

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS

SOBRE CONTADORES DE MAZE

A. ARON

(SEPARATA DO N.º 2, VOL. 23 DOS ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS)



RIO DE JANEIRO

Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

1951

Sobre Contadores de Maze

A. ARON

Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, D. F.

(Apresentado por B. Gross; recebido em 20 de abril, 1951)

INTRODUÇÃO

Em 1946, ROLAND MAZE publicou um trabalho sobre um tipo de contador de Geiger-Mueller em que o catodo é constituído por uma camada de aquadag aplicada *externamente* à parede de vidro do contador. Tomando-se para envólucro um vidro alcalino que possui uma condutibilidade elétrica relativamente alta, verificou-se que estes contadores funcionavam satisfatoriamente, sendo a sua construção mais econômica e as características mais robustas do que as dos contadores usuais. Quando por inadvertência são expostos a uma tensão excessivamente alta, não sofrem nenhum dano já que a resistência do vidro e a ausência de um catodo metálico interno excluem a produção de uma centelha ou arco dentro do gaz. Apesar de essas vantagens poucos dados se encontram na literatura a seu respeito. CURRAN & CRAGGS (1949) e D. H. WILKINSON (1950) descrevem a sua construção sem dar maiores pormenores. Mais recentemente COCKROFT & VALENTINE (1950) publicaram um trabalho sobre a sua utilização como contadores proporcionais e câmaras de ionização, ressaltando a conveniência dos mesmos em trabalhos em que a substância cuja atividade se deseja medir é misturada com o próprio gaz de enchimento.

No presente trabalho apresentamos um estudo mais completo sobre o funcionamento na zona Geiger dos contadores de MAZE e uma comparação dos mesmos com contadores de tipo convencional fabricados e cheios em condições idênticas. Descrevemos, ainda, um tipo de contador em que também o anodo é "externo" isto é constituído por um fio de mercúrio dentro de um capilar e que portanto não contém nenhuma peça metálica no seu interior (GROSS 1948).

I – PROCESSO DE ENCHIMENTO E CONSTRUÇÃO

Enchimento. Todos os contadores são do tipo de autoextinção, contendo uma mistura de álcool-argon. O argon fornecido pela "The Linde Air Products Company" possui de acordo com as informações do fabricante 99,8% de argon e 0,2% de azoto. O álcool é anídrico e antes do enchimento é secado por meio de sulfato de cobre branco em forma de pó. O processo de enchimento é o seguinte: O contador é soldado à instalação de alto vácuo. Em seguida reduz-se a pressão até 10^{-3} mm de Hg, aquece-se o contador até 200° C com a bomba de vácuo sempre trabalhando e passa-se uma corrente elétrica pelo anodo que se mantém incandescente durante 1 minuto. A temperatura é mantida alta durante cerca de 2 horas e em seguida lentamente reduzida. Após este processo de degazificação atinge-se facilmente um vácuo de 10^{-5} mm. Em seguida a bomba é desligada e o contador mantido sob vácuo durante 16 horas, sendo este vácuo novamente medido. Si durante este tempo a pressão não tiver aumentado sensivelmente o contador é julgado bom. Faz-se então novamente o vácuo até 10^{-5} mm, lava-se duas vezes com argon e retira-se novamente o argon. Abre-se agora a torneira que leva ao depósito de álcool e enche-se com vapor de álcool até 10 mm. Em seguida completa-se com argon até a pressão total atingir o valor de 10 cm de Hg.

A construção e as dimensões dos contadores estão indicadas nas figs. 1 e 2. Como se nota o contador com catodo interno não difere sensivelmente de construções conhecidas, utilizando-se um tubo de vidro para reduzir o número de descargas entre o anodo e o fio de ligação para o catodo. O envólucro é feito de vidro de chumbo, o anódio é um fio de cromo-níquel que provou funcionar satisfatoriamente em todos os ensaios, e o catodo um tubo de cobre de 0,7 mm de espessura de parede. Este último foi torneado de um tubo de parede mais espessa. Para o tratamento de sua superfície usaram-se vários métodos. No contador com o qual a maioria das presentes medidas foi feita, o cobre após ter sido devidamente polido foi oxidado da maneira seguinte: deixou-se o tubo de cobre durante 48 horas numa solução de 10% de HNO_3 diluída em água destilada. Ao fim deste tempo o cobre estava coberto por uma camada bem aderente de nitrato básico de cobre, de cor azul verde, insolúvel em água. Em seguida o tubo foi lavado com água destilada quente até que a água não mostrou mais nenhuma reação ácida, e depois aquecido na estufa até uma temperatura de aproximadamente 230° C. Este aquecimento fez sair NO_2 e a camada de nitrato

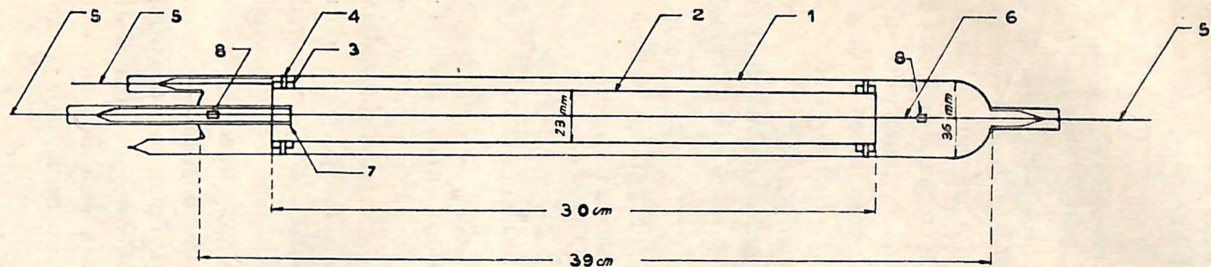


Fig. 1 — Contador de catodo interno. 1 — tubo de vidro de chumbo 2 — tubo de cobre 3 — anel de latão 4 — anel de fixação de mica 5 — fios "copperclad", diâmetro 0,7 mm 6 — anodo de níquel cromo, diâmetro 0,1 mm 7 — tubo de proteção de vidro 8 — peça de conexão.

