

|                              |                              |                   |               |                 |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| <b>WFilS</b>                 | Imię i nazwisko:<br>1.<br>2. | ROK               | GRUPA         | ZESPÓŁ          |
| PRACOWNIA<br>FIZYCZNA I i II | TEMAT:                       |                   |               | NR ĆWICZENIA    |
| Data wykonania:              | Data oddania:                | Zwrot do poprawy: | Data oddania: | Data zliczenia: |
|                              |                              |                   |               | OCENA           |

### ***Cel ćwiczenia:***

Zapoznanie się z działaniem układu koincydencyjnego liczników G-M, badanie zależności natężenia promieniowania od kąta nachylenia teleskopu oraz od położenia liczników względem siebie.

### ***Wstęp teoretyczny:***

Promieniowanie kosmiczne zawiera cząstki naładowane oraz fotony. W 90% stanowią je protony o ogromnej energii sięgającej  $10^9$ - $10^{18}$  [eV]. Padając na powierzchnię atmosfery protony zderzają się z jądrami atomów powietrza wywołując reakcje jądrowe, w których powstają cząstki wtórne, przede wszystkim mezony  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$ . Mezony  $\pi^0$  mają krótki czas życia ( $0.84 \cdot 10^{-16}$  [s]) i rozpadają się na dwa kwanty  $\gamma$  - fotony.

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Energia tych fotonów znacznie przewyższa energię równoważną masie spoczynkowej elektronu i pozytonu (1.02 [MeV]). Zachodzą więc warunki sprzyjające tworzeniu par w polu elektrycznym jąder. Foton  $\gamma$  znika, a powstaje elektron i pozyton.

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

Nadwyżka energii fotonu  $\gamma$  zamienia się na energię kinetyczną pary. W procesach hamowania elektronu i pozytonu ponownie powstają fotony  $\gamma$  o nieco mniejszej energii. Reakcje te zachodzą kolejno jedno po drugim, tworząc kaskady elektronowo-fotonowe. Mezony  $\pi^+$  i  $\pi^-$  powodują dalsze reakcje jonowe lub przez rozpad dają początek mionom.

W ten sposób pojedynczy proton promieniowania kosmicznego wytwarza olbrzymią liczbę cząstek wtórnych. W promieniowaniu rejestrowanym na poziomie morza można wyróżnić składową miękką (elektronowo-fotonową), docierającą tylko do powierzchni Ziemi i składową twardą (mionową), która przenika nawet grube warstwy skorupy ziemskiej.

Praktycznie całkowita absorpcja składowej miękkiej zachodzi w absorbencie ołowianym o grubości 10 cm, zaś składowej twardej - grubości 1 m.

Do pomiarów stosujemy teleskop licznikowy. Jest to układ trzech liczników Geigera-Mullera umieszczonych w jednej płaszczyźnie i podłączonych do tranzystorowego układu koincydencyjnego, mającego trzy wejścia i jedno wyjście. Zasada jego działania jest następująca: wytwarza on na wyjściu impuls napięcia, gdy na wszystkich trzech wejściach podane są jednocześnie impulsy napięcia.

Dzięki stosowaniu teleskopu licznikowego uzyskujemy dwie korzyści:

1. Wyeliminowanie tła promieniowania pochodzącego ze skorupy ziemskiej, materiałów budowlanych i konstrukcyjnych, skażeń powietrza, etc., które daje pomijalną liczbę koincydencji przypadkowych.

2. Możliwość rejestracji cząstek przychodzących z określonego kierunku w obrębie określonego kąta bryłowego. Kąt bryłowy teleskopu zależy od rozmiarów liczników i ich wzajemnej odległości. Szczegółowe wyliczenia prowadzą do wzoru:

$$\Omega = \frac{r}{2a} \left[ \frac{\frac{l}{a}}{1 + \left(\frac{l}{a}\right)^2} + 3 \arctg\left(\frac{l}{a}\right) \right]$$

gdzie:  $l$  - długość części czynnej licznika (800 mm),  $r$  - promień licznika (26.5 mm),  $a$  - odległość między skrajnymi licznika teleskopu.

Natężenie promieniowania określają dwie wielkości:

- Natężenie kierunkowe  $I$ , zdefiniowane jako liczba cząstek padających na jednostkę powierzchni prostopadłej do danego kierunku w jednostkowym kącie bryłowym na jednostkę czasu (wymiar:  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ );

- Natężenie całkowite  $J$ , zdefiniowane jako liczba cząstek padających na jednostkową powierzchnię w obrębie półpełnego kąta bryłowego ( $2\pi$ ) na jednostkę czasu (wymiar:  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

Natężenie kierunkowe promieni kosmicznych zależy od kąta zenitalnego  $\Theta$  (względem pionu) - zmniejsza się ze wzrostem tego kąta. Zależność tą na poziomie morza opisuje wzór:

$$I = I_0 \cos^2 \Theta$$

gdzie  $I_0$  - natężenie kierunkowe pionowe.

