

M. Pazdur, E. Kostkiewicz, W. Mościcki,
A. Pazdur, W. Pomykała, A. Zastawny

Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej

ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW POMIARÓW TŁA I STANDARTU
ORAZ ANALIZA KORELACJI POMIĘDZY PARAMETRAMI FIZYCZNYMI
WPŁYWAJĄCYMI NA PUNKT PRACY LICZNIKA POMIAROWEGO

Streszczenie. W artykule opisano metody statystycznej analizy wyników pomiarów w Laboratorium C-14 Zespołu Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Przedstawiono wyniki pomiarów tła i standartu wykonane w okresie od 01.10.1971 do 30.08.72. W tabelach zestawione są wartości współczynników korelacji i regresji otrzymane metodą najmniejszych kwadratów dla kilku wybranych pomiarów tła i standartu. Otrzymane wyniki świadczą o bardzo dobrej (bliskiej 100%) wydajności osłon antykońcencyjnych oraz potwierdzają prawidłowość metody kontroli punktu pracy licznika proporcjonalnego.

1. Wstęp

Ze względu na bardzo małe stężenia radioaktywnego izotopu węgla C-14 pochodzenia naturalnego w substancjach organicznych, w węglanach rozpuszczanych w wodzie i w atmosferze, dokładne pomiary aktywności próbek zawierających izotop C-14 wymagają wyjątkowo dużej precyzji. Dokładne (z dokładnością rzędu 1,0%) określenie aktywności wymaga spełnienia wielu warunków, a mianowicie niezwykle starannej preparatyki chemicznej, zapewniającej dużą czystość gazowego CO₂ używanego do wypełnienia licznika pomiarowego, wysokiej stabilności aparatury elektronicznej, eliminacji impulsów wywołanych promieniowaniem kosmicznym oraz promieniowaniem zanieczyszczeń radioaktywnych laboratorium. Równocześnie wymagana jest ciągła kontrola wszystkich parametrów fizycznych i elektrycznych odpowiadających za rezultat pomiaru. Dla pomiarów aktywności próbek ważna jest znajomość tła to znaczy szybkości zliczeń w przypadku wypełnienia licznika pomiarowego (L.P.) nieaktywnym CO₂, a dla pomiarów chronometrycznych także znajomość aktywności standartu węgla współczesnego.

2. Oznaczenia

Przy rejestracji i opracowywaniu wyników pomiarów wykonanych przy pomocy aktualnie pracującej aparatury, posiadającej osmiokanałową rejestrację impulsów przyjęto następujące oznaczenia:

a) kanał licznika głównego

B , S^0 oraz S oznaczają odpowiednio szybkość zliczeń (w cpm) impulsów tła, standartu i próbki. Łączną szybkość zliczeń impulsów tła i standartu (odpowiednio tła i próbki) oznacza się przez U^0 (U).

Impulsy z L.P. o amplitudach V większych od $V_{D1} = 5$ mV poddawane są analizie amplitudowej i czasowej i rejestrowane są w odpowiednich kanałach rejestrującej aparatury elektronicznej [1]. W kanale pierwszym rejestruje się impulsy o amplitudach $V_{D1} < V < V_{D2}$, a w drugim impulsy o amplitudach $V_{D2} < V < V_{D3}$. Wartości progów dyskryminacji $V_{D2} = 400$ mV, $V_{D3} = 2$ V [1,2] Wartość górnego progu dyskryminacji $V_{D3} = 2$ V wybrana została w taki sposób, aby przekraczała maksymalne amplitudy impulsów pochodzących od górnej granicy energii elektronów z rozpadu C-14. Szybkość zliczeń (w cpm) w poszczególnych kanałach w przypadku tła, standartu, próbki, tła i standartu oraz tła i próbki oznaczane są odpowiednio przez B_i , S_i^0 , S_i , U_i^0 oraz U_i , $i = 1, 2, 3$, gdzie prawy dolny indeks oznacza numer kanału.

W przypadku próbek węgla pochodzenia atmosferycznego lub geologicznego zdarza się często, że dwutlenek węgla wypełniający L.P. jest zanieczyszczony radonem Rn^{222} . Wówczas rejestruje się obok impulsów tła oraz impulsów z rozpadu C-14 także impulsy pochodzące z rozpadu Rn^{222} oraz jego pochodnych. Stosuje się wtedy oznaczenia U^R , U_i^R , $i = 1, 2, 3$, przy czym $U^R = U_1^R + U_2^R + U_3^R$, gdzie $U_i^R = B_i + S_i + R_i$. Przez R_i oznacza się szybkość zliczeń (w cpm) impulsów pochodzących od rozpadów radonu i jego pochodnych w kanale i . Całkowitą szybkość zliczeń impulsów od Rn^{222} i jego pochodnych, oznacza się przez R , więc $R = R_1 + R_2 + R_3$.

b) kanał koincydencji

Wszystkie impulsy powstające w liczniku głównym w koincydencji z impulsami z liczników osłony rejestrowane są oddzielnie. Przez L_{K1} , $i=1, 2, 3$ oznacza się szybkość zliczeń (w cpm) tych impulsów o amplitudach w odpowiednim kanale. Sumaryczna szybkość zliczeń we wszystkich trzech kanałach oznacza się przez L_K , $L_K = L_{K1} + L_{K2} + L_{K3}$.

c) Kanał liczników osłony i kanał zakłóceń

Liczbę impulsów na minutę powstających we wszystkich licznikach osłony oznacza się przez N , a liczbę impulsów na minutę wywołanych zakłóceniami przez Z .

3. Pomiary tła i analiza statystyczna wyników pomiarów

Wykonano dotychczas osiem pomiarów tła, przy czym dwutlenek węgla używany do wypełnienia L.P. pochodził z trzech różnych materiałów, zawierających dostatecznie stary węgiel (o wieku powyżej 100 000 lat), w którym należało spodziewać się braku atomu izotopu C-14. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1. W pierwszej kolumnie tabeli podano symbole próbek. Pier-

