ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 32 Nr kol. 609

Mieczysław F. PAZDUR, Adam WALANUS

ANALIZA DŁUGOOKRESOWEJ STABILNOŚCI WARUNKÓW PRACY APARATURY POMIAROWEJ W LABORATORIUM C-14.

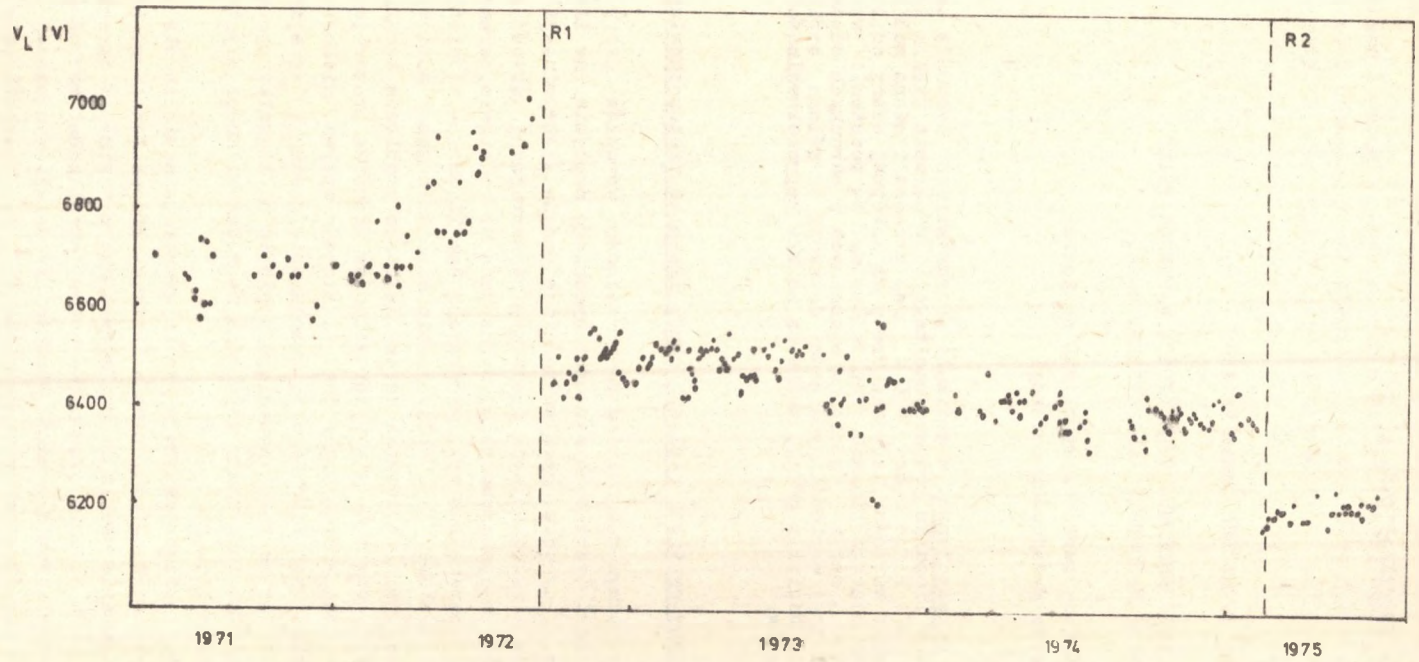
Cz. II. Zmiany wartości wysokiego napięcia i fluktuacje wydajności detekcji

Streszczenie. W artykule przedstawiono dyskusję zmian napięcia pracy licznika proporcjonalnego L1 w okresie pięciu lat, od początku 1971 r. do końca 1975 r. oraz przeanalizowano możliwość wykorzystania wartości napięcia pracy do wstępnej oceny czystości gazu wypełniającego licznik proporcjonalny. Na podstawie wartości parametru C z serii 31 pomiarów wykonanych w warunkach odpowiadających nominalnej wartości wydajności detekcji określono amplitudę fluktuacji, napięcia pracy, związaną ze złą reprodukowalnością warunków pomiarów.