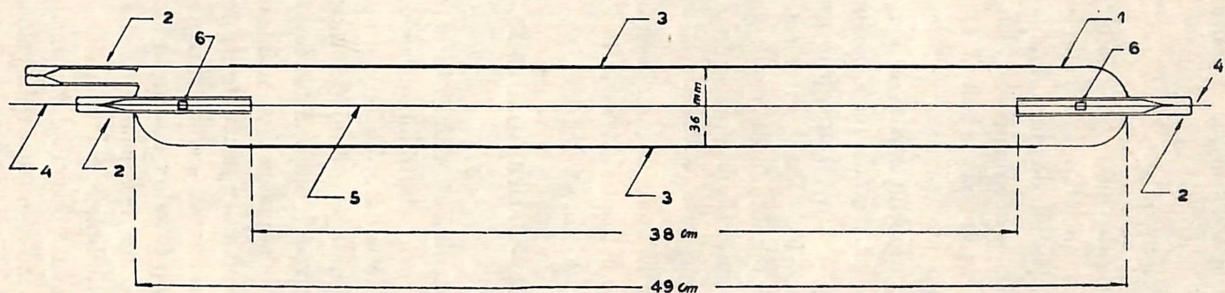


Fig. 2 — Contador de catodo externo. 1 — tubo de vidro alcalino 2 — tubo de proteção, de vidro de chumbo 3 — eletródio externo de aquadag 4 — fio "copperclad", diâmetro 0,7 mm 5 — anodo de níquel-cromo, diâmetro 0,1 mm 6 — peças de conexão.

básico de cobre se transformou numa camada de CuO preta bem aderente. Repetiu-se agora a lavagem com água destilada quente até se obter reação neutra. Verificou-se que o tubo assim tratado quasi não apresentava mais efeito fotoelétrico.

O vidro para o contador com catodo externo é vidro alcalino de procedência nacional fabricado pela Vidraria Palestina, em São Paulo. Este vidro possui condutibilidade suficientemente alta para poder ser empregado sem inconveniente. Empregam-se também tubos de proteção de vidro em ambos os lados. O anodo é contínuo e acessível pelas duas extremidades do contador o que tem a vantagem de permitir que possa ser levado a incandescência pela passagem de uma corrente elétrica. É preciso tomar cuidado especial com correntes parasitas sobre as superfícies de vidro entre o anodo e o catodo e cargas superficiais estáticas nas mesmas paredes. Para evitar estes efeitos é necessário parafinar as extremidades dos contadores, e em alguns casos colocam-se mesmo eletródios auxiliares como já foi indicado por MAZE que colocou sobre as extremidades dos contadores capas metálicas em contato com o anodo.

A capacidade anodo-catodo é $3,4 \times 10^{-12}$ F para os contadores com catodo externo e $2,8 \times 10^{-12}$ F para os com catodo interno.

II — PROPRIEDADES ELÉTRICAS DO VIDRO ALCALINO

Medimos tôdas as características elétricas do vidro alcalino. Para determinar a condutibilidade elétrica enchemos o contador com uma solução fraca de sulfato de sódio e aplicamos diferenças de potencial até 45 V entre o líquido e catodo externo medindo-se a corrente por meio de um galvanômetro. A uma distância de 1 cm do catodo aplicaram-se eletródios auxiliares de aquadag ligadas à terra que funcionaram como aneis de guarda evitando qualquer corrente superficial de modo que a condutibilidade obtida se refere exclusivamente a condução de volume do vidro. A capacidade entre o catodo e a solução mediu-se por meio de uma ponte de corrente alternada com frequência de 1000 c/seg. O coeficiente de temperatura da condutibilidade foi também determinado. Para êste fim aqueceu-se uniformemente o contador e mediu-se a temperatura do líquido por meio de um termo-elemento nêle colocado.

Os dados encontrados estão indicados na tabela I.

TABELA I

RESISTENCIA a 25 °C.	{	Total.....	95 M Ω
		por cm ² de catodo.....	4, 5.10 ⁴ M Ω/cm ²
		específica.....	7, 5.10 ⁵ M Ω cm
CAPACIDADE.....	{	total.....	5, 9.10 ⁻⁹ F
		por cm ²	1,28.10 ⁻¹¹ F/cm ²
		constante dielétrica.....	8, 5
CONSTANTE DE TEMPO a 25° C.....		5, 6×10 ⁻¹ seg	
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA RESISTENCIA a 25° C.....		7, 6.10 ⁻² /°C	

Uma comparação mostra que os valores acima não diferem sensivelmente daqueles indicados por MAZE.

III – METODO DE MEDIDA

A contagem do número de impulsos foi feita por meio de um “*scaler*” de 64, por nós construído, cujo fator de redução podia ser variado entre 2 e 64. A alta tensão foi fornecida por uma fonte de tensão estabilizada continuamente variável entre 0 e 2000 V. Em todos os ensaios, o polo negativo de alta tensão foi ligado ao catodo do contador, o polo positivo foi ligado à terra. O contador foi colocado numa caixa de madeira fechada para evitar qualquer efeito fotoelétrico. A alta tensão foi medida por meio de uma resistência de fio de 1 Meghom e um milliamperímetro ligados em série. A resistência de medida ligada em série com o contador foi de 5 meghom, a não ser nas medidas especialmente destinadas a elucidar a influência desta resistência.

IV – CIRCUITO EQUIVALENTE

A existência da camada de vidro debaixo do catodo significa que um circuito paralelo resistência-capacidade está intercalado entre o contador propriamente dito e o eletródio. O circuito equivalente do sistema é portanto

representado pelo esquema da fig. 3, onde R exprime a resistência ôhmica e C a capacidade do vidro. O funcionamento do sistema pode agora ser facilmente compreendido. Sendo o valor de C suficientemente alto, os

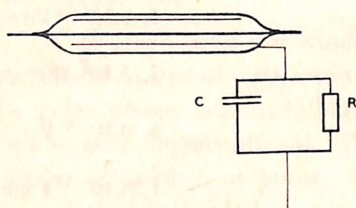


Fig. 3 — Circuito equivalente a um contador de cátodo externo: contador de cátodo interno em série com um circuito paralelo resistência-capacidade.

impulsos gerados no contador são transmitidos praticamente sem alteração de forma. A resistência R , que funciona como “leak resistor” não é desprezível; em consequência disto cargas superficiais se acumulam na parede interna do vidro cujo potencial se eleva a um valor U . A tensão interna realmente existente no tubo é menor do que a tensão externa V e é dada por $V - U$. O conhe-

cimento preciso de U é importante para se compreender o funcionamento do contador; U depende do número e do tamanho dos impulsos.

Com contadores de auto-extinção o mecanismo de descarga gaseosa não depende do circuito exterior. Assim é lícito supor que o tubo funciona como um sistema de corrente constante (“constant current device”) que com cada impulso deixa passar uma dada quantidade de eletricidade constante Q_0 independente dentro de limites razoáveis dos valores de R e C .

