

A. Zastawny, E. Kostkiewicz, Wł. Mościcki,  
A. Pazdur, M. Pazdur, W. Pomykała  
Politechnika Śląska, Instytut Fizyki

ZASADA WYZNACZANIA I KONTROLI PUNKTU PRACY  
LICZNIKA PROPORCJONALNEGO W LABORATORIUM C-14

**Streszczenie.** Metoda jest oparta na założeniu, że przy stałych parametrach fizycznych licznika proporcjonalnego i stałej geometrii jego ustawienia oraz osłon materiałowych, kształt widma amplitudowego impulsów z licznika od mezonów promieniowania kosmicznego jest stały. Punkt pracy l.p. wyznacza się i kontroluje przy pomocy wielkości  $k$  będącej ilorzem szybkości zliczeń składowej mezonowej z dwu kanałów amplitudowych rozdzielających widmo składowej mezonowej na dwie części. Dyskutowuje się skuteczność metody przy różnych domieszkach gazowych zmieniających lub psujących wypełnienie gazowe l.p. Podaje się rezultaty stosowania metody.

W geochrometrii metodą C-14 wiek próbki wyznacza się z pomiarów szybkości zliczeń impulsów detektora pochodzących a) od badanej próbki, b) od standartu aktywności C-14 współczesnej biosfery i c) od standartu tła. Pomiaru te, niezależne od siebie są wykonywane jednym detektorem w nie nachodzących na siebie interwałach czasu. Ponieważ wymagana dokładność pomiarów jest rzędu 1%, a szybkość zliczeń zawiera się w granicach od kilku do kilkadziesiąt zliczeń na minutę, czas jednego pomiaru waha się w granicach od kilku do kilkunastu godzin. Przedstawione warunki stawiają przed aparaturą pomiarową wymogi dużej stabilności efektywności rejestracji w czasie jednego pomiaru i od pomiaru do pomiaru. Praktyka laboratoryjna dowodzi, że przy obecnej technice pomiarów, stabilność efektywności rejestracji aparatury - nazywanej punktem pracy detektora - decyduje o wypadkowej dokładności pomiarów.

Punkt pracy licznika proporcjonalnego (l.p.) jest określony przez progę dyskryminacji aparatury elektronicznej i wzmocnienie gazowe l.p. Stosowane obecnie aparatury elektroniczne na ogół spełniają warunek wymaganej stabilności progów dyskryminacji. Wielkością niewrażliwą jest wzmocnienie gazowe l.p. zależne od wartości wysokiego napięcia przyłożonego do licznika, składu gazu wypełniającego licznik i temperatury. Względne fluktuacje wysokiego napięcia powodują kilkanaście razy większe względne fluktuacje wzmocnienia gazowego. Zależność wzmocnienia gazowego l.p. od rodzaju i ciśnienia cząstkowego nie kontrolowanych domieszek zanieczyszczeń gazu roboczego jest też bardzo silna.

O stabilności punktu pracy l.p. w pomiarach geochrometrycznych decyduje właściwy wybór p. pracy na początku pomiaru i utrzymanie jego stałej

wartości w czasie pomiaru. Mimo wieloletniej praktyki laboratoriów C-14, nie wypracowano jednej wypróbowanej metodyki wyznaczania utrzymania i ciągłej kontroli punktu pracy l.p. W literaturze przedmiotu brak nawet opisów konkretnych rozwiązań powyższych problemów.