1. Zmiany wartości napięcia pracy licznika proporcjonalnego

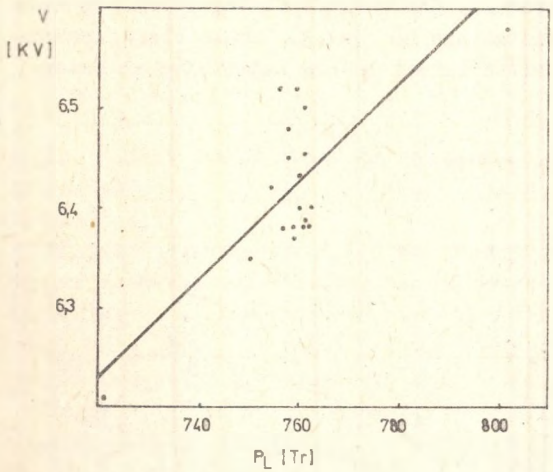
Bardzo ważnym wskaźnikiem powtarzalności warunków pracy aparatury pomiarowej jest stabilność wartości wysokiego napięcia na liczniku proporcjonalnym. Przy ustalonych wartościach progów dyskryminacji i pozostałych parametrów elektronicznych aparatury rejestrującej wartość napięcia pracy V_1 licznika proporcjonalnego, wyznaczana na podstawie parametru K, zależy jedynie od parametrów gazu wypełniającego licznik - ciśnienia gazu P_1 oraz jego czystości [1]. Wpływ różnic ciśnienia gazu może być w zasadzie oszacowany i wyeliminowany: bardzo istotnym problemem technicznym przy pomiarach aktywności C-14 z wykorzystaniem licznika proporcjonalnego wypełniającego dwutlenkiem węgla jest eliminacja wpływu niekontrolowanych zanieczyszczeń gazu roboczego na wzmocnienie gazowe i wydajność detekcji. Zachowanie się wartości wysokiego napięcia na liczniku proporcjonalnym może dać istotną informację dotyczącą reprodukowalności czystości gazu wypełniającego licznik.

Na rys. 1 przedstawiono wartości wysokiego napięcia dla wszystkich pomiarów wykonywanych przy pomocy licznika proporcjonalnego L1 (przy nominalnym ciśnieniu dwutlenku węgla wynoszącym 1 atm) w okresie od 1971 r. do 1975 r. Po okresie stosunkowo dobrej stabilności wartości wysokiego napięcia, wahających się wokół wartości średniej, wynoszącej około 6650 V, obserwuje się, począwszy od kwietnia 1972 r., systematyczny szybki wzrost aż do wartości około 7000 V w sierpniu 1972 r. Wzrost ten powodowany był



Rys. 1. Wartości napięcia pracy licznika proporcjonalnego L1 dla wszystkich pomiarów wykonywanych w okresie od 1971 r. do 1975 r.

osadzaniem się sublimatu rtęci na ściankach licznika i przewodów aparatury próżniowej służącej do oczyszczania dwutlenku węgla i wypełniania licznika pomiarowego.



Rys. 2. Zależność napięcia pracy licznika proporcjonalnego L1 od ciśnienia dwutlenku węgla wprowadzonego do licznika dla pomiarów tła wykonywanych w okresie ustabilizowania się warunków pomiarów (dla B = = 10.4 cpm, okres ok. 2 lat, 1973-1974)