A duração a dos impulsos é da ordem de 10^{-4} seg., conforme indica A. KORFF. (1946). Ela é portanto pequena em relação à cons-

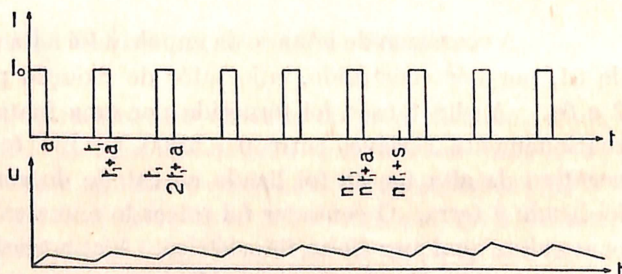


Fig. 4 — Impulsos retangulares de duração a e de período t_1 em cima: corrente; em baixo: tensão.

tante de tempo $T = RC$ do vidro, que conforme a tabela I é da ordem de 0,5 seg. Nestas condições a forma dos impulsos de corrente pouca relação têm com a forma da tensão U . Consideramos aqui impulsos retangulares, de duração a , amplitude J_0 e carga Q_0 . Seja N o número dos impulsos por seg, que para os fins do cálculo é tomado como constante embora na realidade sofra flutuações estatísticas. O intervalo de tempo entre dois impulsos consecutivos é t_1 . Estas relações estão indicadas na fig. 4.

A tensão U é obtida como solução da equação diferencial

$$(1) \quad T \frac{dU}{dt} + U = RJ ,$$

dada por

$$(2) \quad U = \int_0^t \frac{J(\tau)}{C} e^{-(t-\tau)/T} d\tau$$

No estado estacionário, a tensão será periódica com período t_1 . Isto sugere a introdução de uma nova variável s que varia de 0 a t_1 , pela relação

$$(3) \quad t = Nt_1 + s$$

obtendo-se

$$(4) \quad U = \frac{J_0}{C} \sum_{n=0}^{N-1} \left[\int_{nt_1}^{nt_1+a} + \int_{Nt_1}^{Nt_1+s} \right]$$

O primeiro termo dará

$$(5) \quad RJ_0 \frac{(e^{a/T} - 1)}{(e^{t_1/T} - 1)} e^{-s/T} [1 - e^{-Nt_1/T}]$$

e o segundo se desdobra em dois, conforme o valor de s for maior ou menor do que a :

$$(6a) \quad RJ_0 (1 - e^{-s/T}) \quad \text{para } 0 \leq s \leq a$$

$$(6b) \quad RJ_0 e^{-s/T} (e^{a/T} - 1) \quad \text{para } a \leq s \leq t_1 .$$

A expressão (5) traduz o fenômeno transitório que se produz com o início dos impulsos e consiste num gradual aumento da tensão média no vidro. Ele é calculado dando-se valores diferentes a N . Interessando aqui somente o estado estacionário, faz-se $N \rightarrow \infty$. Observando que

$$(7a) \quad a/T \ll 1$$

$$(7b) \quad Q_0 = aJ_0,$$

tem-se finalmente

$$(8) \quad U = U_0 + u(t),$$

onde U_0 é a tensão constante

$$(9a) \quad U_0 = \frac{Q_0}{C (e^{t_1/T} - 1)}$$

e $u(t)$ a tensão variável

$$(9b) \quad u(t) = \begin{cases} \frac{S}{C} [J_0 - U_0/R] & 0 \leq s \leq a \\ U_0 [e^{(t_1-s)/T} - 1] & a \leq s \leq t_1 \end{cases}$$

O valor máximo de U é dado por

$$(9c) \quad U_{max} = \frac{Q_0}{C} + U_0$$

Quando $t_1 \ll T$, tem-se $U_0 = Q_0 R/t_1 = Q_0 RN$, de acôrdo com a teoria elementar. Para $t_1 \gg T$, tem-se $U_0 = Q_0 e^{-t_1/T}/C$. Vê-se que após cada impulso a tensão é superior ao seu valor médio, caindo em seguida exponencialmente.

Para dar um exemplo numérico, considerámos $N = 20$ impulsos por seg., o que dá para t_1 um valor de 0,05 seg. Com $Q_0 = 10^{-8}$ coul, e os valores de R e C dados na tabela resulta: $U_0 = 18,2$ V, $U_{max.} = 19,9$ V, $Q_0 RN = 19$ V

Na dedução anterior J_0 foi considerado constante quando na realidade depende da tensão aplicada V . A forma das equações para o estado estacionário não sofrerá por isso nenhuma modificação a não ser que se deve tomar para Q_0 o valor correspondente à tensão realmente existente $V-U$. A equação para o estado transitório porém será modificada.

Observamos que o esquema da figura 3 se aplica também quando se deseja determinar a forma dos impulsos observados na resistência externa que se liga em série com os contadores (de catodo externo ou interno) e de onde se deriva a tensão levada em seguida a um circuito amplificador ou de oscilógrafo catódico. Nêste caso os valores de R e C são de outra ordem de grandeza. Mas perdura a conclusão que a forma da tensão U observada por exemplo no oscilógrafo sômente reproduzirá fielmente a forma dos impulsos no contador quando a constante de tempo do sistema $R-C$ fôr pequena em relação a duração dos impulsos.

V - CURVAS CARACTERISTICAS

Verificou-se primeiramente o valor do "background" dos contadores, obtendo-se 1,7 impulsos por minuto e por cm² para o contador de catodo externo e 1,5 impulsos por minuto e por cm² para o contador de catodo interno.

A curva característica dos contadores com catodo interno não depende do fluxo ϕ da radiação. Duas curvas obtidas com fluxos diferentes ϕ_1 e ϕ_2 coincidem quando uma delas é multiplicada por um fator constante igual à relação dos fluxos. A fig. 5 representa medidas com um contador de catodo com 3 diferentes intensidades de radiação. Deixando os pontos obtidos em uma das medidas (background) e multiplicando por 1/5,06 e 1/8,52, respectivamente, as intensidades obtidas nas duas outras medidas obtem-se uma única curva que representa então a curva característica do contador. O patamar é de aproximadamente 140 V e a inclinação de 4,5% por 100 V.