W pierwszym okresie pracy nad metodyką pomiarów C-14 [1] autorzy wyznaczali punkt pracy l.p. mierząc, przy stałym progu dyskryminacji aparatury elektronicznej, charakterystykę licznika proporcjonalnego, tj. zależność szybkości zliczeń od składowej mezonowej promieniowania kosmicznego w funkcji napięcia na liczniku. Po wyznaczeniu szybkości zliczeń w plateau licznika określono napięcie  $V_1^0$  na części stromej charakterystyki odpowiadające połowie zliczeń w plateau. Wyznaczone napięcie winno mieścić się w ustalonym eksperymentalnie przedziale napięć. Gdy warunek ten nie był spełniony, wypełnienie gazowe l.p. uważano za złe, nie nadające się do pomiaru. Jeżeli wypełnienie licznika uznawano za dobre, określano napięcie pracy l.p. równe sumie wyznaczonego wcześniej napięcia i stałej wartości (około 1000 V) ustalonej eksperymentalnie. Różne wersje tej metody stosowano też w innych laboratoriach (np. [2]). Metodę tę można uważać za poprawną, jeżeli wprowadzi się surowe kryterium odnośnie czystości gazu, przyjmując około 20 V jako dopuszczalny przedział fluktuacji napięcia  $V_1^0$ . Praktyka laboratoryjna dowodzi, że jest to warunek bardzo trudny do spełnienia i przyjmuje się większy przedział fluktuacji napięcia  $V_1^0$  (około 200 V) a co za tym idzie, godzi się na większą tolerancję czystości gazu. W tym przypadku, mimo że wyznaczonym napięciom na czole charakterystyki odpowiadają stałe wzmocnienia gazowe, przy napięciach większych o stałą wartość, wzmocnienie gazowe może być różne dla różnych wypełnień, zawierających małe ilości nie kontrolowanych zanieczyszczeń.

W znanej autorom metodzie stosowanej w niektórych laboratoriach<sup>1)</sup> punkt pracy l.p. wyznacza się przy pomocy zewnętrznego źródła promieni X o energii kilku keV, jonizującego gaz w liczniku. Wybiera się napięcie na liczniku tak, aby w stałych eksperymentalnie ustalonych warunkach (progi dyskryminacji analizatora amplitud, sposób rejestracji itp.) rejestrować promieniowanie źródła kalibrującego. Jeżeli wyznaczone napięcie mieści się w eksperymentalnie określonych granicach przyjmuje się je jako napięcie pracy. W przeciwnym przypadku wypełnienie uważa się za złe. Metoda ta, merytorycznie poprawna, wiąże się z pewnymi trudnościami eksperymentalnymi. Pierwszą z nich jest konieczność montowania w liczniku cienkiego okienka dla przepuszczania wiązki promieniowania jonizującego gaz w sytuacji, gdy konstrukcja licznika musi być wytrzymała na nadciśnienia od 1 do 4 Atm. Drugą trudnością jest ustalenie geometrii eksperymentu, ponieważ cały licznik otoczony jest pierścieniem liczników lub scyntylatora osłony antykońcencyjnej i osłoną materiałową. Trzecią jest konieczność stosowania

<sup>1)</sup> Prywatne komunikaty.

osobnego analizatora amplitud impulsów, lub innego układu progów dyskryminacji aparatury elektronicznej do rejestracji promieniowania kalibrującego.

Kontroli punktu pracy w czasie pomiaru na ogół nie prowadzi się zakładając, że wysokie napięcie na liczniku oraz aparatura są dostatecznie stabilne a gaz wypełniający licznik nie zmienia swoich własności.

Doświadczenie laboratoryjne dowodzi, że żadne z tych założeń nie jest słuszne.

Autorzy szukając innego rozwiązania problemu, zastosowali [3] w późniejszym okresie swej pracy zmodyfikowany wariant drugiej z opisanych wcześniej metody, w którym omija się wymienione przy metodzie trudności. Źródłem kalibrującym był izotop Co-60 ustawiany w stałej geometrii. Rejestrowano impulsy o amplitudach większych od pewnego progu dyskryminacji wykorzystywanego w pomiarach geochronometrycznych jako jeden z progów wyznaczających dwa kanały analizy impulsów. Kalibracja polegała na wyznaczeniu krzywej zależności szybkości zliczeń w funkcji napięcia na liczniku w okolicy spodziewanego napięcia pracy. Napięcie pracy wyznaczał punkt przecięcia linii prostej przecinającej krzywą w punktach o rzędnych 20 i 200 cpm z osią napięć. Równocześnie wprowadzono kontrolę punktu pracy przez pomiar szybkości zliczeń impulsów od składowej mezonowej promieniowania kosmicznego w dwu kanałach amplitudowych w kilkudziesięciu minutowych interwałach czasu.

