

18. M. AGENO, M. CHIOZZOTTO e R. QUERZOLI. — Sulle caratteristiche dei fotomoltiplicatori elettronici, usati come rivelatori di scintillazioni. - Nota I.

Riassunto. — Avendo realizzato la tecnica dei contatori a scintillazione, recentemente introdotta da Broser e Kallmann, si è iniziato uno studio sistematico del nuovo dispositivo, allo scopo di individuarne esattamente le caratteristiche e le possibilità. Nella presente nota si riferisce su una serie di misure, aventi lo scopo di determinare la sensibilità di un fotomoltiplicatore tipo 931-A a segnali luminosi estremamente deboli, nonché la dipendenza di tale sensibilità dalle tensioni applicate ai vari elettrodi e dalla temperatura.

Résumé. — Ayant construit l'appareillage pour réaliser la technique des compteurs à étincellement, récemment introduits par Broser et Kallmann, on a entrepris une étude systématique de ce nouveau dispositif, en vue d'en déterminer exactement les caractéristiques et les possibilités. Les mesures rapportées dans ce premier mémoire ont eu pour objet d'étudier le comportement des photomultiplicateurs type 931A sous des intensités lumineuses très faibles. On a voulu d'abord s'assurer que dans les conditions expérimentales choisies le courant de dispersion était petit en comparaison du courant obscur dû à une émission thermoïonique de la photocathode et des dynodes. Ensuite, on a déterminé, à l'aide d'un dispositif en c.c., les variations du rapport entre le courant dû à un signal lumineux constant et le courant de fond, en fonction de la tension d'alimentation. On a ainsi trouvé un critérium pour classer et sélectionner les tubes, dont les fortes différences individuelles ont été reconnues compensables, entre certaines limites, en réglant convenablement la tension d'alimentation.

Dans une deuxième série de mesures on a étudié l'effet produit sur la sensibilité d'un photomultiplicateur par une variation de la tension entre photocathode et premier dynode, et dans une troisième série de mesures on a étudié l'effet d'un abaissement de la température, de la température ambiante à celle du CO_2 solide.

Enfin, les résultats obtenus ont été contrôlés et confirmés en utilisant comme signal les étincellements produits par les rayons γ du ThC'' dans un cristal de naphthaline.

Summary. — This Institute having constructed the apparatus for the technique of scintillation counters, recently introduced by Broser and Kallmann, a systematic investigation of this new device has been started with a view to determining exactly its characteristics and possibilities.

The measurements carried out as set forth in this first paper served the purpose of studying the behaviour of photomultipliers type 931A under very little light intensities. It was first of all ascertained that under the experimental conditions chosen the leakage current was small as compared with the dark current due to thermionic emission of the photocathode and dynodes. Afterwards, a determination was carried out by means of a d.c. device of the trend of the ratio of the current caused by a standard constant light signal to the total dark current as a function of the feed voltage. Thus, a criterion has been found for classifying and selecting the tubes, for whose strong individual differences a compensation proves to be possible within certain limits through a proper regulation of the feed voltage.

In a second series of measurements the effect was studied which is produced on the sensitivity of a Photomultiplier by a change in the voltage between photocathode and first dynode, and a third series of measurements was carried out to study the effect of a sinking of temperature from the temperature of the surrounding air to that of solid CO_2 .

Lastly, the results obtained were checked and confirmed by using as a signal the scintillation produced by the γ -rays of ThC'' in a crystal of naphthalene.

Zusammenfassung. — Nachdem die Technik der kürzlich von Broser Kallmann eingeführten Szintillationenzähler realisiert worden ist, wurde ein systematisches Studium des neuen Apparates begonnen, mit dem Zweck, dessen Eigenschaften und Möglichkeiten genau zu bestimmen. Die in dieser ersten Mitteilung angegebenen Messungen bezwecken, das Verhalten des Photomultiplikators Type 931 A unter sehr schwacher Lichtintensität zu beobachten. Vor allem wollten wir uns vergewissern, dass — bei den gewählten experimentellen Verhältnissen — der Dispersionsstrom im Vergleich zum Dunkelstrom, welcher durch thermoionische Emission der Photokathode und der Dynode gebildet wird, klein war. Es wurde dann mittels einer G. S. Vorrichtung die Änderung des Verhältnisses zwischen dem durch ein konstantes standard Lichtsignal gegebenen Strom und dem gesamten Grundstrom in Funktion der Betriebsspannung bestimmt. Es wurde so ein Kriterium gefunden, um die Röhren, deren starke individuelle Unterschiede bis zu gewissen Grenzen kompensierbar erscheinen, durch passende Regulierung der Betriebsspannung zu klassifizieren und auszuwählen.