Contadores com catodo externo se comportam de maneira diferente, devendo-se nêles distinguir entre a característica interna e as características externas. A fig. 6 refere-se a medidas com 2 diferentes fluxos de radiação feitas com um tal contador (curvas a e b). Multiplicando-se as intensida-

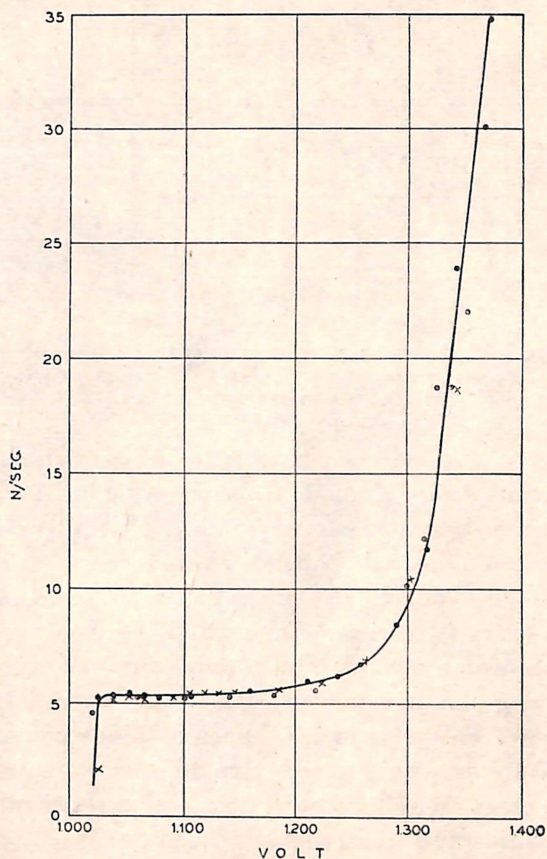


Fig. 5 — Curva característica de contador de catodo interno, medida com 3 diferentes valores de fluxo de radiação (background; 5,06 x background; 8,52 x background).

des de uma das medidas (*background*) com o fator constante $k = 11,5$ obtêm-se a curva *a*) que coincide com a curva *b*) sômente no início, isto é, para tensões relativamente baixas. Com tensões elevadas, as curvas divergem cada vêz mais. O fator k é uma medida da relação das intensidades de radiação.

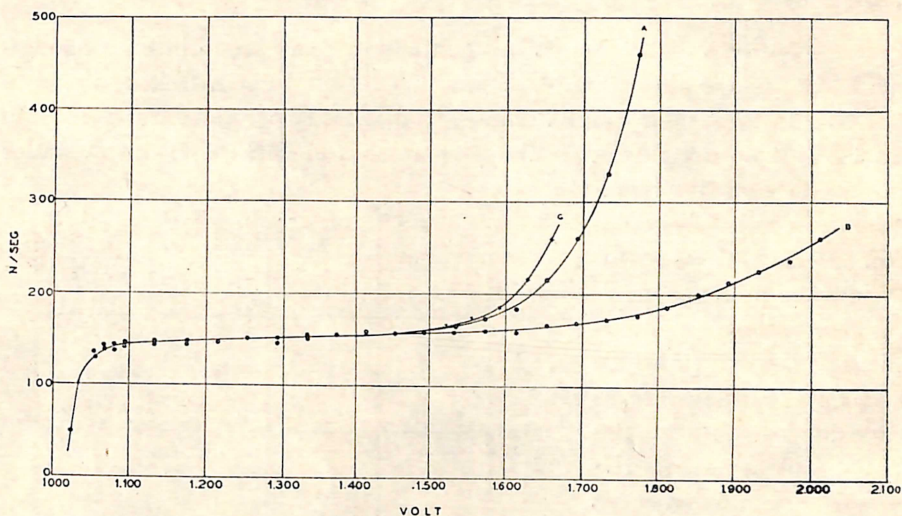


Fig. 6 — Curvas características externas (A,B) e curva característica interna (C) de contador com catodo externo. Curva A: background Curva B: com preparado radioativo, fluxo 11,5 x background. Curva C: calculada conforme equ. 11.

Êsse comportamento dos contadores de MAZE se explica facilmente com a ajuda do esquema da fig 3. A curva característica é independente de ϕ sômente enquanto a contra-tensão U fôr pequena. U varia com o número de impulsos e com a tensão externa V aplicada ao contador. Ao longo de uma das curvas da fig. 6 a tensão aplicada V e em consequência a carga Q_0 variam. Enquanto V fôr pouco superior à tensão limite, Q_0 é pequena e a carga total transportada por seg não será suficiente para provocar um aumento substancial do potencial do vidro. À medida porém que V cresce, a carga Q_0 aumenta. Enquanto o fluxo e o número de impulsos N for pequeno, mesmo com tensões V muito superiores à tensão limite, a carga depositada no vidro não será suficiente para provocar um aumento considerável da contra-tensão V . Mas quando ϕ for suficientemente elevado, a contra-tensão será pequena sômente para valores de V próximos à tensão limite. Com tensões aplicadas V maiores a contra-tensão U crescerá tanto que representará uma fração cada vêz mais considerável de V .

A tensão disponível para a produção de impulsos no contador já não é mais proporcional a V , mas dado por $V - U$, e o patamar de funcionamento indicado em função de V aparece cada vês mais extenso. Em resumo: Sómente para valores de ϕ inferiores a um valor limite tem-se uma característica externa independente de ϕ . Com valores maiores de ϕ , as características externas ainda coincidirão no início (perto da tensão limite); mas em seguida se separam sendo o crescimento da curva com a tensão tanto mais lento quanto maior for ϕ .

As duas curvas da fig. 6 permitem calcular a característica interna, da qual se aproximam as características externas quando o número de impulsos e portanto também a contra-tensão tendem para O . Consideremos nas duas curvas medidas dois pontos que possuam a mesma amplitude e correspondem, respectivamente, às tensões V_1 e V_2 , sendo $V_2 > V_1$. Nêste caso, si N_1 for o número de impulsos no ponto V_1 , $N_2 = kN_1$ será o número de impulsos no ponto V_2 . A tensão "interna" $V_0 = V - U$ é nos dois casos a mesma; as tensões "externas" V_1 e V_2 excedem V_0 devido à existência das contra-tensões U_1 e U_2 . Têm-se fâcilmente:

$$(11a) \quad V_2 - V_0 = \text{const } kN_1$$

$$(11b) \quad V_2 - V_1 = \text{const } (N_2 - N_1) = \text{const } (k-1) N_1$$

e, portanto,

$$(11c) \quad V_0 = V_2 - \frac{k}{(k-1)} (V_2 - V_1) .$$

Por meio desta fórmula foi calculada a curva c) da fig. 6 que representa então a característica interna do contador. É esta curva que se deve considerar quando se comparam as propriedades do contador MAZE com as dos contadores habituais.

Nota-se que o patamar dêstes contadores excede consideravelmente o dos contadores com catodo externo, sendo de cêrca de 300 V com inclinação de 2%. Deve-se concluir que esta propriedade desejável é motivada pela ausência das pontas e irregularidades que seriam inevitáveis nos catodos metálicos dos contadores habituais.

Conforme a equação aproximada $U_0 = Q_0 RN$ a quantidade de carga por impulso se obtém pelo número de impulsos, a resistência do vidro,

e a contra-tensão U . Tirando-se U da medida anterior e R da tabela I, obtém-se para Q_0 em função de V_0 uma curva que está em boa concordância com as medidas diretas relatadas mais em baixo.