Natężenie całkowite  $J$  obliczamy przez scałkowanie wzoru (3) względem kąta bryłowego:

$$J = \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_0 \cos^2 \Theta \cdot 2\pi \sin \Theta \cdot d\Theta$$

czyli po całkowaniu:

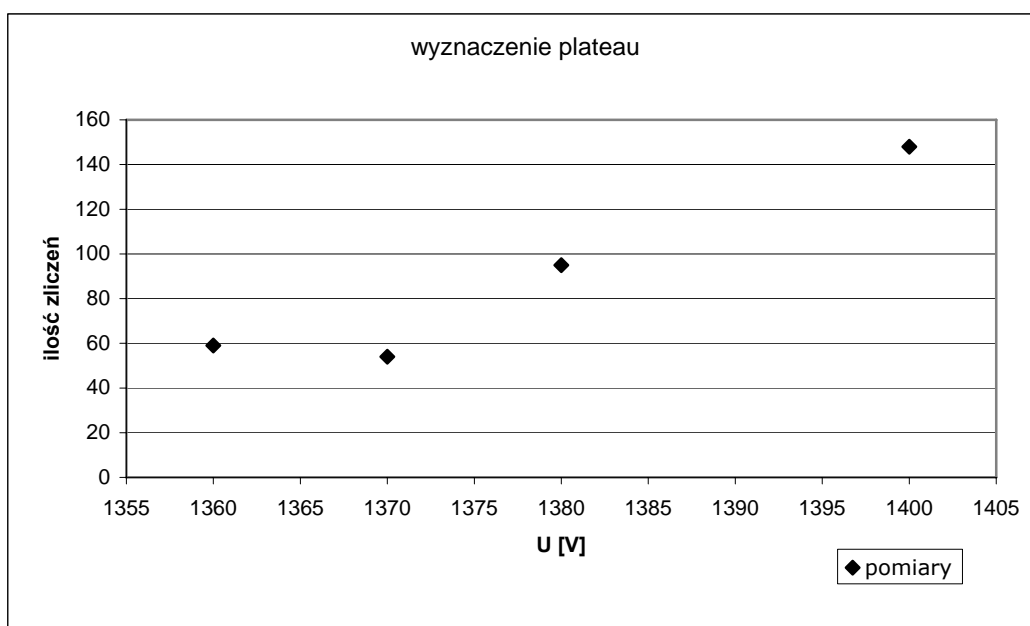
$$J = \frac{2}{3} \pi I_0$$

## ***Opracowanie ćwiczenia:***

### **1. Wyznaczenie punktu pracy liczników Geigera-Millera:**

Przed rozpoczęciem pracy należało sprawdzić czy liczniki pracują w liniowej części licznika tzw. plateau. Czas trwania pomiarów wynosił 100 sekund, a wyniki pokazaliśmy w poniższej tabeli:

| l.p. | liczba zliczeń N | czas [s] | U [V] |
|------|------------------|----------|-------|
| 1    | 59               | 100      | 1360  |
| 2    | 95               | 100      | 1380  |
| 3    | 148              | 100      | 1400  |
| 4    | 54               | 100      | 1370  |



Pomiary dokonywaliśmy przy napięciu roboczym 1380 V.

### **2. Rozkład kątowy zenitalny;**

| czas [s] | U [V] |
|----------|-------|
| 300      | 1380  |

| kąt [°] | liczba koincydencji N | $i(\theta)$ | $\Delta N$ |
|---------|-----------------------|-------------|------------|
| 0       | 435                   | 1,000       | 21         |
| 15      | 341                   | 0,775       | 18         |
| 30      | 191                   | 0,416       | 14         |
| 60      | 89                    | 0,172       | 9          |
| 75      | 49                    | 0,077       | 7          |
| 90      | 17                    | 0,000       | 4          |
| 0       | 427                   | 0,981       | 21         |

Jako niepewność pomiaru liczby koincydencji przyjęliśmy pierwiastek kwadratowy z tej liczby.