Tabela 1

Wyniki pomiarów tła

Symbol	B [cpm]	σ_p	σ_s	t [min]	n liczba po- miarów cząstkowych	Data pomiaru
B1	11.05	0.036	0,034	8468	13	27.04.-07.05.1971
B2	10.90	0.048	0.077	4830	8	10.05.-15.05.1971
B3/2 ₂₁₃	10.87	0.029	0.028	12780	213	15.10.-20.10.1971
B3/3 ₈₃	10.86	0.047	0.040	4980	83	21.10.-24.10.1971
B3/4 ₉₂	10.68	0.044	0.045	5520	92	23.2. -01.03.1972
B3/5 ₁₆	10.60	0.108	0.072	960	16	28.03.-30.03.1972
B3/6 ₇₉	10.77	0.048	0.046	4740	79	19.05.-22.05.1972
B3/7 ₆₁	10.80	0.055	0.054	3660	61	27.05.-30.05.1972

wsza liczba po symbolu B oznacza numer próbki, zaś druga oznacza numer kolejnego długotrwałego cyklu pomiarowego. Dolny prawy indeks oznacza liczbę niezakłóconych godzinnych pomiarów cząstkowych. Próbki B2 oraz B3 zostały otrzymane ze spalania węgla kamiennego, a próbkę B1 wyprodukowano ze starego węgla wapnia. Pomiary tła przy wypełnieniu licznika próbkami B1 i B2 były wykonywane bez ciągłej cegodzinnej rejestracji wyników pomiarów oraz bez rejestracji zakłóceń. Z tego względu wyniki tych pomiarów mają jedynie charakter orientacyjny i nie są brane pod uwagę przy określe- niu wielkości tła pracującego obecnie licznika. W drugiej kolumnie tabeli 1 podana jest wartość średnia ważona \bar{B} obliczona na podstawie wyników po- miarów cząstkowych

$$\bar{B} = \frac{\sum B_i T_i}{\sum T_i}, \quad (3.1)$$

gdzie B_i oznacza wynik pomiaru i-tego (w cpm), a T_i czas trwania tego pomiaru (w minutach). W kolumnach trzeciej i czwartej podane są standarto- we błędy statystyczne średniej; σ_p jest błędem wynikającym z założenia, że wszystkie składające się na wartość \bar{B} procesy mają rozkład Poissona'a

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{B}}{T}}, \quad (3.2)$$

gdzie T jest łącznym czasem pomiaru, $T = \sum T_i$, σ_B oznacza standartowy błąd kwadratowy ważonej średniej wynikającej z pomiarów cząstkowych

$$\sigma_B = \left(\frac{\sum T_i (\bar{B} - B_i)^2}{(n-1) \sum T_i} \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Porównanie wielkości σ_p i σ_B dla pomiarów próbki B3 wskazuje na znakomitą stabilność pracy aparatury i doskonałą powtarzalność wyników.

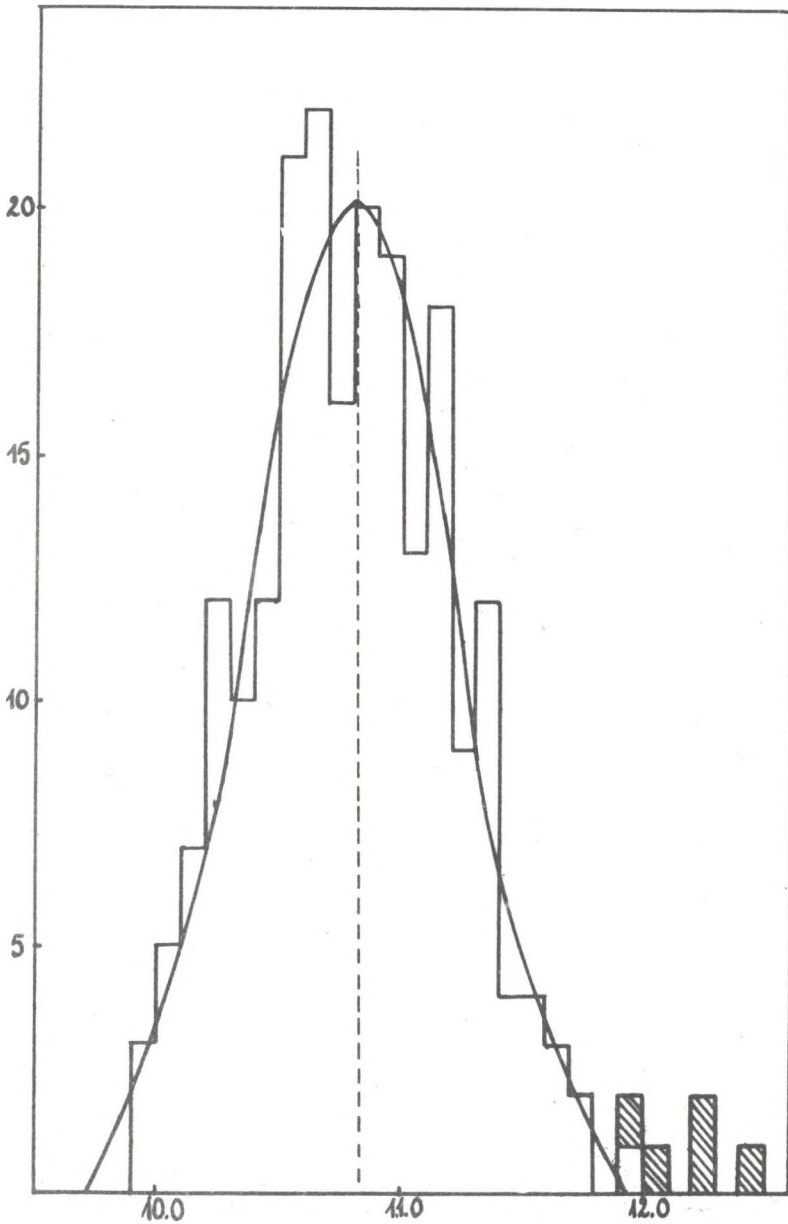
Statystyczne opracowanie wyników pomiarów polega na obliczeniu wartości B , L_K , N , Z , B_3 , $k = 100(L_{K2} + L_{K3})/L_{K1}$ oraz $K_B = 100 B_2/B_1$ na podstawie pomiarów godzinnych^{x)}. Po odrzuceniu pomiarów, dla których wartość parametru k , oznaczającego punkt pracy licznika proporcjonalnego [3, 20] wykracza poza ustalone granice oblicza się wartości średnie i dyspersje odpowiednich wielkości. Na podstawie pomiarów kalibracyjnych ustalono, że optymalna wartość k powinna być równa $k = 70$, przy czym dopuszcza się możliwość dokonywania pomiarów przy k w granicach $60 < k < 80$ [20].

Pomimo zaopatrzenia aparatury elektronicznej w specjalny układ antyzakłóceńowy, eliminujący pojawianie się zliczeń zakłóceń w którymkolwiek kanale (za wyjątkiem Z), odrzuca się także te z pomiarów godzinnych, w których liczba zarejestrowanych zakłóceń na minutę jest większa niż $Z_{max} = 2,0$. Ostrożność ta podyktowana jest nieznaną przyczyną źródła i charakteru zakłóceń.