Si a explicação precedente for correta, isto é a diferença entre as curvas características é motivada exclusivamente pela contra-tensão produzida no vidro, deve ser possível obter curvas semelhantes com um contador de catodo interno ao qual se liga em série externamente um sistema paralelo $R-C$. Utilizando-se o contador a que se referiu a fig. 5 ligou-se em série com o mesmo um condensador de $2,1 \cdot 10^{-9} F$ shuntado por uma resistência de 10^9 Ohm. As curvas características assim obtidas representadas na fig. 7

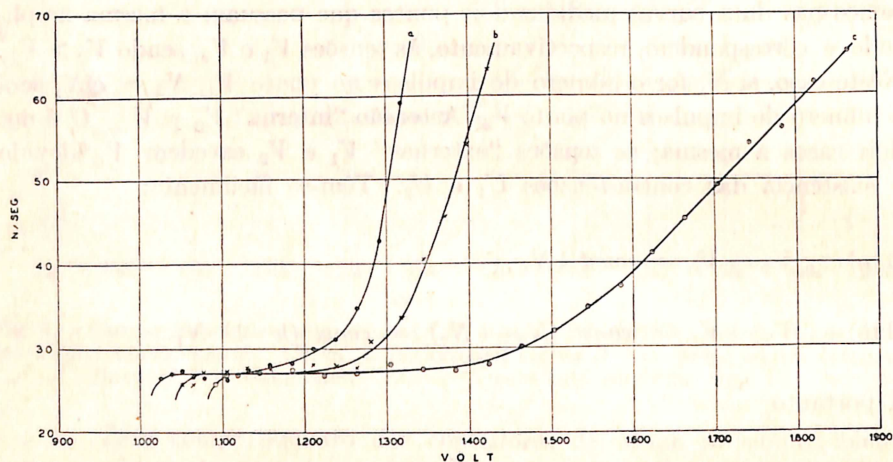


Fig. 7 — Curvas características de contador com catodo interno com sistema $R-C$ ligado em série (curvas b , c) e sem este sistema (curva a). As curvas a , b foram medidas com background, a curva c com preparado radioativo dando um fluxo igual a $4,85 \times$ background.

e reduzidas à mesma escala são realmente do mesmo tipo como as do contador de catodo externo. No presente caso os efeitos são mais pronunciados porque a constante de tempo do sistema $R-C$ artificial era maior do que a do vidro. Assim notam-se claramente diferenças entre as curvas não somente no fim, mas também no começo, dando-se o início de funcionamento tanto mais tarde quanto mais alto for o valor do fluxo. Neste ensaio pode-se também medir diretamente a tensão U no condensador por meio de um voltímetro estático. Conforme deixa prever a teoria, ela depende do fluxo e pode atingir valores de alguns centenas de volts.

VI — CORRENTE E QUANTIDADE DE CARGA

Um fator importante no funcionamento do contador é a quantidade de carga Q_0 correspondente a um impulso. Para determiná-la mediu-se a corrente total que atravessa o contador em função da tensão aplicada. A medida da corrente foi feita comumente com um galvanômetro de sensibilidade de $4,13 \cdot 10^{-9}$ A por mm e m, período de 10 seg. e resistência interna de 100 Ohm. Para determinar a influência da resistência externa a medida foi feita uma vez com uma resistência r de 5 Megohm e uma segunda vez com $r = 100 \Omega$ (resistência interna do galvanômetro). Os resultados das medidas estão representados na fig. 8 (contador com catodo externo)

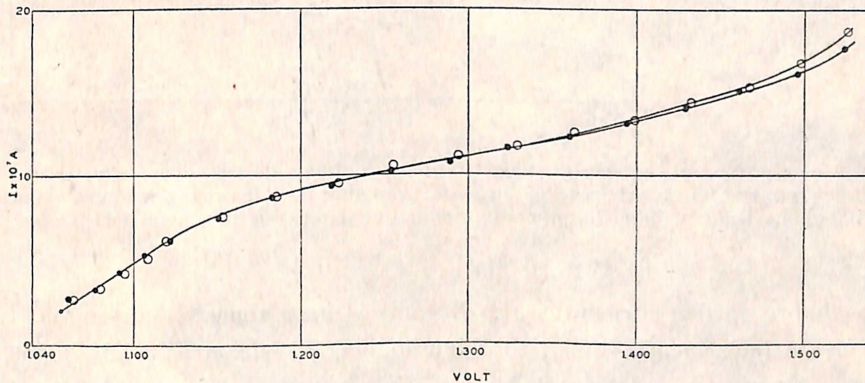


Fig. 8 — Corrente em função da tensão interna V_0 para contador de catodo externo. Pontos: medidas com resistência externa de 5 megohm. Circulos: medidas com resistência externa de 100 ohm. Tudo medido com preparado radioativo dando um fluxo igual a $11,9 \times$ background.

e na fig. 9 (contador com catodo interno). No 1.º caso os valores de J são referidos à tensão V_0 existente no interior do contador sendo V_0 calculado pela relação: $V_0 = V - JR$, onde R é a resistência do vidro tomada igual a 10^8 Ohm.

A inspeção das curvas mostra claramente que os valores com e sem resistência externa são praticamente os mesmos, notando-se uma ligeira diferença somente com valores bastante altos da tensão onde já se produzem descargas espontâneas.

A carga por impulso é $Q_0 = J/N$, onde N é o número de impulsos por seg. As curvas de Q_0 em função da tensão (Fig. 10 e fig. 11). têm aspecto

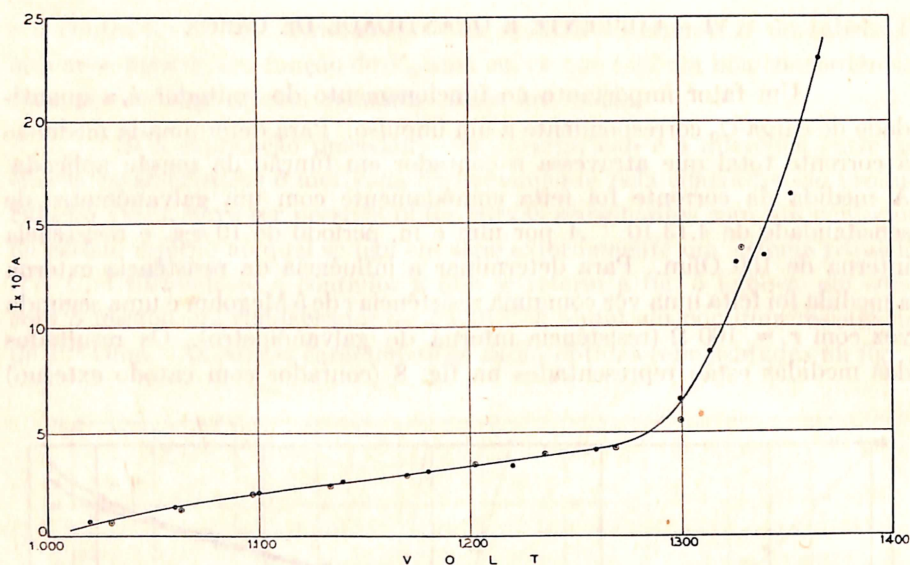


Fig. 9 — Corrente em função da tensão V para contador de catodo interno. Pontos: medidas com resistência externa de 5 megohm. Circulos: medidas com resistência externa de 100 ohm. Tudo medido com preparado radioativo dando um fluxo igual a $11,2 \times$ background.