Po oczyszczeniu licznika i aparatury próżniowej oraz wprowadzeniu pewnych zmian w metodyce oczyszczania gazu wartości wysokiego napięcia ustaliły się na poziomie około 6500 V, wykazując nieznaczny systematyczny spadek do wartości około 6400 V na początku 1975 r. Następna skokowa zmiana - do poziomu około 6200 V - związana jest z kolejnym oczyszczaniem aparatury próżniowej oraz obniżeniem o połowę wartości wszystkich progów dyskryminacji (V_{D1} z 10 mV na 5 mV, itd.) w torze licznika proporcjonalnego. Powolny spadek wartości wysokiego napięcia w okresie ponad dwóch lat (od września 1972 r. do lutego 1975 r.), wynoszący około 60 V/rok, może być interpretowany jako wynik starzenia się układów zasilania i pomiaru wysokiego napięcia lub jako efekt powolnego zanieczyszczania aparatury próżniowej i licznika proporcjonalnego niewykrywalnymi ilościami nieokreślonych substancji powodujących wzrost wzmocnienia gazowego, a tym samym obniżania się wartości wysokiego napięcia, wyznaczanego na podstawie kryterium K. Za przyjęciem drugiej hipotezy przemawia przedstawiona w [2] możliwość wyjaśnienia obserwowanych zmian szybkości zliczeń tła licznika proporcjonalnego.

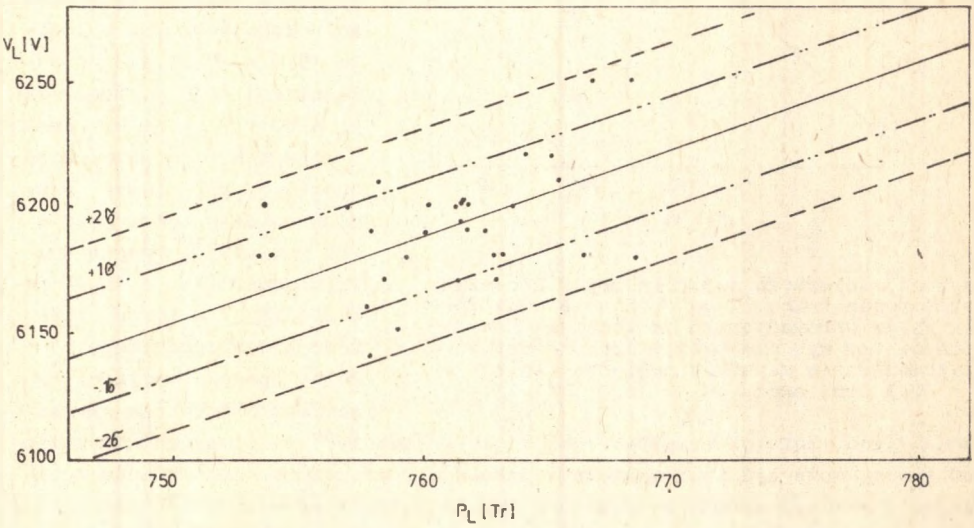
Wartości napięcia pracy V_L w funkcji ciśnienia dwutlenku węgla (zredukowanego do 0^oC), dla pomiarów tła przedstawiono na rys. 2, linia ciągła przedstawia prostą najmniejszych kwadratów dopasowaną przy założeniu równych wag statystycznych dla wszystkich pomiarów (patrz tab. 2 w [2]). Równanie tej prostej ma postać:

$$V_L = 6433 + 4.93(p_L - 757.8) \qquad (1)$$

Stwierdzona duża wartość współczynnika korelacji r = 0.673 świadczy o istotności tego związku, stwarzającej możliwość wykorzystania go do kon-

troli powtarzalności warunków pomiarów i oceny czystości gazu wypełniającego licznik proporcjonalny. Po obniżeniu napięć pracy licznika L1, związanym ze zmianą progów dyskryminacji, przeprowadzono podobne obliczenia dla 31 kolejnych pomiarów próbek o różnych aktywnościach (w tym próbek wzorcowych tła i standardu aktywności). Wartości napięć dla tych pomiarów w funkcji ciśnienia gazu p_L przedstawiono na rys. 3. Linia ciągła przedstawia dopasowaną do punktów doświadczalnych prostą najmniejszych kwadratów o równaniu:

$$V_L = 6190 + 3.42(p_L - 761.3) \qquad (2)$$



Rys. 3. Zależność napięcia pracy licznika proporcjonalnego L1 od ciśnienia dwutlenku węgla wprowadzonego do licznika (31 kolejnych pomiarów próbek o różnych aktywnościach i różnym materiale wyjściowym). Liniami przerywanymi oznaczono przybliżone przedziały ufności, odpowiadające poziomowi ufności 1σ i 2σ.