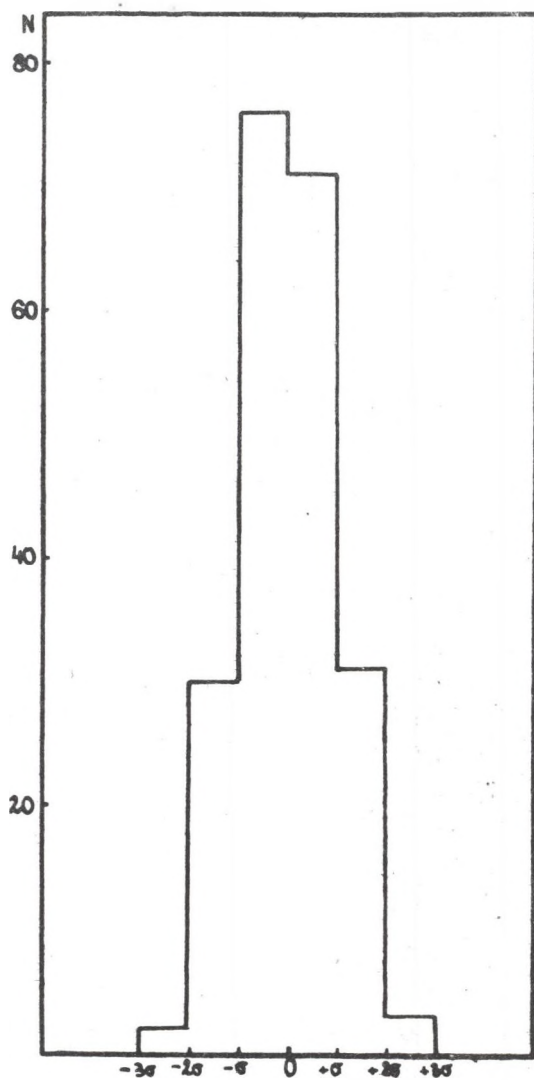
Pozostałe pomiary podlegają analizie, której celem jest stwierdzenie i odrzucenie pomiarów zakłóconych. W tym celu bada się asymetrię rozkładu, odrzucając pomiary różniące się od wartości średniej więcej niż o $2,5 \sigma_1$, gdzie σ_1 jest błędem standartowym pojedynczego pomiaru. Wybór wartości $2,5 \sigma_1$ podyktowany jest liczebnością pomiarów składających się na pojedynczy cykl pomiarowy (około 50).

Na rys. 1 przedstawiono rozkład wyników godzinnych pomiarów tła B3/2₂₁₃. Wysokość kolumny histogramu oznacza liczbę godzinnych pomiarów, które dały wynik leżący w granicach, odpowiadających szerokości kolumny. Kolumny zakreskowane przedstawiają pomiary zakłócone, nie uwzględnione przy obliczaniu wartości średniej, a odrzucone na podstawie omówionego wyżej kryterium. Pionową przerywaną linią zaznaczono wartość średnią. Krzywa ciągła przedstawia rozkład Poissona. Histogram na rys. 2 przedstawia rozkład odchyleń od średniej pomiarów godzinnych próbki B3/2₂₁₃.

^{x)} Wartość k jest niezmiernie czuła na wszelkie zmiany parametrów elektronicznych i fizycznych warunkujących poprawność pomiaru. W związku z tym stanowi ona bardzo silne kryterium właściwego ustalenia punktu pracy L.P. Sama natomiast wartość k bardzo nieznacznie wpływa na wynik pomiaru (patrz tabela 2, 3, wiersz 1) [20].



Rys. 1. Rozkład wyników pomiaru tła B3/2₂₁₃. Linia przerywana zaznaczono wartość średnią. Krzywa ciągła odpowiada teoretycznemu rozkładowi prawdopodobieństwa. Kolumny zakreskowane oznaczają pomiary odrzucone na podstawie kryterium 2,5σ



Rys. 2. Statystyka odchyleń wyników pomiarów godzinnych tła B3/2₂₁₃ od wartości średniej

Ze względu na wagę, jaką posiadają pomiary tła, przeprowadzono szczegółową analizę korelacji pomiędzy szybkościami zliczeń, rejestrowanymi w poszczególnych kanałach. Analizę przeprowadzono zakładając liniową zależność pomiędzy rozważanymi zmiennymi i obliczając następnie współczynniki korelacji i regresji metodą najmniejszych kwadratów. Współczynnik regresji zmiennej Y względem zmiennej X dany jest wzorem [4]

$$b_{YX} = \left(\frac{(\sum T_i x_i y_i)(\sum T_i) - (\sum T_i x_i)(\sum T_i y_i)}{(\sum T_i x_i^2)(\sum T_i) - (\sum T_i x_i)^2} \right)^{1/2}, \quad (3.4)$$

gdzie x_i oraz y_i są wartościami zmiennych X i Y, otrzymanymi w pomiarze i-tym, a T_i jest wagą statystyczną tego pomiaru, odpowiadającą liczbie jednostek czasu pomiaru. Prostą regresji można przedstawić w postaci

$$\frac{Y - a_Y}{\sigma_Y} = r \frac{X - a_X}{\sigma_X}, \quad (3.5)$$

gdzie a_Y i a_X są wartościami średnimi zmiennych Y i X, σ_Y i σ_X są dyspersjami tych zmiennych, a r jest współczynnikiem korelacji. Wynika stąd, że prosta regresji musi przechodzić przez punkt (a_X, a_Y) . Można wykazać, że

$$b_{YX} = r \frac{\sigma_Y}{\sigma_X}. \quad (3.6)$$

Miarą wielkości rozrzutu punktów doświadczalnych wokół prostej regresji jest parametr

$$s = \left(\frac{\sum T_i (Y_i - a - bX_i)^2}{\sum T_i} \right)^{1/2}. \quad (3.7)$$

Parametr ten pozwala oszacować przy zadanej liczbie pomiarów i zadanym poziomie ufności przedziały ufności dla współczynników korelacji i regresji. Przedział ufności dla współczynnika regresji można określić biorąc pod uwagę, że zmienna

$$t = \frac{\Delta b \sqrt{(n-2) \sum (x_i - a_X)^2}}{s \sqrt{n}} \quad (3.8)$$

podlega rozkładowi Studenta przy $n-2$ stopniach swobody, gdzie n jest liczbą pomiarów. Przedział ufności dla współczynnika korelacji określa się stosując przekształcenie wyprowadzone przez R. Fishera [4]

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (3.9)$$

i odwrotnie

$$r = \text{th } Z. \quad (3.10)$$

Zmienna Z ma z dużą dokładnością rozkład normalny o wartości średniej

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} + \frac{r}{2(n-1)} \quad (3.11)$$

i dyspersji

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{n-3}. \quad (3.12)$$

Ponieważ wartość tła B uwarunkowana jest wartością szeregu parametrów elektronicznych układu rejestrującego (wzmocnienie gazowe, wzmocnienie elektroniczne, próg dyskryminacji) można spodziewać się wpływu zmian tych parametrów na wartość B .