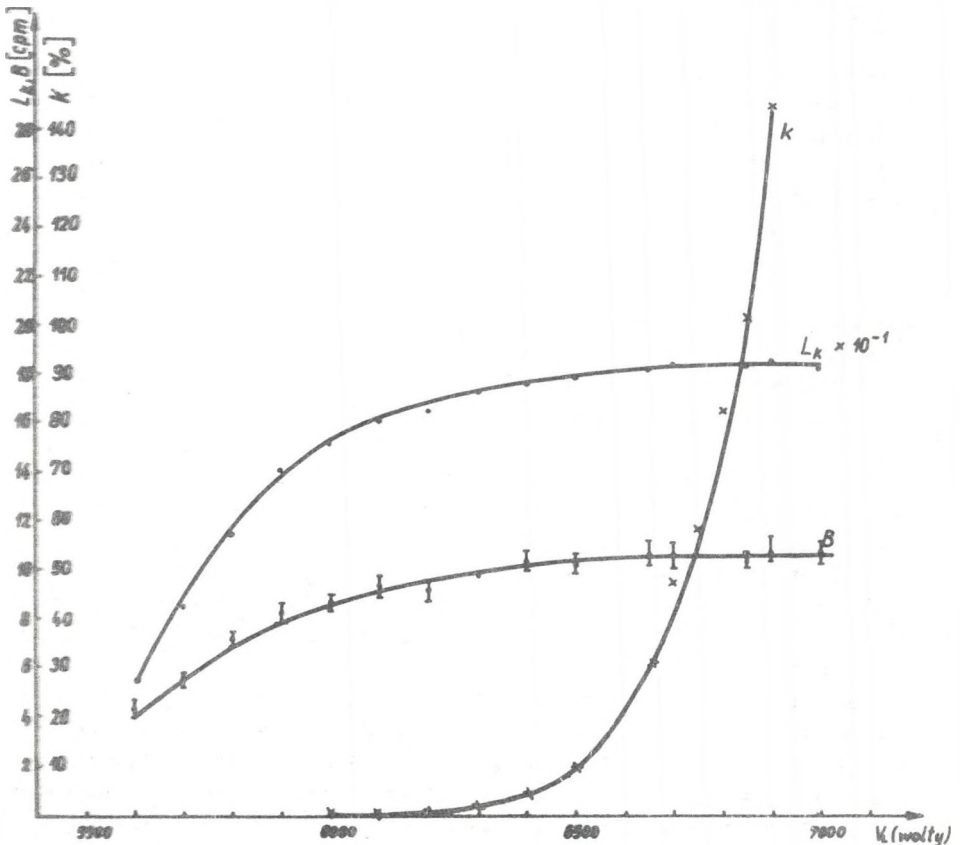
W Laboratorium C-14 w Gliwicach przyjęto, na podstawie kilkuletnich doświadczeń stosowania metody przedstawionej w pracy [3], metodę wyznaczania i kontroli w czasie pomiaru punktu pracy l.p. polegającą na kontroli kształtu widma amplitud od składowej mezonowej promieniowania kosmicznego rejestrowanych w liczniku. U podstaw metody leży stwierdzenie, że przy stałych parametrach fizycznych licznika i przy niezmiennej geometrii osłon materiałowych oraz ustawienia licznika, kształt widma amplitudowego impulsów od mezonów zależy wyłącznie od rozkładu kierunków przelotu mezonów przez licznik jest stały w granicach przewidywanych fluktuacji statystycznych.

Impulsy z licznika pochodzące od mezonów promieniowania kosmicznego rejestruje się w trzech kanałach amplitudowych o progach dyskryminacji  $V_{D1} = 5$  mV,  $V_{D2} = 0,4$  V i  $V_{D3} = 2$  V ustalonych doświadczalnie. W kanale pierwszym rejestruje się impulsy o amplitudach większych od  $V_{D1}$  a mniejszych od  $V_{D2}$ , w kanale drugim o amplitudach większych od  $V_{D2}$  a mniejszych od  $V_{D3}$  i w trzecim o amplitudach większych od  $V_{D3}$ .