Jednym z parametrów, który określa promieniowanie kosmiczne jest znormalizowana funkcja rozkładu zenitalnego  $i(\theta)$  dana wzorem:

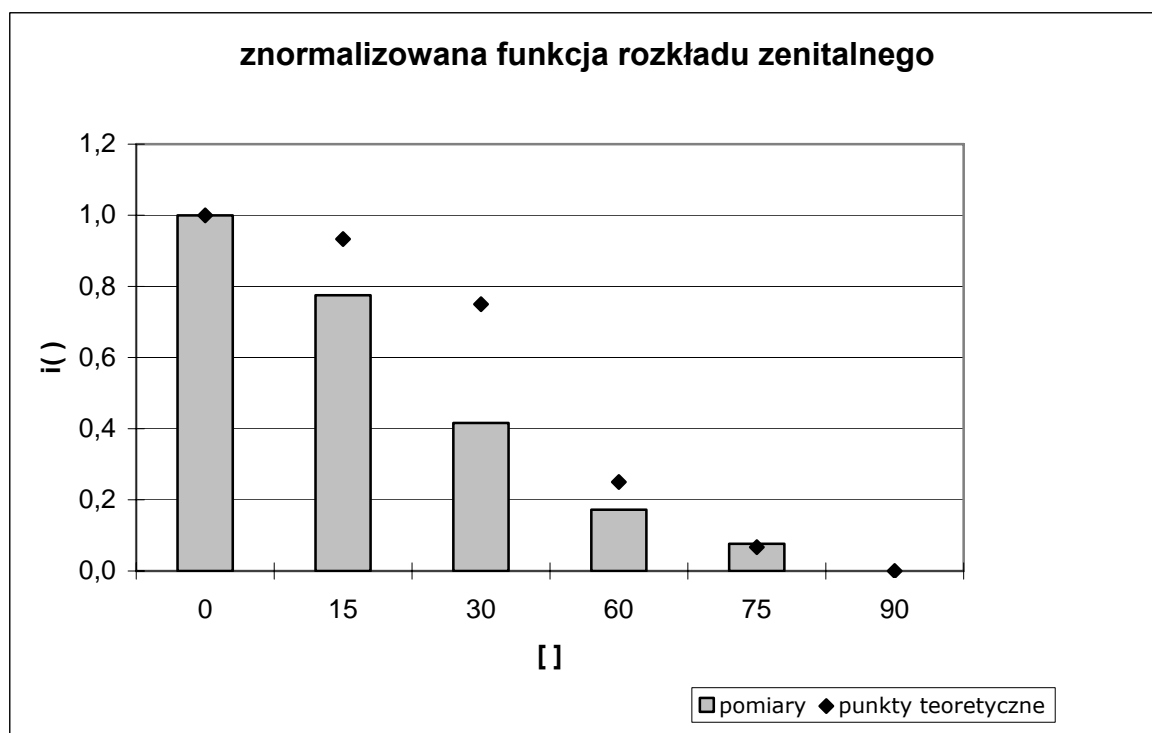
$$i(\theta) = \frac{N(\theta) - N(90^\circ)}{N(0^\circ) - N(90^\circ)}$$

Aby obliczyć niepewność pomiaru funkcji  $i(\theta)$  skorzystaliśmy z prawa przenoszenia niepewności. Po odpowiednich przekształceniach otrzymaliśmy następujący wzór:

$$\Delta i(\theta) = \sqrt{\left(\frac{\Delta N(\theta)}{N(0^\circ) + N(90^\circ)}\right)^2 + \left(\frac{N(\theta) - N(0^\circ)}{[N(0^\circ) + N(90^\circ)]^2} \Delta N(90^\circ)\right)^2 + \left(\frac{N(\theta) - N(90^\circ)}{[N(0^\circ) + N(90^\circ)]^2} \Delta N(0^\circ)\right)^2}$$

Ostateczne wyniki zawarliśmy w tabeli:

| kąt [°] | $i(\theta)$ | $\Delta i(\theta)$ |
|---------|-------------|--------------------|
| 0       | 1,000       | 0,06               |
| 15      | 0,627       | 0,05               |
| 30      | 0,297       | 0,04               |
| 60      | 0,060       | 0,02               |
| 75      | 0,077       | 0,02               |
| 90      | 0,000       | 0,01               |



wykres 1

Jak widzimy na wykresie znormalizowanej funkcji rozkładu zenitalnego (powyżej) funkcja  $i(\theta)$  jest zbliżona do teoretycznego rozkładu danego wzorem  $\cos^2 \theta$ .

### 3. Wyznaczanie natężenia promieniowania:

Liczbę zliczeń w zależności od położenia liczników przedstawia poniższe zestawienie:

|                   |     |
|-------------------|-----|
| czas pomiaru [s]: | 480 |
|-------------------|-----|

| l.p. | odległość między licznikami a [mm] | liczba zliczeń N | $\Delta N$ |
|------|------------------------------------|------------------|------------|
| 1    | 450                                | 132              | 11         |
| 2    | 350                                | 173              | 13         |
| 3    | 250                                | 225              | 15         |

Niepewności koincydencji policzyliśmy podobnie jak powyżej, tzn. wzięliśmy pierwiastek kwadratowy z tej liczby.