Ponieważ w metodzie stosowanej w Laboratorium O-14 w Gliwicach za kryterium stałości punktu pracy przyjęto parametr [20]

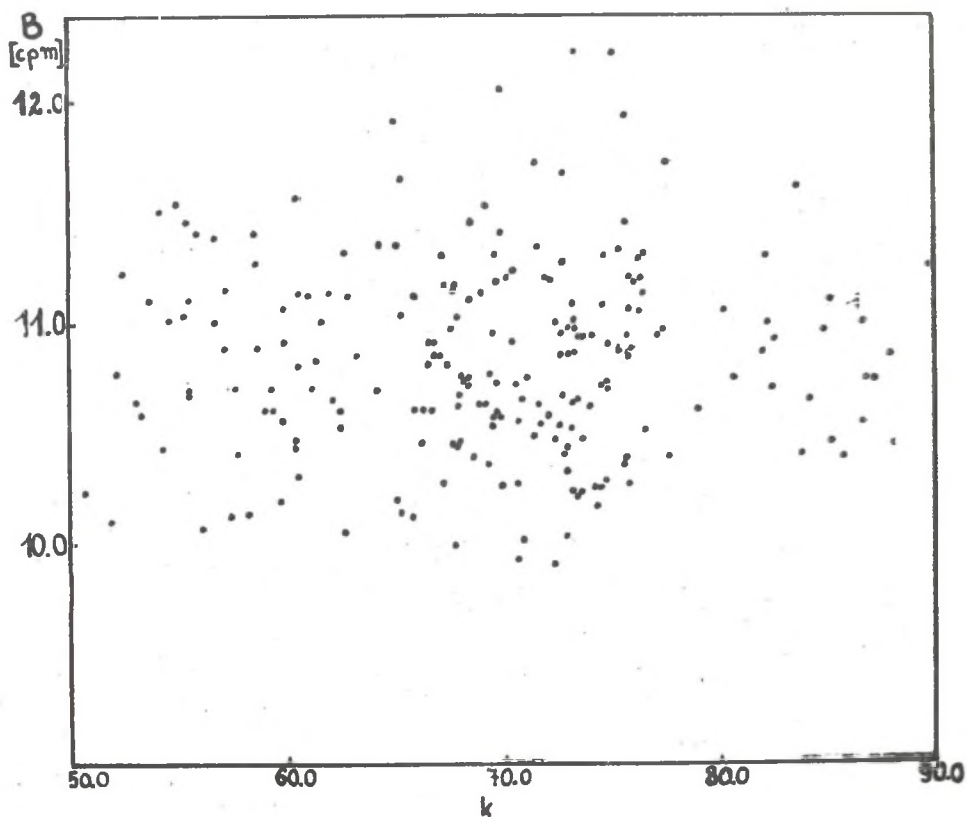
$$k = 100 \frac{I_{K2} + I_{K3}}{I_{K1}}$$

przeprowadzono badanie korelacji między k i B . Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2 i tabeli 3 (wiersz 1), dla próbek tła $B_{3/2,213}$ i $B_{3/3,83}$ nie stwierdzono żadnej istotnej korelacji pomiędzy tymi wielkościami. Wyniki pomiarów godzinnych tła $B_{3/2,213}$ w funkcji parametru k przedstawiono na rys. 3.

Można więc uważać, że wartość tła B nie zależy od punktu pracy w przyjętych granicach parametru k .

Gdyby widmo amplitudowe impulsów tła było podobne do widma amplitudowego impulsów pochodzących od promieniowania kosmicznego, należałoby się spodziewać proporcjonalnych (w granicach fluktuacji statystycznych zmian wartości

$$k_B = 100 \frac{B_2}{B_1}$$



Rys. 3. Wyniki pomiarów godzinnych tła $B_{3/2_{213}}$ w funkcji parametru k

Tabela 2

Współczynniki korelacji i regresji obliczone na podstawie pomiarów tła B3/2₁₃/60 ≤ k ≤ 80/
Przedziały ufności dla współczynników korelacji i regresji są obliczone dla poziomu ufności P = 0,95

Nr	$Y = a+b(\bar{X}-\bar{Y})$	$b \pm \Delta b$	$r \pm \Delta r$	s	σ_x	σ_x	a_y	σ_y
1	$B = a+b.(k-\bar{k})$	$0,001 \pm 0,014$	$0,010 \pm 0,16$	0,406	70,0	4,6	10,87 cpm	0,40
2	$B = a+b.(I_k-\bar{I}_k)$	$0,009 \pm 0,024$	$0,060 \pm 0,16$	0,405	132,2 cpm	2,7 opm	10,87 cpm	0,40
3	$B = a+b.(p-\bar{p})$	$0,005 \pm 0,015$	$0,051 \pm 0,16$	0,406	752,0 Tr	4,3 Tr	10,87 cpm	0,40
4	$I_k = a+b.(p-\bar{p})$	$-0,294 \pm 0,091$	$-0,460 \pm 0,12$	2,427	752,0 Tr	4,3 Tr	183,2 cpm	2,7
5	$I_k = a+b.(k-\bar{k})$	$0,045 \pm 0,099$	$0,076 \pm 0,16$	2,725	70,0	4,6	183,2 cpm	2,7

Tabela 3

Współczynniki korelacji i regresji obliczone na podstawie pomiarów tła B3/3₈₃ ($60 \leq k \leq 80$)
Przedziały ufności obliczone dla poziomu ufności P = 0,95

Nr	$Y = a+b.(X-\bar{X})$	$b \pm \Delta b$	$r \pm \Delta r$	s	a_x	σ_x	a_y	σ_y
1	$B = a+b.(k-\bar{k})$	$0,002 \pm 0,017$	$0,028 \pm 0,22$	0,358	68,7	4,5	10,86	0,36
2	$B = a+b.(I_k-\bar{I}_k)$	$0,000 \pm 0,036$	$0,000 \pm 0,22$	0,359	184,6 opm	2,2	10,86	0,36
3	$B = a+b.(p-\bar{p})$	$0,013 \pm 0,0024$	$0,121 \pm 0,21$	0,356	741,0 Tr	3,3	10,86	0,36
4	$I_k = a+b.(p-\bar{p})$	$-0,282 \pm 0,134$	$-0,412 \pm 0,18$	2,037	741,0 Tr	3,3	184,6	2,2
5	$I_k = a+b.(k-\bar{k})$	$-0,090 \pm 0,108$	$-0,161 \pm 0,20$	2,245	68,7	4,5	184,6	2,2

i k. W rzeczywistości ze względu na różnice widm stwierdzona korelacja między k_B i k ma postać (dla tła $B3/2_{213}$)

$$k_B = 56,5 + 0,818(k - 70). \quad (3.13)$$

Współczynnik korelacji

$$r(k_B, k) = 0,99. \quad (3.14)$$

Otrzymane w poszczególnych pomiarach wartości k_B w funkcji k dla próbki $B3/2_{213}$ przedstawiono na rys. 4.