Przeciętne szybkości zliczeń w poszczególnych kanałach wynoszą kolejno  $L_{k1} = 109$  cpm,  $L_{k2} = 72$  cpm,  $L_{k3} = 2$  cpm. Suma impulsów składowej mezonowej  $L_k = L_{k1} + L_{k2} + L_{k3} = 183$  cpm waha się na skutek fluktuacji sezonowych, ciśnienia atmosferycznego itp. w granicach  $\pm 4$  cpm. Progi kanałów są tak dobrane, że całe widmo amplitudowe impulsów od rozpadów C-14 mie-

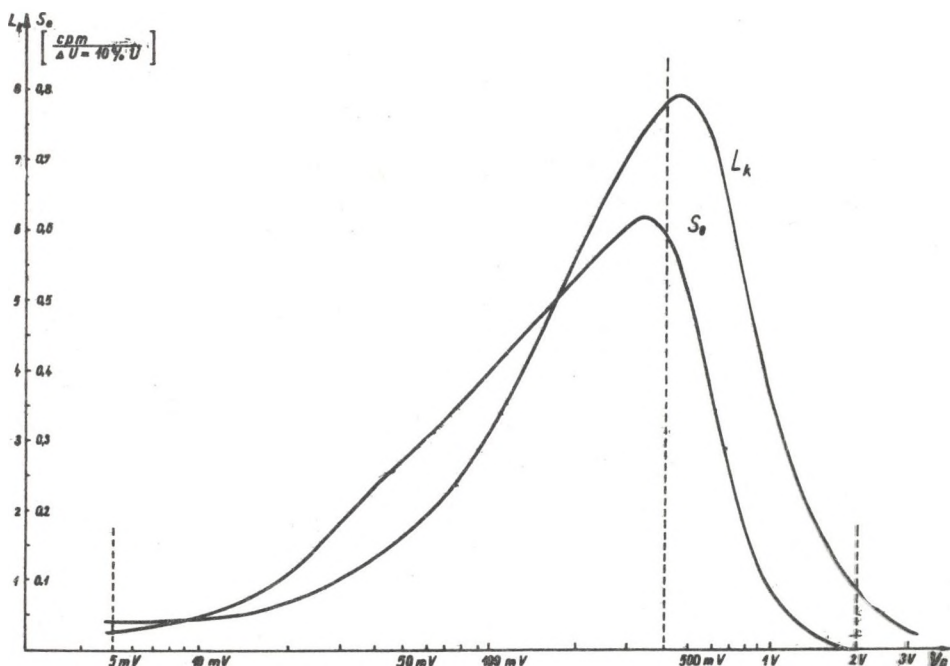
ści się w kanale pierwszym i drugim. Punkt pracy l.p. wyznacza się i kontroluje wielkością  $k = (L_{k2} + L_{k3})/L_{k1}$ .

W punkcie pracy licznika, nominalna wartość wielkości  $k$  - ustalona eksperymentalnie - jest  $k^x = 70\%$ . Punkt pracy l.p. wyznacza się w taki sposób, że przy wykalibrowanych progach dyskryminacji, ustawia się taką wartość napięcia na liczniku aby  $k$  było równe w przybliżeniu wartości nominalnej. Znalezione napięcie jest napięciem pracy. Nie powinno ono być większe od określonej doświadczalnie granicy, a wartość  $L_k$  musi być bliska wartości spodziewanej. Gdy jeden z tych warunków nie jest spełniony, wypełnienie uważa się za złe.



Rys. 1. Zależność współczynnika  $k$  oraz szybkości zliczeń  $L_k$  składowej mezenowej promieniowania kosmicznego i szybkości zliczeń  $B$  tła w funkcji wysokiego napięcia  $V_L$  na liczniku dla stand. tu tła B5/4 (26-29.02.72.)