Współczynnik korelacji dla tej zależności wynosi r = 0.442, rozrzut punktów doświadczalnych względem prostej regresji określony parametrem d (wzór (1) w [2]) wynosi d = 22 V. Przerywanymi liniami oznaczonymi symbolami ± 1σ i ± 2σ zaznaczone są przybliżone przedziały ufności dla wartości wysokiego napięcia na liczniku proporcjonalnym, służące do wstępnej oceny czystości gazu i reprodukowalności warunków pomiarów.

2. Długookresowa stabilność wydajności detekcji licznika proporcjonalnego i reprodukowalność czystości gazu

Miarą wydajności detekcji w liczniku proporcjonalnym jest parametr C, zdefiniowany jako (por. [3, 4])

$$C = \frac{L}{N} \tag{3}$$

gdzie: L jest liczbą koincydencji między licznikiem proporcjonalnym a licznikami osłony, a N jest liczbą koincydencji między dwoma częściami osłony licznikowej.

Rozkład prawdopodobieństwa zmiennej C jest dyskutowany szczegółowo w [3], a metodykę kontroli wydajności detekcji i czystości gazu wypełniającego licznik pomiarowy przedstawiono w [4].

Srednia wartość parametru C dla pomiarów, przedstawionych na rys. 3, wynosi C = 1.4125, a dyspersja s_c = 0.0082. Czasy trwania poszczególnych pomiarów były zbliżone i wynosiły po ok. 3000 minut, można zatem na podstawie wzoru (por. [3])

$$\sigma_c = \left(\frac{\bar{C}(1 - 2r\sqrt{\bar{C}} + \bar{C})}{N}\right)^{1/2} \tag{4}$$

oszacować teoretyczną dyspersję związaną z rozkładem prawdopodobieństwa p(C) na σ_c = 0.0026. Różnica między wartościami s_c i σ_c może być interpretowana jako wynik niedostatecznej reprodukowalności ciśnienia gazu, wartości wysokiego napięcia odpowiadającego nominalnej wartości parametru oraz przede wszystkim czystości gazu. Można zatem przyjąć, że obserwowana, rzeczywista wartość dyspersji s_c jest rezultatem nałożenia się dwóch przypadkowych czynników, z których pierwszy opisany jest rozkładem prawdopodobieństwa p(C) z dyspersją σ_c, a drugi związany jest z fluktuacjami warunków pomiarów. Zakładając niezależności tych czynników, otrzymuje się

$$\sigma^2_{tot} = \sigma^2_{intr} + \sigma^2_{ext} \tag{5}$$

gdzie: σ_{tot} oznacza wypadkową dyspersję zmiennej C, σ_{int} oznacza składową związaną z rozkładem prawdopodobieństwa zmiennej C, a σ_{ext} oznacza składową związaną z fluktuacjami czynników zewnętrznych od pomiaru do pomiaru.

Jeżeli przypisać składową σ_{ext} jedynie fluktuacjom wysokiego napięcia na liczniku proporcjonalnym, to otrzymuje się związek między σ_{ext} a średniokwadratową amplitudą fluktuacji wysokiego napięcia σ_V w postaci