W większości laboratoriów C-14 stosuje się licznikowe osłony antykoincydencyjne w takim układzie geometrycznym, który pozostawia pewien kąt bryłowy bez osłony.

W laboratoriach tych z reguły stwierdza się zależność wartości tła od natężenia składowej twardej promieniowania kosmicznego [5, 6, 7, 8] a pośrednio od ciśnienia atmosferycznego. W Laboratorium Politechniki kiej zastosowano niekonwencjonalny układ osłon, zapewniający w zasadzie osłonę licznikową w pełnym kącie bryłowym [9]. Ze względu jednak na skończoną wydajność detekcji mezonów w licznikach osłony przeprowadzone badania nad korelacją B , I_k i p. Wyniki przedstawione w tabeli 2 i tabeli 3 wykazują, że tło nie zależy ani od I_k (wiersz 2) ani od ciśnienia atmosferycznego (wiersz 3), co świadczy o bliskiej stu procentom wydajności osłon antykoincydencyjnych. Na rys. 5 przedstawiono wyniki pomiaru tła $B3/2_{213}$ w funkcji ciśnienia atmosferycznego.

Zależność natężenia składowej twardej promieniowania kosmicznego od ciśnienia atmosferycznego określa się współczynnikiem

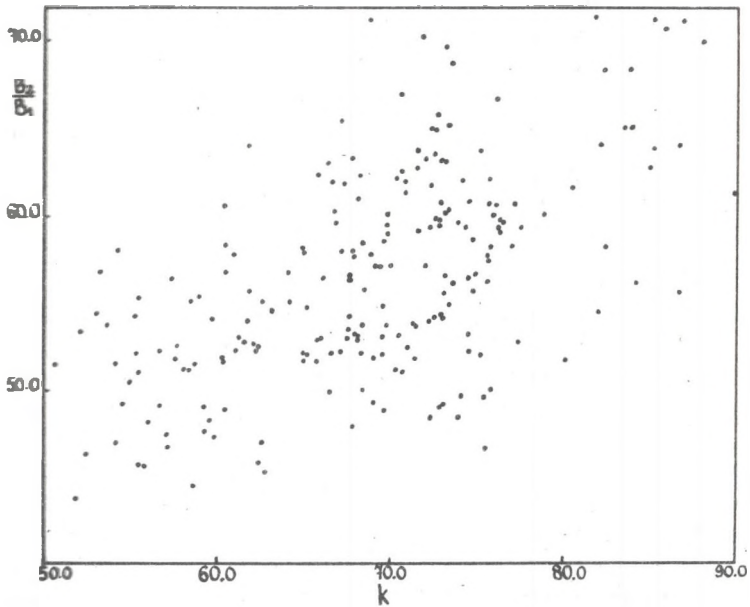
$$\alpha = \frac{\Delta I_k}{I_k} \cdot 100\%. \quad (3.15)$$

Na podstawie wartości podanych w tabeli 1, wiersz otrzymano wartość

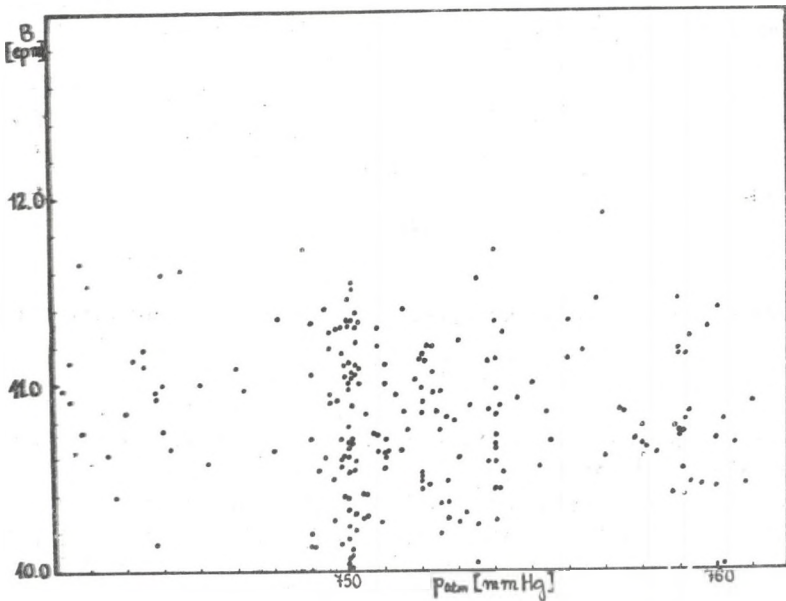
$$\alpha = (-0,16 \pm 0,05)\%/mm \text{ Hg}. \quad (3.16)$$

Wartość ta zgadza się co do rzędu wielkości z wynikami, otrzymanymi przez innych autorów [7, 19].

Jako dodatkowy sprawdzian stabilności pracy aparatury pomiarowej przeprowadzono analizę korelacji między I_k i k. Brak jakiegokolwiek korelacji (tabl. 2 i tabl. 3, wiersz 5) świadczy o przewidywanym braku wpływu zmian wartości k na I_k .