semelhante ao das curvas de J . Notam-se duas zonas vendo-se na 1.^a Q_0 cresce linearmente com a sobretensão, na 2.^a. êste crescimento é mais lento. No caso do contador de eletródio interno atinge-se mesmo uma zona de saturação onde a carga não cresce mais com a tensão; o valor de saturação é $Q_0 \simeq 6 \cdot 10^{-9}$ Coul. No caso do contador com catodo externo Q_0 não deixa de crescer mesmo na zona das tensões altas. Uma influência de r não é discernível. Êste resultado confirma a afirmação feita no início de que Q_0 depende sòmente do valor atual da tensão aplicada e não do sistema externo. Vê-se portanto que com contadores de auto-extinção a resistência externa pode ser tão pequena quanto o permita o sistema de amplificação eletrônico subsequente. Não se ganha nada em fazer r grande porque o mecanismo de extinção, a carga produzida, e portanto a vida do contador, são independentes de r . Ao contrário há conveniência em manter r baixo para reduzir a constante de tempo.

Uma extrapolação das curvas J/N para baixo mostra que cortam o eixo das tensões em aproximadamente 980 V resp. 1020 V. Êstes

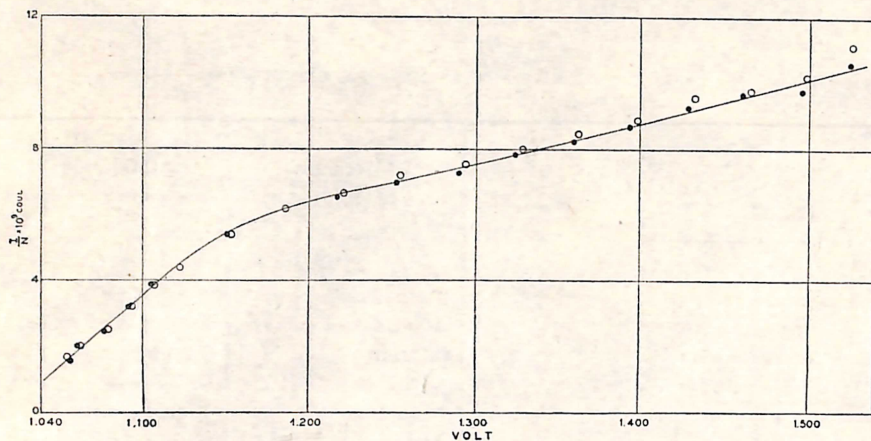


Fig. 10 — Quantidade de carga por impulso para contador de catodo externo. Pontos: medidas com resistência externa de 5 megohm. Circulos: medidas com resistência externa de 100 Ohm. Medido com preparado radioativo dando um fluxo igual a 11,9 x background.

valores representam portanto o verdadeiro limite das curvas características. O valor limite medido com "scaler" é mais elevado, aproximadamente igual a 1020 V resp. 1060 V, porque somente a partir deste valor os impulsos têm suficiente amplitude para serem registrados no "scaler"

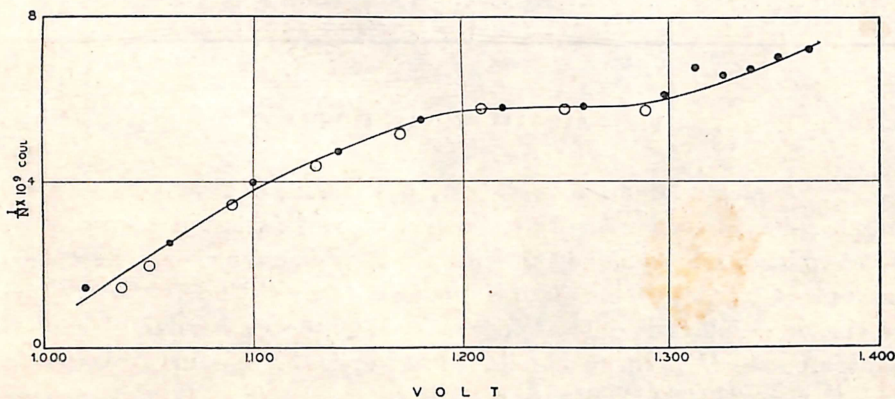


Fig. 11 — Quantidade de carga por impulso para contador de catodo interno. Pontos: medidas com resistência externa de 5 megohm. Circulos: medidas com resistência externa de 100 Ohm. Medido com preparado dando fluxo igual a 11,2 x background.

TABELA II
CONSTANTES CARACTERISTICAS DOS CONTADORES

ESPECIFICAÇÃO	Contador com catodo externo	Contador com catodo interno
Enchimento.....	9 cm Argon 1 cm álcool etílico	9 cm Argon 1 cm álcool etílico
Diâmetro do anodo.....	0,1 mm	0,1 mm
» do catodo.....	~ 3,7 cm	~ 2,3 cm
Material do anodo.....	Niquel-cromo	Niquel-cromo
» do catodo.....	Aquadag-vidro alcalino	Cobre
Comprimento util.....	38 cm	29 cm
Espessura do catodo.....	—	0,8 mm
Impulsos por cm ² e min. (Background)	1,6	1,5
Extensão do patamar (medidas de 10 contadores).....	240 — 470 V	160 — 300 V
Inclinação do patamar média de 10 contadores.....	1,7 % por 100 V	3,6 % por 100 V
Valor máximo de 10 contadores.....	2,6 % por 100 V	4,9 % por 100 V
Valor mínimo de » »	1,2 % por 100 V	2,3 % por 100 V
Tensão limite (extrapolada).....	1 020 V	980 V
Qo/cm (Carga por unidade de comprimento).....	0,14.10 ⁻⁹ Coul.	0,14.10 ⁻⁹ Coul.