Z przedstawionych na rys. 1 zależności szybkości zliczeń  $L_k$  i tła  $B$  oraz współczynnika  $k$  w funkcji wysokiego napięcia na liczniku widać, że punkt pracy l.p. leży w obszarze plateau a  $k$  silnie zależy w tym obsza-



Rys. 2. Widmo amplitud impulsów rozpadów C-14 standardu aktywności współczesnej - krzywa  $S_0$  i widmo amplitud impulsów od składowej mezonowej promieniowania kosmicznego - krzywa  $L_K$

Pomiary widm wykonano w punktach pracy l.p. Widmo  $S_0$  wyznaczono z pomiarów z gazem o aktywności C-14 około 30 razy większej od standardu aktywności współczesnej, przeliczonych do standardu. Widmo  $L_K$  wyznaczono z pomiarów standardu tka. Napięcie pracy w obu przypadkach około 6600 V. Na osi rzędnych jest odłożona liczba zliczeń w przedziale amplitud  $\Delta U$  takim, że odpowiada mu  $\Delta(\ln U) = 0,095$ , tj. w przybliżeniu  $\Delta U = 0,1 U$ . Według orientacyjnych oszacowań, próg dyskryminacji 5 mV, 0,4 V i 2 V można przypisać energie odpowiednio 0,3 keV, 60 keV i 1 MeV. Pomiary wykonano 128-kanalowym analizatorem amplitud typu AJ-128, oddzielnie w czterech przedziałach amplitud



rze od wartości napięcia na liczniku a więc od wzmocnienia gazowego. Eksperymentalnie ustalono [4], że przy zmianach napięcia pracy licznika odpowiadających zmianom  $k$  od 50% do 90% szybkości zliczeń  $I_k$ , tła  $B$  i efektu  $C-14$  są stałe.

Wyniki pomiarów są rejestrowane automatycznie w jednogodzinnych interwałach czasu. Wyliczane wartości  $k$  z tych pomiarów informują o położeniu punktu pracy. Wyniki pomiarów z tych jednogodzinowych interwałów czasu, w których wyliczone wartości  $k$  różnią się więcej niż o 10% od wartości nominalnej - 70% są odrzucane. Prowadzona w taki sposób kontrola punktu pracy l.p. w czasie pomiaru, obejmuje też progi dyskryminacji a więc aparaturę elektroniczną. Szczegółowe statystyki pomiarów [4] dowodzą skuteczności przyjętej metody wyznaczania i kontroli punktu pracy l.p.

Na rysunku 2 pokazane są wykresy widm amplitud impulsów od składowej mezanowej promieniowania kosmicznego  $I_k$  i od rozpadów  $C-14$   $S_0$ . Wielkości  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$  i  $I_{k3}$  są reprezentowane na rys. 2 przez pola pod krzywą  $I_k$  ograniczone odciętymi (linie przerywane)  $V_{D1}=5$  mV,  $V_{D2}=0,4$  V,  $V_{D3}=2$  V.

Jeżeli dwutlenek węgla wypełniający licznik jest zanieczyszczony domieszką gazu nie elektroujemnego ale obniżającego współczynnik wzmocnienia gazowego l.p., to odpowiadające mu wykresy widm  $S_0$  i  $I_k$  przesuną się w kierunku mniejszych napięć w stosunku do sytuacji przedstawionej na rys. 2, którą można nazywać umownie wzorcową. Wartość  $k$  jest wtedy mniejsza od nominalnej. Podwyższając napięcie na liczniku zwiększa się wzmocnienie gazowe l.p., wykresy widm przesuwają się do położenia wzorcowych, współczynnik  $k$  osiąga wartość nominalną, punkt pracy licznika wraca do położenia standardowego. Gdy domieszką wypełnienia jest gaz zwiększający współczynnik wzmocnienia gazowego, przebieg zjawisk jest podobny tylko w przeciwnym kierunku.

