}_E(\vec{r},E)$	Differential energy current density	Дифференцияльная плотность тока энерги	$\vec{j}_E(\vec{r},E)$	Ток энергии частиц (с энергией E в точке $\vec{r}$)
13	$\vec{J}_E(\vec{r})$	Gęstość prądu energii	$\vec{J}_E(\vec{r})$	Energy current density	Плотность тока энергии		

LITERATURA

[1] Glasstone S.: Podstawy techniki reaktorów jądrowych (tłumaczenie z języka angielskiego), Warszawa 1958.

[2] Glasstone S., Edlund M.C.: Podstawy teorii reaktorów jądrowych (tłumaczenie z języka angielskiego), Warszawa 1957.

[3] Goldstein H.: The attenuation of gamma rays and neutron in reactor shields", New York 1957.

[4] Goldstein H.: Fundamental aspects of reactor shielding (tłumaczenie na język rosyjski, Moskwa 1961).

[5] Lejpuńskij O., Nowożiłow B., Sacharow W.: Rasprostranienje gamma kwantow w wieszczestwie, Moskwa 1960.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И НАИМЕНОВАНИЯ ПОНЯТИЙ КАСАЮЩИЕСЯ ОПИСАНИЯ ПОЛЯ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Р е з ю м е

В настоящей работе описываеться поле ядерного излучения. Понятия связаные с распределением поля вводиться постепенно и приводиться их определения. Учитывая что в области измерений поля ядерного излучения, до сех пор нет установленной номенклатуры на польском языке, автор делаеть попытку предложить - по его мнению - рациональную номенклатуру. В этом смысле настоящая статья имеет значение полемической работы.

DEFINITIONS AND TERMINOLOGY IN THE SUBJECT OF THE NUCLEAR RADIATION FIELD

S u m m a r y

In the present article a nuclear radiation field is described. The notions connected with the description are introduced gradually and their definitions are exposed. Taking into consideration that the Polish terminology in the subject of the nuclear radiation field is not fixed yet, the author s task is to introduce the proper, in his opinion, nomenclature. Therefore, the paper should be considered as an open to the discussion one.