$$\sigma_{ext} = CS_L\sigma_V \tag{6}$$

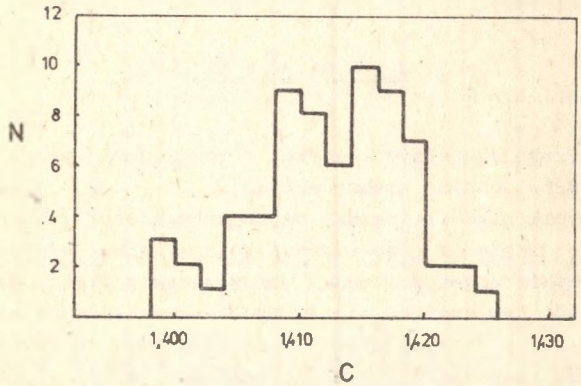
gdzie: S_L oznacza nachylenie charakterystyki licznika proporcjonalnego dla impulsów wywołanych składową przenikliwą promieniowania kosmicznego

$$S_L = \frac{\Delta L/L}{\Delta V_L} 100\% \tag{7}$$

Z równań (5) i (6), po wstawieniu s_c za σ_{tot} oraz σ_c za σ_{intr}, otrzymuje się

$$\sigma_v = \frac{(s_c^2 - \sigma_c^2)^{1/2}}{\bar{C} S_L} \tag{8}$$

Korzystając z podanych wyżej wartości s_c, σ_c i C oraz ze znanego nachylenia S_L = 1.6%/100 V [5], otrzymuje się σ_V = 27 V, to jest wartość zbliżoną do obserwowanego rozrzutu punktów doświadczalnych względem prostej represji przedstawionej na rys. 3, wynoszącego 22 V.



Rys. 4. Doświadczalny rozkład wartości parametru C dla 68 kolejnych pomiarów wykonanych przy pomocy licznika L1. Na histogramie nie zaznaczono wartości C dla czterech pomiarów wykonanych przy znacznie zaniżonej wartości wydajności detekcji (C ~ 1.37: por. [4])

Na rys. 4 przedstawiono histogram wartości C dla wszystkich pomiarów wykonanych od wprowadzenia rejestracji liczby koincydencji N (z wyjątkiem czterech pomiarów dla próbek Gd - 335 A, 336 A, 337 A i 339 A, dla których wartości C wynosiły odpowiednio 1.368, 1.374, 1.372 i 1.370). Doświadczalny rozkład parametru C jest rozkładem o wyodrębnionych trzech modach, wynoszących odpowiednio m_1 = 1.399, m_2 = 1.410 i m_3 = 1.415. Do trzeciej grupy pomiarów, skupionych wokół wartości m_3 = 1.415 główny wkład dają pomiary wykonywane w okresie wstępnych prób, mających na celu opracowanie metodologii stosowania parametru C do oceny czystości gazu i wydajności

detekcji. Grupa pomiarów skupiona wokół wartości m_2 = 1.410 odpowiada optymalnym warunkom pomiarów - wyznaczona w drodze szczególnych analiz warunków pomiarów wartość parametru C, odpowiadająca (z definicji) wartości wzorcowej, wynosi C_0 = 1.412 [4]. Grupa pomiarów skupiona wokół wartości m_1 = 1.399 odpowiada niewielkiemu zaniżeniu wydajności detekcji, wynoszącemu około 0.92%. Pomiarów takich jest pięć, co stanowi ok. 7% całkowitej liczby pomiarów ($n_{całk}$ = 68). Oznacza to, że stabilność warunków pracy aparatury próżniowej, a zatem reprodukowalność czystości gazu używanego do wypełnienia licznika proporcjonalnego może być uznana za zadowalającą.