Rys. 4. Zależność wartości stosunku $k_B = 100 \cdot \frac{B_2}{B_1}$ od parametru k dla pomiarów godzinnych tła B3/2₂₁₃



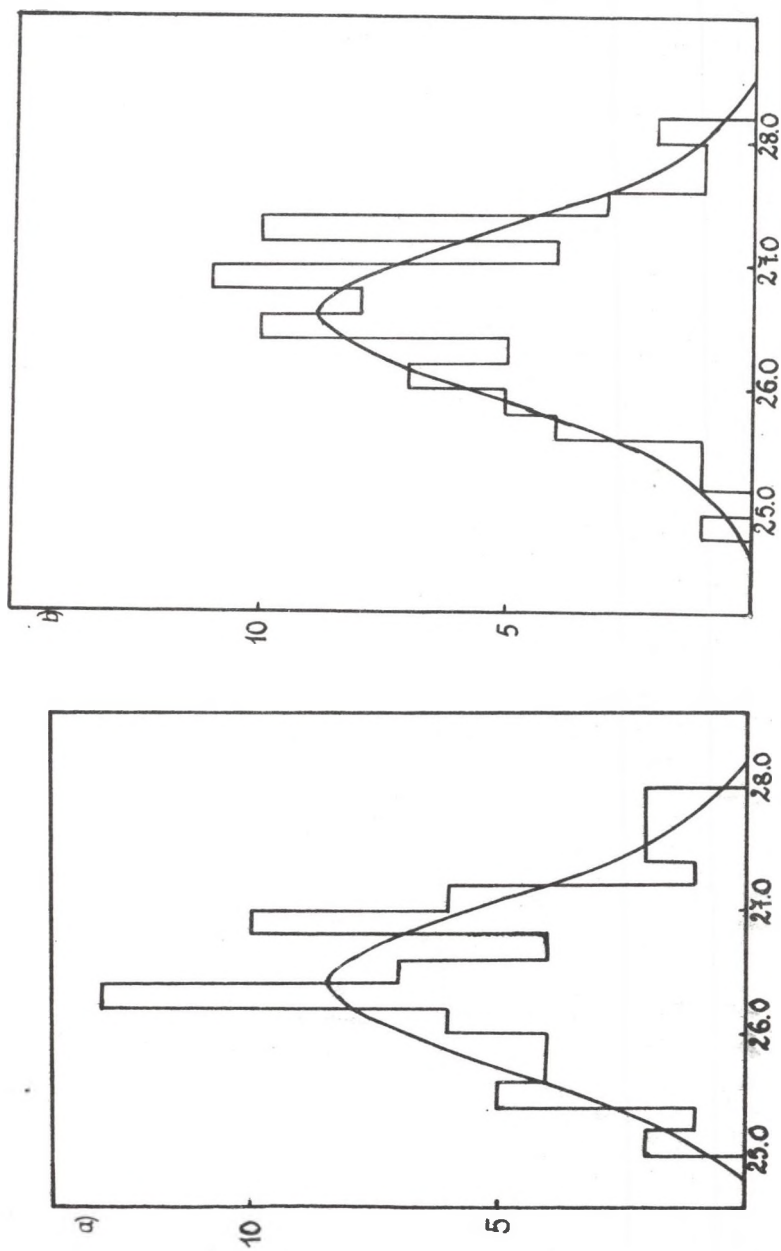
Rys. 5. Wyniki pomiarów godzinnych tła B3/2₂₁₃ w funkcji ciśnienia atmosferycznego

Celem stwierdzenia, czy wyjście poza standartowe granice parametru k powoduje jakiegokolwiek zmiany wielkości tła i stabilności pracy aparatury przeprowadzono obliczenia współczynników regresji i korelacji dla zależności przedstawionych w tabl. 2 i 3 przy uwzględnieniu pomiarów, dla których $50 < k < 90$. W wyniku obliczeń otrzymano wartości nieznacznie różniące się od podanych w tabl. 2 i 3. Różnice między wartościami odpowiednich współczynników korelacji i regresji oraz wartościami dyspersji w obu przypadkach zawsze mieszczą się w granicach przedziałów ufności, odpowiadających poziomowi ufności $P = 0,95$. Zakładając liniową zależność tła B od k dla $50 < k < 90$ otrzymano dla próbki B3/2₂₁₃ współczynnik regresji $b = -0,000 \pm 0,016$, współczynnik korelacji $r = 0,005 \pm 0,12$. Rozrzut wyników pomiarów godzinnych względem wartości średniej, czyli dyspersja $\sigma = 0,404$, zaś rozrzut względem prostej regresji, określony wzorem (3.7), $s = 0,403$. Porównanie tych wartości z wartościami przedstawionymi w tabl. 2 i 3 wskazuje, że przyjęte warunki pomiaru, dopuszczające tylko pomiary, dla których $60 < k < 80$ posiadają jeszcze duży margines bezpieczeństwa, a niewielkie przypadkowe przesunięcie się punktu pracy licznika poza ustalone granice nie stwarza niebezpieczeństwa otrzymania fałszywych wyników.

4. Pomiary standartu

Na aktywność C-14 biosfery współczesnej wpłynęły dwa czynniki: efekt industrializacyjny Suessa oraz efekt bomby atomowej. Efekt industrializacyjny, polegający na wprowadzaniu, począwszy od połowy XIX wieku eksponencjalnie rosnących ilości nieaktywnego dwutlenku węgla ze źródeł paliw kopalnianych, spowodował wzrost koncentracji nieaktywnego CO₂ w atmosferze wskutek czego koncentracja C-14 w atmosferze uległa obniżeniu w połowie bieżącego stulecia o około 3% [10]. Niezależnie, począwszy od roku 1945 w związku z próbami jądrowymi i termojądrowymi w atmosferze wprowadzono do stratosfery znaczne ilości C-14, które spowodowały czasowe wzrosty koncentracji C-14 w troposferze i biosferze, sięgające w szczytowym okresie 100% w roku 1963 [11, 12, 13, 14]. Ekstrapolowana aktywność współczesnej biosfery po odrzuceniu wpływu wyżej wymienionych efektów została otrzymana na podstawie pomiarów dobrze datowanego materiału drzewnego z pierwszej połowy XIX wieku [15, 16, 17]. Jako standart aktywności współczesnego drewna przyjmuje się 95% aktywności kwasu szczawowego ("oxalic acid - N.B.S. [17]), przy współczynniku frakcjonowania $\delta C-13 = -19\text{‰}$ (w skali Craiga [18]). Zgodnie z powszechnie przyjętą konwencją

$$S^0 = 0,95 A_{\text{ox}} \left(1 - \frac{2(19 + \delta C-13)}{1000} \right), \quad (4.1)$$



Rys. 6. Rozkład wyników pomiarów cząstkowych standardu

a) S2/4₆₉, b) S2/4₇₄

gdzie

A_{ox} - mierzona aktywność dwutlenku węgla wyprodukowanego z kwasu szczawowego, sprowadzona do ciśnienia $p_0 = 760$ mm Hg i temperatury $t_0 = 0^\circ\text{C}$,

$\delta\text{C-13}$ - współczynnik frakcjonowania izotopowego podczas reakcji produkcji CO_2 z kwasu szczawowego.