Wykorzystując wzory:

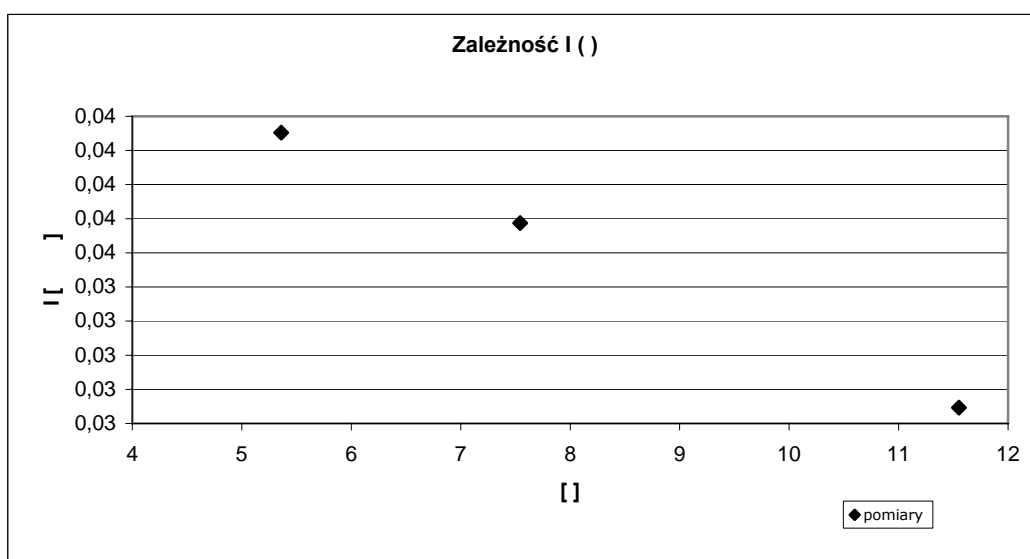
$$\Omega = \frac{r}{2a} \left[ \frac{\frac{l}{a}}{1 + \left(\frac{l}{a}\right)^2} + 3 \arctg \left( \frac{l}{a} \right) \right]$$

$$I_0 = \frac{N}{t\Omega S}$$

$$J = \frac{2}{3} \pi I_0,$$

policzyliśmy poszczególne wielkości zestawione w tabelach:

| l.p. | $\Omega$ [sr] | n [liczba zliczeń/s] | $I_0$ [1/s*sr*m2] | $\Delta I_0$ |
|------|---------------|----------------------|-------------------|--------------|
| 1    | 5,360         | 0,275                | 0,039             | 0,003        |
| 2    | 7,542         | 0,360                | 0,036             | 0,003        |
| 3    | 11,551        | 0,469                | 0,030             | 0,002        |



Jak widać z powyższego wykresu liczba zliczeń nie jest funkcją liniową kąta bryłowego  $\Omega$ , czyli mówiąc prościej jeżeli zwiększymy kąt dwukrotnie to w wyniku  $\Omega$  nie wzrośnie nam dwa razy. Powyżej pokazaliśmy, że ilość zliczeń maleje wraz ze wzrostem kąta między danym kierunkiem prostą prostopadłą do powierzchni ziemi.

Zestawienie wyników dla obliczenia natężenia promieniowania:

| l.p. | J [ $1/s \cdot m^2$ ] | $\Delta J$ |
|------|-----------------------|------------|
| 1    | 0,081                 | 0,003      |
| 2    | 0,075                 | 0,003      |
| 3    | 0,064                 | 0,002      |

Za pomocą metody najmniejszych kwadratów wyznaczyliśmy równanie prostej regresji:

$$J(\Omega) = a\Omega + b$$

Współczynniki przyjmują następujące wartości:

$$a = -0,0027$$

$$b = 0,0955$$

Stąd wynika, że  $J(0) = 0,095$  co można zinterpretować jako natężenie promieniowania padającego na powierzchnię ziemi pod kątem prostym.

### ***Wnioski:***

Na wykresie 1 można pokazać, że znormalizowana funkcja rozkładu zenitalnego  $i(\theta)$  jest zbliżona do teoretycznego rozkładu danego wzorem  $\cos^2 \theta$ .

W ćwiczeniu wyznaczono także wielkość  $J(0) = 0,065$ , którą można interpretować jako natężenie promieniowania padającego na powierzchnię ziemi pod kątem prostym (oczywiście na szerokości geograficznej Krakowa).

### ***Załączniki:***

[1] – dane pomiarowe;