Fluktuacje wysokiego napięcia lub inne czynniki powodujące zmiany współczynnika wzmocnienia gazowego l.p. w czasie pomiaru powodują przesuwanie się wykresów widm względem osi odciętych. Niestabilności aparatury elektronicznej polegające na zmianach progów dyskryminacji  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$  i  $V_{D3}$  są równoczesne przesuwaniu się na rys. 2 linii przerywanych przypisanych odpowiednim progom. W obu przypadkach ujawnia się to w zmianach współczynnika  $k$ . W przypadku obecności domieszki gazu elektroujemnego, część elektronów pierwotnych wytworzonych przez rejestrowaną cząstkę w procesie jonizacji pierwotnej, przykleja się do molekuł elektroujemnych w czasie dryfu do obszaru wzmocnienia gazowego. Zarejestrowana amplituda impulsu jest mniejsza od oczekiwanej. Liczba przyklejonych elektronów pierwotnych jest proporcjonalna do czasu dryfu elektronów pierwotnych. Dlatego zmniejszenie amplitud impulsów jest duże w przypadku cząstek jonizujących których tory jonizacji pierwotnej są położone dalej od nici anodowej, a bardzo małe lub pomijane w przypadku cząstek, których tory jonizacji pierwotnej przebiegają w pobliżu nici anodowej. W efekcie rejestrowane widmo impulsów zostaje rozmyte w kierunku mniejszych amplitud a powstałe w licz-

niku jony ujemne wytwarzają dodatkowe impulsy o małych amplitudach. Jeżeli zanieczyszczenie nie jest duże, zniekształcenie widm jest małe i sytuacja jest podobna do przypadku domieszki gazu obniżającego współczynnik wzmocnienia gazowego. Zwiększając odpowiednio wzmocnienie gazowe przez podwyższanie napięcia na liczniku, można osiągnąć warunki bliskie standardowym. Ponieważ w przypadku domieszki gazu elektroujemnego widmo impulsów jest tylko rozmyte a nie przesunięte w kierunku mniejszych impulsów, powstaje pewna liczba impulsów o amplitudach dużych. Zwiększenie wzmocnienia gazowego w celu osiągnięcia nominalnej wartości  $k$  powoduje, że w kanałach  $B_3$  i  $L_{k3}$  liczby zliczanych impulsów stają się większe od nominalnych. Efekt ten pozwala odróżnić przypadki zanieczyszczeń dwutlenku węgla gazem obniżającym współczynnik wzmocnienia gazowego od przypadku zanieczyszczeń gazem elektroujemnym.

Przy większych ilościach domieszek gazu elektroujemnego, widmo impulsów zupełnie nie przypomina widma właściwego, staje się monotonicznie rosnące w kierunku małych amplitud i zlewa się z impulsami fałszywymi. Zwiększając wtedy napięcie na liczniku można wprawdzie uzyskać takie warunki przy których współczynnik  $k$  osiągnie wartość nominalną, jednakże część widna amplitud impulsów  $L_k$  będzie leżała w zakresie amplitud mniejszych od  $V_{D1}$  co objawia się wyraźnie zmniejszoną od oczekiwanej wartością  $L_k$  ( $183 \pm 4$  cpm).

Przykładami takich zanieczyszczonych wypełnień są: próbka S1 z dn. 17.05.71 dla której przy napięciu  $V = 7000$  V,  $L_k = 110$  cpm,  $k = 59\%$  lub próbka Im-8 z dn. 04.06.71 dla której  $V = 6900$  V,  $L_k = 157$  cpm  $k = 59\%$  i próbka PK z dn. 04.05.72,  $V = 6700$  V,  $L_k = 127$  cpm,  $k = 2\%$ .

Z przedstawionych rozważań wynika, że domieszki gazów zwiększających współczynnik wzmocnienia gazowego w zasadzie nie przeszkadzają pracy L.P. Jest nawet wiele przypadków w technice L.P. w których dodaje się umyślnie takie domieszki aby obniżyć napięcie pracy. Z dotychczasowej praktyki laboratoryjnej nie wynikała konieczność określenia dolnej granicy dopuszczalnych napięć pracy licznika. Najniższą wartość napięcia pracy zanotowano równą 6450 V (Próbka S2/9, 20-30.09.72.)<sup>1)</sup>. Z uwagi na pracochłonność pomiarów nie przeprowadzono specjalnych badań wpływu różnych domieszek na zmiany napięcia pracy licznika. Z tego względu w obecnym stanie prac nie można utrzymywać, że przypadki najniższych wartości napięć pracy wiązały się z obecnością domieszek gazów zwiększających współczynnik wzmocnienia gazowego. Być może przypadki te charakteryzuje dwutlenek węgla o wyjątkowej czystości.