3. Stabilność wydajności detekcji podczas pojedynczej serii pomiarowej

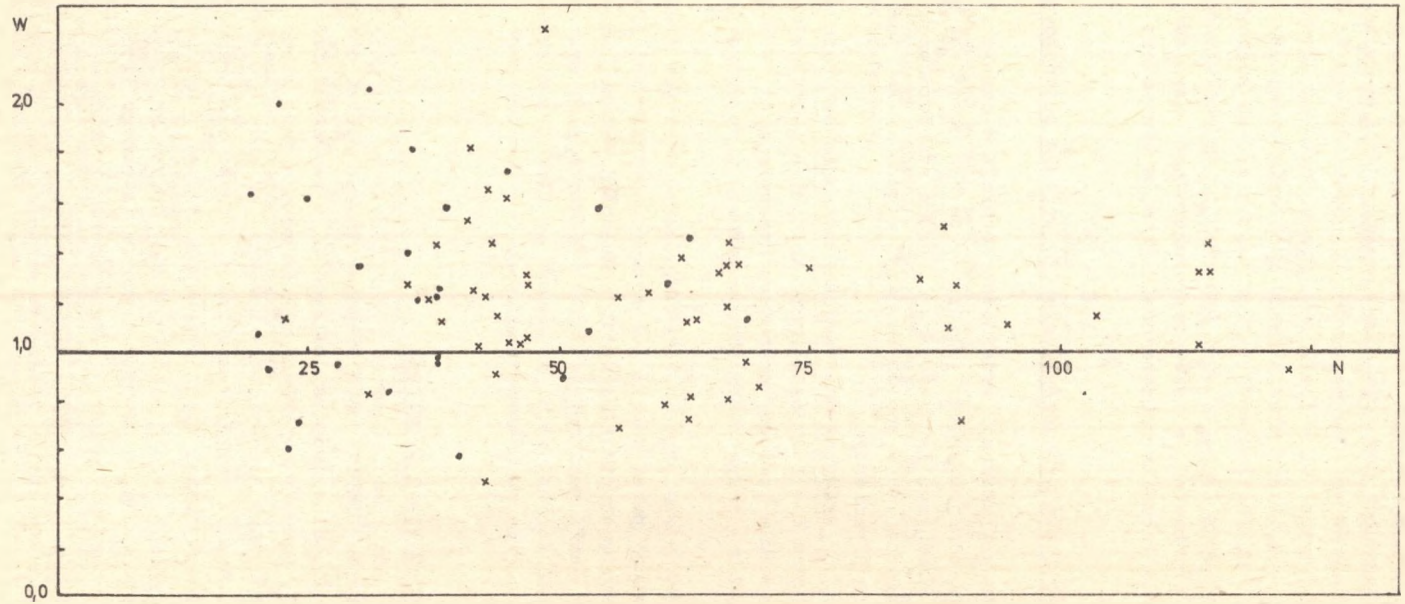
Amplituda fluktuacji wydajności detekcji w czasie trwania pojedynczej serii pomiarowej szybkości zliczeń może być określona na podstawie stosunku błędu średniego kwadratowego do błędu standardowego wynikającego z rozkładu Poissona lub w sposób bardziej wygodny - za pośrednictwem stosunku odpowiednich wariancji.

Na rys. 5 przedstawiono wartości stosunku estymatorów wariancji szybkości zliczeń dla kilkudziesięciu kolejnych pomiarów wykonywanych w okresach stosowania lampowej aparatury rejestrującej z rejestracją co 60 minut (krzyżyki) i aparatury tranzystorowej z rejestracją co 100 minut (kółka).

Wartości z obu okresów fluktuują wokół wartości średnich większych od przewidywanej przez teorię [6] wartości oczekiwanej równej 1. Jest to efektem występowania fluktuacji wydajności detekcji w czasie trwania pojedynczej serii pomiarowej. Punkty doświadczalne wykazują zgodną z przewidywaniami teoretycznymi zależność od liczby pomiarów cząstkowych, składających się na daną serię pomiarową.