Przy analizie wyników pomiarów standartu stosowano analogiczną metodę jak w przypadku pomiarów tła. Wyniki wykonanych dotychczas pomiarów standartu przedstawiono w tabeli 4. W kolumnie 1 podany jest symbol próbki, w kolumnie 2 wynik pomiaru (aktywność standartu, z uwzględnieniem poprawek na czas martwy i ciśnienie CO_2 w liczniku) oraz błąd pomiaru. W kolumnie 3 podana jest wartość tła użyta do obliczenia aktywności standartu. Kolumny 4 i 5 zawierają standartowe błędy pomiaru szybkości zliczeń U^0 (tło + standart). Wyniki analizy korelacji pomiędzy szybkościami zliczeń, rejestrowanymi w poszczególnych kanałach przedstawiono w tabeli 5 na przykładzie pomiaru aktywności standartu S2/4. Z praktycznie identycznych wartości s (kolumna 4) i σ_s (kolumna 8) wynika, że w granicach osiągniętej dotychczas dokładności nie można stwierdzić jakiegokolwiek korelacji pomiędzy U^0 , k i L_k .

Oznacza to, że wybór k w granicach $60 < k < 80$ zapewnia poprawny pomiar U^0 i L . Na rys. 6a i 6b przedstawiono typowe przykłady rozkładów wyników pomiarów cząstkowych standartu S2/4₆₉ i S2/5₇₄. Wysokość kolumny histogramu jest równa liczbie pomiarów godzinnych, w których otrzymano wynik leżący w granicach odpowiadających szerokości kolumny.

Wyniki pomiarów godzinnych w funkcji parametru k przedstawiono na rys. 7, a na rys. 8 przedstawiono wartość stosunku

$$k_u = \frac{U_2^0}{U_1^0} \cdot 100$$

w funkcji k . Zależność k_u od k można przy aproksymacji liniowej przedstawić analitycznie wzorem

$$k_u = 36,46 + 0,310(k - \bar{k}). \quad (4.2)$$

Opierając się na zależności (3.13) i stwierdzonej niezależności wartości B od k można otrzymać

$$k_B = 30,4 + 0,29(k - 70).$$

Przy obliczaniu błędu pomiaru standartu uwzględniano wyłącznie błąd pomiaru sumarycznej szybkości zliczeń tła i standartu (U^0), błąd pomiaru

Tabela 4

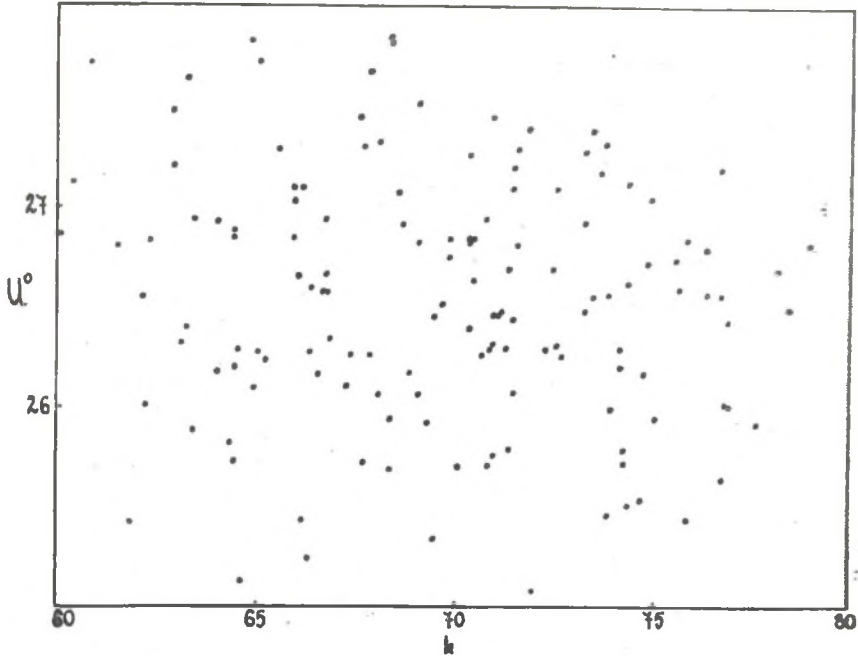
Wyniki pomiarów aktywności standardu

Symbol próbki	Aktywność standardu [cpm] $S^0 = 0,95 A_{ox}$	Wartość tła użyta do obliczenia S [cpm]	$\sigma_p (U^0)$	$\sigma_B (U^0)$	czas pomiaru [min]	Liczba pomiarów cząstek	Okres pomiaru standardu	Ciśnienie gazu w liczniku [Torr]	
S1/1	$15,42 \pm 0,20$	$10,90 \pm 0,05$	0,088	0,079	3505	6	19.5 - 22.05.1971	$760,6 \pm 5,2$	
S1/2	$14,94 \pm 0,20$	$10,90 \pm 0,05$	0,71	0,054	5320	11	22.5 - 28.05.1971	$760,0 \pm 5,3$	
S2/4	$15,10 \pm 0,10$	$10,87 \pm 0,04$	0,080	0,079	4140	69	02.12-05.12.1971	$751,7 \pm 1,6$	
S2/5	$15,16 \pm 0,10$	$10,87 \pm 0,04$	0,077	0,075	4440	74	06.12-10.12.1971	$758,5 \pm 1,6$	
S2/6	$15,11 \pm 0,15$	$10,68 \pm 0,11$	0,098	0,104	2760	46	25.03-27.03.1972	$763,8 \pm 1,6$	25-27.3.72
S2/7	$15,08 \pm 0,10$	$10,765 \pm 0,04$	0,082	0,084	3960	66	24.05-27.05.1972	$758,5 \pm 1,6$	24-27.5.72
S2/8	$15,02 \pm 0,10$	$10,765 \pm 0,04$	0,075	0,062	4680	78	05.07-10.07.1972	$763,9 \pm 2,0$	5-10.7.72