W przypadkach kiedy napięcie pracy jest większe od wartości średnich należy zachować ostrożność. Zjawisko to może być wywołane domieszką gazu obniżającego współczynnik wzmocnienia gazowego - co z punktu widzenia wy-

<sup>1)</sup> Przeciętne napięcie w punkcie pracy licznika jest równe 6600 V.

ników pomiaru nie jest specjalnie szkodliwe lub domieszka gazu elektroujemnego - co jest szkodliwe i może w ogóle uniemożliwić pomiar. Z wykonanych do tej pory pomiarów, największa wartość wysokiego napięcia wypełnienia które uznano za dobre, była równa 6940 V (próbka PK, 07-15.05.72).

Przyjęta metoda wyznaczania i kontroli punktu pracy L.p. pozwala wybierać i korygować punkt pracy w przypadkach w których z niedokładnie jeszcze poznanych powodów zmienia się jakość wypełnienia w czasie. Np. zdarzają się wypełnienia, w których w czasie pomiaru trwającego kilka dni zauważa się systematyczne przesuwanie punktu pracy. Wymagane korekty napięcia dochodzą do 200 V. Prawdopodobnie jest to powodowane chemicznymi lub jonizacyjnymi reakcjami domieszek gazowych. Obserwuje się też przypadki w których zaraz po wypełnieniu licznika kontrola wykazuje, że wypełnienie jest złe a po upływie pewnego czasu (najczęściej około pół doby), w którym licznik jest lub nie jest pozostawiony z włączonym wysokim napięciem, wypełnienie staje się dobre. Np. dla próbki PK z wypełnienia w dniu 06.05.72.  $V = 6900$ ,  $L_k = 179$  cpm,  $k = 39\%$  a po jednym dniu (bez włączonego wysokiego napięcia)  $V = 6900$  V,  $L_k = 180$  cpm,  $k = 60\%$ . Jednym z powodów takiego zjawiska mogłoby być zanieczyszczenia gazu mikroskopijnym pyłem, który po pewnym czasie opada, innym wspomniane wyżej reakcje składników zanieczyszczeń.

#### LITERATURA

1. Wł. Mościcki, A. Zastawny, Nukleonika, 7, 801-817, (1962).
2. H.L. de Vries, G.W. Barendsen, Physica, 19, 987-1003, (1953).
3. Wł. Mościcki, A. Bujko, J. Dutkiewicz, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, nr 113, 53-65, (1967).
4. W. Pazdur, E. Kostkiewicz, W. Mościcki, A. Pazdur, W. Pomykała, A. Zastawny, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (w druku).

#### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ТОЧКИ РАБОТЫ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА В ЛАБОРАТОРИИ С-14

#### Р е з ю м е

Предположено, что в условиях постоянных физических параметров пропорционального счётчика (п.с.) и геометрии его установки, вид спектра импульсов со счётчика от мезонов космического излучения постоянен. Точка работы п.с. определяется и контролируется при помощи коэффициента "к", равного частному скорости счётов жёсткой компоненты в двух амплитудных каналах, которые разделяют спектр импульсов жёсткой компоненты на две части. Рас-



смотрена эффективность метода при различных газовых примесях, изменяющих или порядки газовое выполнение п.с. Представлены результаты применения метода.

THE METHOD OF DETERMINATION AND CONTROL  
OF THE WORKING POINT OF THE PROPORTIONAL COUNTER  
IN C-14 LABORATORY

S u m m a r y

It has been assumed, that the shape of the spectrum of the cosmic me-  
zons in the proportional counter (p.c.) is constant if electronical and  
physical parameters and geometrical configuration of the device are con-  
stant. The working point of the p.c. is determined and controled by means  
of the coefficient "k" defined as a relation of the counting rates of the  
mezon component in p.c. from two strictly determined amplitude channels.  
Efficiency of the method for different gaseous admixtures to CO<sub>2</sub>, that may  
charge the performance of the counter and the results obtained till now  
by means of the method have been discussed.