4. Podsumowanie i wnioski

W pierwszej serii pracy przedyskutowano wyniki pomiarów szybkości zliczeń tła licznika proporcjonalnego L1 i szybkości zliczeń standardu "oxalic acid NBS". Rozrzut wyników pomiarów wzorca jest nieco większy niż średni błąd standardowy pojedynczego pomiaru, co może być efektem zmian warunków pomiarów. Wyniki pomiarów szybkości zliczeń tła wykazują istnienie znacznych systematycznych zmian czasowych, jednak z przeprowadzonej analizy wynika, że zmiany te nie mają istotnego wpływu na wyniki pomiarów szybkości zliczeń standardu, a zatem nie wnoszą istotnego błędu również w przypadku pomiarów chronometrycznych. Stwierdzono niezależność szybkości zliczeń tła od natężenia składowej przenikliwej promieniowania kosmicznego oraz praktycznie nieistotną zależność wartości tła od ciśnienia gazu wypełnia-



Rys. 5. Wartości stosunku estymatorów wariancji szybkości zliczeń w funkcji liczby pomiarów cząstkowych składających się na daną serię pomiarową. (X - aparatura lampowa, rejestracja w przedziałach sześćdziesięciominutowych, O - aparatura tranzystorowa, rejestracja w przedziałach stuminutowych)

jącego licznik proporcjonalny. W drugiej części przeanalizowano zmiany napięcia pracy licznika proporcjonalnego oraz wpływ ciśnienia gazu na punkt pracy. Zmiany punktu pracy licznika pomiarowego potwierdzają hipotezę wysuniętą w pierwszej części artykułu, dotyczącą mechanizmów wywołujących obserwowane zmiany wartości tła licznika proporcjonalnego.

Z analizy zależności napięcia pracy licznika od ciśnienia gazu wynika, że związek między V_L i p_L może być wykorzystany do wstępnej oceny czystości gazu wypełniającego licznik proporcjonalny, stanowiąc uzupełnienie opracowanej metodyki oceny wydajności detekcji licznika pomiarowego [4].

LITERATURA

[1] Zastawny A., Kostkiewicz E., Mościcki W., Pazdur A., Pazdur M., Pomykała W., Zesz.Nauk.Pol.Śl. Seria Mat.-Fiz., z. 23 (1973).

[2] Pazdur M.F., Walanus A., Analiza długookresowej stabilności warunków pracy aparatury pomiarowej w Laboratorium C-14. I. Analiza reprodukowalności warunków pomiarów próbek tła i standardu aktywności. Zesz. Nauk.Pol.Śl., Seria Mat.-Fiz. (1979), z. 32, 111.

[3] Walanus A., Pazdur M.F., Statystyczne problemy kontroli wydajności detekcji licznika proporcjonalnego przy pomiarach naturalnych koncentracji C-14. Zesz.Nauk.Pol.Śl. Seria Mat.-Fiz. (1979), z. 32, 131.

[4] Pazdur M.F., Walanus A., Mościcki W., Nucl. Instruments Methods, 151 (1978) 541.

[5] Pazdur A., Kostkiewicz E., Mościcki W., Pazdur M., Pomykała W., Zastawny A., Zesz.Nauk.Pol.Śl., Seria Mat.-Fiz., z. 23 (1973) 1.

[6] Pazdur M.F., Acta Phys. Pol. A48 (1975) 175.

АНАЛИЗ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ В ЛАБОРАТОРИИ C-14

Част. 2. Изменение величины высокого напряжения и флуктуации эффективности детектирования

Р е з ю м е

В статье было рассмотрено изменение работы пропорционального счётчика L1 в течение 5 лет, с начала 1971 до конца 1975 а также была рассмотрена возможность использования величины напряжения работы для предварительной оценки чистоты газа, заполняющего пропорциональный счётчик.

На основании величины параметра C с серии 31 измерений, произведённых в условиях соответствующих номинальной величине эффективности детектирования была определена амплитуда флуктуации напряжения работы, вызванная плохим воспроизведением условий измерений.

LONG-TERM STABILITY OF COUNTING EQUIPMENT IN RADIOCARBON LABORATORY
II. Changes of high voltage and fluctuations of counting efficiency

S u m m a r y

The changes of working voltage of proportional counter L1 in the period since the beginning of 1971 to the end of 1975 are discussed. It was found that the values of working voltage of proportional counter enables the possibility of preliminary checking the purity of filling gas. Basing on the series of 31 carefully performed measurements the amplitude of working voltage fluctuations was estimated.