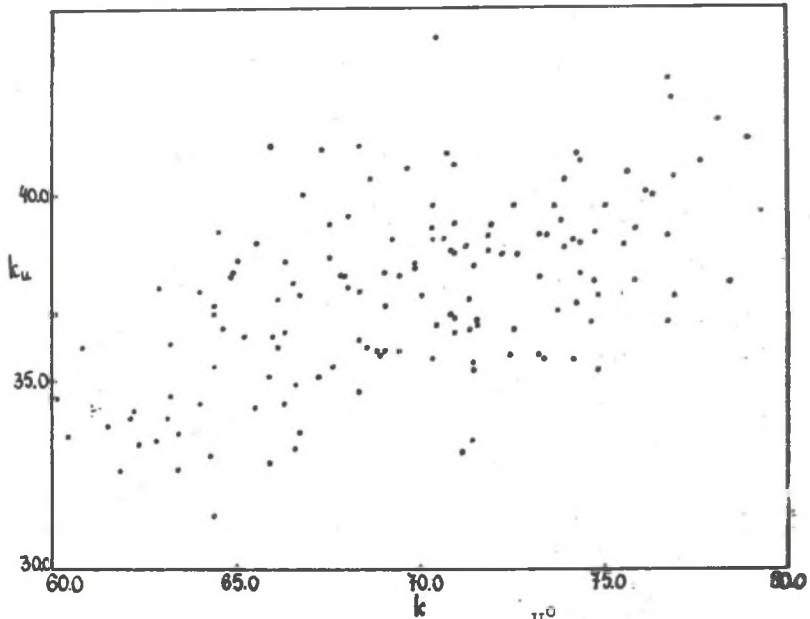
Tabela 5

Współczynnik korelacji i regresji
Standard S2/4 ($60 < k < 80$). Poziom ufności P = 0,95

$Y = a+b \cdot (X - \bar{X})$	$b \pm \Delta b$	$r \pm \Delta r$	s	a_x	σ_x	a_y	σ_y
$U^0 = a+b \cdot (k-\bar{k})$	$-0,027 \pm 0,041$	$0,166 \pm 0,24$	0,657	67,9	4,1	26,554	0,666
$U^0 = a+b \cdot (I_k - \bar{I}_k)$	$-0,068 \pm 0,073$	$0,231 \pm 0,24$	0,648	183,6	2,3	26,554	0,666
$I_k = a+b \cdot (k-\bar{k})$	$0,022 \pm 0,142$	$0,039 \pm 0,25$	2,280	67,9	4,1	183,6	2,30



Rys. 7. Wyniki pomiarów godzinnych standartu w funkcji parametru k



Rys. 8. Zależność wartości stosunku $k_u = 100 \cdot \frac{U_2^0}{U_1^0}$ od parametru k dla pomiarów standartu

tła $\sigma(B)$ oraz błąd pomiaru ciśnienia CO_2 w liczniku $\sigma(p)$. Całkowity błąd aktywności standardu oblicza się według wzoru

$$\sigma^2(S^0) = (S^0)^2 \left(\frac{\sigma^2(U^0) + \sigma^2(B)}{(U^0 - B)^2} + \frac{\sigma^2(p)}{p^2} \right).$$

W wyniku pomiarów tła i standardu w okresie od 01.10.1971 do 30.08.1972 r. otrzymano dla aktywności współczesnego drewna wartość

$$S^0 = 15,09 \pm 0,034 \text{ cpm.}$$

LITERATURA

1. W. Mościcki, W. Pomykała, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria "Matematyka-Fizyka" (w druku).
2. A. Pazdur, E. Kostkiewicz, W. Mościcki, M. Pazdur, W. Pomykała, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria "Matematyka-Fizyka" (w druku).
3. W. Mościcki, A. Bujko, J. Dutkiewicz, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Fizyka II, nr 113 (1967).
4. J.W. Dunin-Barkowski, N.W. Smirnow, Teoria wierojatnościi i matematycznej statystyka w technice, Moskwa 1955.
5. D.E. Watt, D. Ramsden, High Sensitivity Counting Techniques, Pergamon Press, 1964.
6. H. Trefall, Proc. Phys. Soc. (London), 68A, 953 (1955).
7. G.J. Fergusson, Nucleonics, 13, 18 (1955).
8. H. Stuiver, J. Geophys. Res., 66, 273 (1961).
9. E. Kostkiewicz, W. Mościcki, A. Pazdur, M. Pazdur, W. Pomykała, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Matematyka-Fizyka (w druku).
10. J. Houtermans, H.E. Suess, W. Munk, w: Radiocative Dating and Methods of Low - Level Counting, IAEA, Vienna, 57 (1967).
11. A. Walton, M.S. Baxter, W.J. Callow, M.J. Baker, ibid. 41.
12. W.S. Broecker, A. Walton, Science, 130, 309 (1959).
13. R. Nydal, Nature, 200, 212 (1963).
14. W. Mościcki, A. Bujko, J. Dutkiewicz, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Fizyka II, nr 113 (1967).
15. E.C. Anderson, W.F. Libby, Phys. Rev., 81, 64 (1951).
16. W.F. Libby, Radiocative Dating and Methods of Low-Level Counting IAEA Vienna, 1967.
17. Informator, "Radiocarbon" (nieopublikowane).
18. H. Craig, Science, 119, 29 (1954).
19. N.A. Dobrotin, Kosmiczeskije łuczii, Moskwa (1954).
20. A. Zastawny i inni, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria "Matematyka-Fizyka" (w druku).

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ФОНА И СТАНДАРТА
И АНАЛИЗ КОРРЕЛАЦИИ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ,
ВЛИЯЮЩИМИ НА РАБОЧИЙ ПУНКТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА

Р е з ю м е

В работе описаны методы статистического анализа результатов измерений в Лаборатории С-14 Института Физики Силезского политехнического института. Представлены результаты измерений фона и стандарта за период 1.X.1971 - 30.VIII.1972 г. В таблицах приведены значения коэффициентов корреляции и регрессии, полученные методом наименьших квадратов для некоторых избранных измерений фона и стандарта. Полученные результаты свидетельствуют об очень хорошей (близкой 100%) эффективности антисовпадающих защит и подтверждают правильность метода контроля рабочего пункта пропорционального счётчика.

STATISTICAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF MEASUREMENTS
OF BACKGROUND AND STANDARD AND ANALYSIS OF CORRELATIONS
BETWEEN THE PHYSICAL PARAMETERS WHICH DETERMINE THE WORKING REGION
OF THE PROPORTIONAL COUNTER

S u m m a r y

In the paper the methods of statistical analysis of the results of measurements in the C-14 Laboratory at the Nuclear Physic Group, Institute of Physics, Silesian Technical University have been described. The results of measurement of background and the standard of activity of contemporary radiocarbon, performed in the period 1.10.1971 - 30.8.1972 were given. In the tables were listed the values of regression and correlation coefficients, calculated by least squares method for several selected measurements of background and standard. The results obtained give the evidence of very good (near 100%) efficiency of the anticoincidence shielding and verify the correctness of the method of control of the proportional counter working region.