VII — AMPLITUDE DOS IMPULSOS

A amplitude da tensão U_{max} dos impulsos deve depender da tensão aplicada e do valor da resistência de medida ligada ao contador. A determinação da amplitude foi feita por meio de um oscilógrafo catódico cujas placas verticais foram ligadas diretamente à resistência externa e que previamente tinha sido calibrado por meio de tensões conhecidas. Mediu-se primeiramente U_{max} em função da tensão aplicada com uma resistência fixa de $r = 200.000$ Ohm para os dois contadores (Fig. 12). Os valores de tensão indicados no caso do contador de catodo externo já são tensões reduzidas V_0 tendo-se descontado a contra-tensão do vidro. O aspecto

é o mesmo das curvas da corrente em função da tensão, como aliás era de se esperar. A passagem de uma carga Q_0 através da resistência deve produzir uma tensão cuja amplitude é proporcional a Q_0 desde que a forma dos impulsos não se modifique. A coincidência das curvas de U_{max} e J prova, portanto, que a forma do impulso independe da tensão. Deve-se assinalar, porém, o valor relativamente baixo de U_{max} . Encontra-se

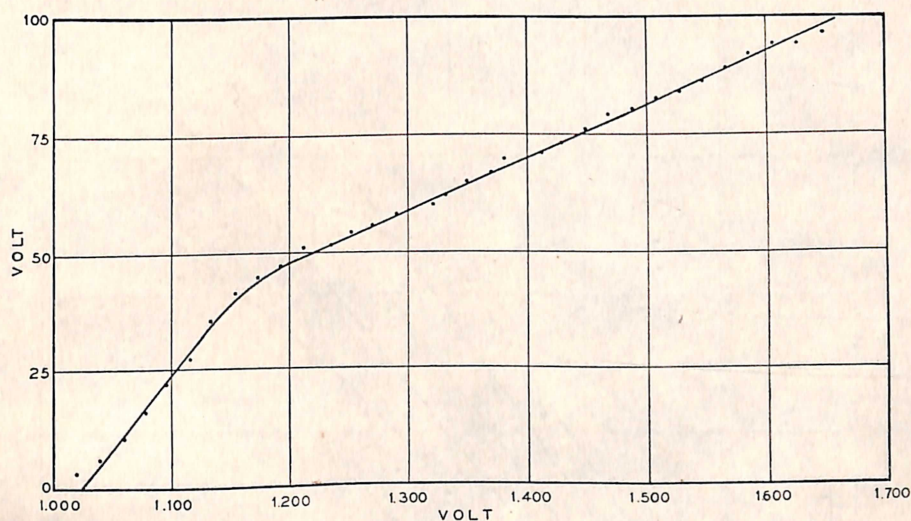


Fig. 12 — Amplitude de tensão dos impulsos produzidos n'uma resistência externa de 200.000 Ohm, em função da tensão interna V_0 para um contador de catodo externo.

frequentemente expressa a opinião que a amplitude seja igual a sobretensão (isto é, à diferença entre a tensão aplicada e a tensão limite). As nossas medidas mostram que U_{max} é muito inferior à sobretensão. A interrupção da descarga do contador não está portanto condicionada à diminuição da tensão do gaz, mas depende somente do efeito da camada de *ions* positivos que reduz o campo elétrico nas vizinhanças do anodo. A descarga uma vez iniciada continua até se formar um número de ions positivos suficientes para reduzir o campo no fio abaixo de um valor crítico que não mais permite processos de multiplicação de ions, e ionização por choque. Por esta razão a quantidade de carga Q_0 deve ser independente de r para um contador de dadas dimensões geométricas e uma dada carga de gaz.

Determinou-se em seguida a relação entre a amplitude de U_{max} e o valor da resistência r para diversos valores da tensão aplicada V . Quando r é pequeno, a dependência é linear, como se deve esperar pela relação

$U_{max} = rJ_0$. Mas cêdo o aspecto muda e já com valores de r da ordem de 1000 Ohm a relação não é mais linear; U_{max} cresce mais lentamente do que r . Na fig. 13 U_{max} é representado em função de $\ln r$. Como se vê nesta escala obtem-se uma reta de modo que para valores de r superiores a um certo r_0 (que aliás depende de V) se tem: $U_{max} = const. \ln (r/r_0)$. Como já se mencionou, a discussão do capítulo IV se aplica ao menos quali-

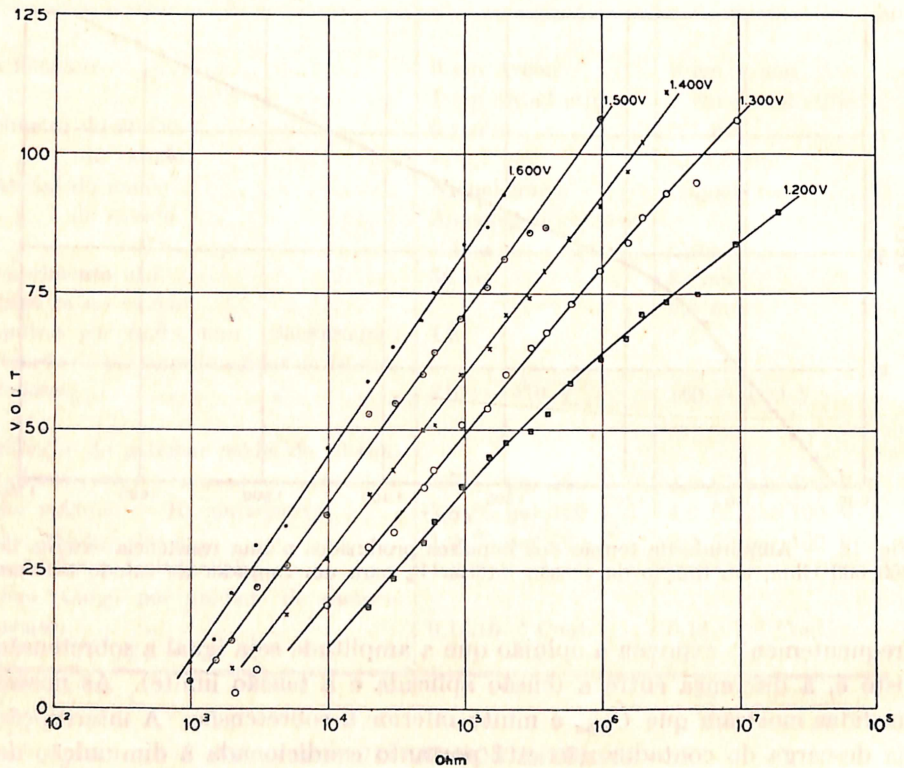


Fig. 13 — Amplitude dos impulsos produzidos em função da resistência externa, para diferentes valores da tensão aplicada. Contador de catodo externo.

tativamente também a este caso, devendo a resistência R do vidro ser substituída pela resistência externa r e a capacidade C do vidro pela capacidade c do sistema total associada à extremidade “alta” desta resistência, isto é, capacidade ano-catodo do contador, placas do oscilógrafo, e fios de ligação. O valor de c nestas condições é da ordem de $5 \times 10^{-11} F$. Conforme a equação (6a):

$$(13) \quad U = J_0 r (1 - e^{-t/rc})$$

Considerada como equação para a relação entre U e r se vê que esta relação deixa de representar uma reta quando a constante de tempo rc é da ordem da duração do impulso. Si o impulso for retangular, a amplitude se tornará então constante. Si o impulso tiver uma outra forma, consistindo de um fenômeno de duração muito curta, seguido de outro de evolução mais lenta, após a fase linear a amplitude do impulso não se tornará constante, mas continuará crescendo com r , porém com inclinação cada vês menor. E é exatamente isto que se observa no presente caso. A primeira rápida fase do impulso é constituída pela formação e recolhimento dos eletrons produzidos nas avalanches. Êstes eletrons são produzidos dentro de um cilindro de raio muito pequeno em tórno do anodo, possuem alta mobilidade e têm de fazer um percurso pequeno dentro de uma zona de campo elevado. De acôrdo com os dados acima indicados devemos concluir que a duração dêste fenômeno é da ordem de 10^{-7} a 10^{-6} seg. A segunda fase é constituída pelo processo de recolhimento da camada de ions positivos deixados para traz pelos eletrons. Êstes ions têm baixa mobilidade, um percurso praticamente igual ao raio do tubo, realizado na maior parte dentro do fraco campo periférico do contador. A duração dêste fenômeno deve ser maior do que 10^{-4} seg porque mesmo com uma resistência r de 10^7 Ohm a amplitude U_{max} ainda não se torna constante.

VIII— EFEITO FOTOELÉTRICO

Os contadores com catodo externo são fortemente fotoelétricos, muito em contrário à opinião geralmente encontrada de que êste efeito depende da presença de metal dentro do contador. Podia-se ainda atribuir a causa do fenômeno ao fio de cromo-níquel que constitue o anodo. Para eliminar por completo porém qualquer peça metálica construímos contadores em que também o anodo é "externo": é constituído por um capilar de vidro cheio de mercúrio que serviu de eletródio (GROSS, 1948). Êste anódio exterior funciona pelo mesmo princípio como os catodos externos dos contadores acima descritos. Verificou-se que êstes contadores feitos inteiramente de vidro são também fotoelétricos. Remoção da camada de aquadag e substituição por uma solução eletrolítica e condutora que pode também servir de armadura fêz sômente aumentar o efeito fotoelétrico, já que a absorção da luz fica reduzida. Concluimos que se trata de fotoeletrons produzidos na parede interna do vidro. Dados mais pormenorizados sôbre o efeito serão fornecidos em um trabalho subsequente.

ABSTRACT

In 1946 R. MAZE devised GEIGER-MUELLER counters in which the cathode was constituted by a layer of aquadag applied externally to the glass wall of the counter. These counters are easy to construct and have proved particularly useful in cosmic ray work. The present paper gives details on the construction, behavior, and operation of such counters. The counters with which the measurements were made had a cathode length of 40 cm, diameter of 3,6 cm, and were filled with the usual argon-alcohol mixture. Alkaline glass was employed having a specific resistance of $7,5 \times 10^5$ megohm cm, dielectric constant of 8,5, and wall thickness of 0,6 mm. The operation of the MAZE counter is that of a conventional self-quenching counter connected in series with a R - C parallel network, R representing the resistance and C the capacitance of the glass interposed between the electrode and the discharge room. The theory of this system is discussed in some detail under the assumption of regularly space rectangular pulses. The value of the voltage which develops across the glass depends on the number and size of the pulses. As a consequence one has to distinguish between the external characteristics of the counter, which depend on the radiation flux across it, and the internal characteristic to which the external characteristics approximate when the flux goes to zero. Measurements of external characteristics with different radiation fluxes are given and it is shown how the glass voltage and the internal characteristic can be deduced from them. The plateau of the MAZE counter is found to exceed considerably that of a conventional counter filled under identical conditions; it has a value of about 300 V with a mean slope of about 2% / 100 V. The total counter current J and impulse size J/N (where N the number of pulses per sec) are measured *a*) with an external resistor of 5 megohm, and *b*) with a resistor of 100 ohm. The 2 series of measurements coincide except a slight discrepancy at high values of the applied voltage well above the plateau of operation. Thus with self-quenching counters the mechanism and quenching of the discharge is entirely independent of the external circuit. The measuring resistor can be made as small as one wants without undesirable effects on the life of the counter. The size of the pulses increases at first linearly with voltage, later with a decreasing slope. At the end of the plateau it reaches a value of about 10^{-8} coul. Finally the amplitude of the voltage produced at the external resistor is measured with a *c.r.o.* *a*) with a fixed resistor of 200.000 ohm as a function

of counter voltage, and *b*) at different voltages as a function of resistance. Curve *a*) has the same general features as the pulse size — voltage curve. The amplitude of the pulse is much smaller than the over-voltage. The curves *b*) show that the developed voltage increase linearly with resistance only for small values up to about 1000 ohm. For higher resistances the increase is much smaller, being proportional to $\log. r$. This behavior is related to the form of the pulse, which depends on 2 distinct processes of vastly different duration: these are the collection of the highly mobile free electrons and of the slow positive ions.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado na Divisão de Eletricidade do Instituto Nacional de Tecnologia. O autor agradece ao Diretor Geral do Instituto, Professor E. L. da Fonseca Costa, o estímulo e ajuda que tornaram possíveis estas investigações. Os desenvolvimentos matemáticos do paragrafo IV são de B. Gross a quem o autor exprime seus agradecimentos pela permissão de usá-los no presente trabalho. Deseja ainda consignar os seus agradecimentos ao Snr. Coronel Bernardino de Mattos Netto que através da Fundação Getulio Vargas pôs a disposição do Instituto de Tecnologia os meios que permitiram a execução deste trabalho. Agradece também à General Electric Company e a Standard Electrica S.A. que generosamente puseram à disposição do Instituto varios materiais de difícil obtenção no comércio.

BIBLIOGRAFIA

- COCKROFT, A. L. & VALENTINE, I. M. (1950) *Journ. Sci. Instr.* **27**, 262.
CURRAN, S. C. CRAGGS, I. D. (1949) *Counting Tubes*, Londres: Butterworths Sci. Publ.
GROSS, B. (1948) *An. Acad. Brasil. Ci.* **20**, N. 4 [pág. III anexa].
KORFF, A. (1946) *Eletron and Nuclear Counters*, New York: Van Nostrand.
MAZE, R. (1946) *Journ. de Physique* **7**, 164.
WILKINSON, D. H. (1950) *Ionization Chambers and Counters*, Cambridge: Cambridge Univ. Press