In einer zweiten Messungsreihe wurde die Wirkung einer Spannungsänderung zwischen der Photokathode und der ersten Dynode auf die Sensibilität eines F. M. und in einer dritten Messungsreihe die Wirkung eines Temperaturfalles von Raumtemperatur zur Temperatur des festen CO_2 beobachtet.

Zum Schluss wurden die erhaltenen Ergebnisse überprüft und bestätigt, indem als Signal die von den γ Strahlen des ThC'' in einem Naphtalinkrystall erzeugten Szintillationen verwendet wurden.

I moltiplicatori elettronici furono per la prima volta usati come rivelatori di particelle di bassa energia da Bay ⁽¹⁾ e da Allen ⁽²⁾. Nelle misure di questi Autori, le particelle primarie venivano direttamente raccolte sul catodo del moltiplicatore, determinando l'emissione di un certo numero di elettroni secondari; questi a loro volta si moltiplicavano attraverso i successivi stadi fino a creare una valanga elettronica e quindi un impulso di tensione facilmente rivelabile, sull'anodo dello strumento.

E' merito di Broser e Kallmann ⁽³⁾ l'aver recentemente usato allo stesso scopo un moltiplicatore elettronico con catodo fotosensibile, in unione ad una sostanza fluorescente opportunamente scelta. E' infatti ben noto fin dai primordi della radioattività che sostanze fluorescenti, quali il solfuro di zinco o il tungstato di calcio, emettono se colpite da particelle α delle vive scintillazioni direttamente percepibili ad un occhio esercitato ed abituato all'oscurità; un buon schermo al solfuro di zinco converte in quanti di luce il 15% circa dell'energia delle α su di esso incidenti ⁽⁴⁾. Broser e Kallmann eliminarono tutte le incertezze derivanti dall'osservazione soggettiva sostituendo all'occhio umano il catodo fotosensibile di un moltiplicatore ed osservando gli impulsi di tensione sull'anodo, opportunamente amplificati, con un oscillografo catodico.

Essi inoltre scoprirono che i cristalli di alcune sostanze organiche, quali la naftalina, l'antracene, il fenantrene, sotto l'azione di elettroni o raggi γ danno luogo a scintillazioni paragonabili a quelle ottenibili nel solfuro di zinco con le particelle α ⁽⁵⁾.

Tale scoperta ha subito determinato tutta una serie di lavori da parte di diversi Autori sui nuovi «contatori a scintillazione» ⁽⁶⁾. Da tali ri-

(1) Z. BAY, Nature, 141, 284 e 1011 (1938); Z. f. Phys., 117, 227 (1941); R. S. I., 12, 127 (1941).

(2) J. S. ALLEN, Phys. Rev., 55, 336 e 966 (1939); 59, 110 (1941); 61, 692, (1942); R. S. I., 12, 484 (1941).

(3) I. BROSER e H. KALLMANN, Z. f. Naturforschung, 2^a, 439 (1947).

(4) J. CHARITON e C. A. LEA, Proc. Roy. Soc., A, 122, 304 (1922).

(5) I. BROSER e H. KALLMANN, Z. f. Naturforschung 2^a, 642 (1947).

(6) Oltre ai lavori citati nelle altre note, si veda: K. P. MEYER, H. P. A., 19, 221, (1946); J. W. COLTMANN e F. H. MARSHALL, Phys. Rev., 72, 528 (1947); Nucl., 1, 59 (1947); M. DEUTSCH, Nucl., 2, 58 (1948); S. DE BENEDETTI, F. K. MC GOWAN, e J. E. FRANCIS jr, Phys. Rev., 73, 1404 (1948); P. R. BELL, Phys. Rev., 73, 1405 (1948); R. HOFSTADTER, Phys. Rev., 74, 100 (1948); L. DEL ROSARIO, Phys. Rev., 74, 304 (1948); P. R. BELL e R. C. DAVIS, Phys. Rev., 74, 1245 (1948); R. F. TASCHEK

cerche già numerose ma condotte sinora senza alcuna sistematicità, sono emersi tuttavia con sicurezza alcuni punti che permettono di guardare alla nuova tecnica come ad una delle più promettenti. V'è intanto la possibilità di rivelare raggi γ con rendimenti notevolmente maggiori di quelli sino ad ora ottenuti; lo stesso dispositivo si presta (eventualmente con la semplice sostituzione del cristallo posto davanti al catodo fotosensibile) a rivelare particelle ionizzanti pesanti e leggere di ogni energia, quanti γ e (attraverso i protoni di rinculo o sfruttando qualche processo disintegrativo) neutroni. Ma il fatto più notevole è senza dubbio costituito dalla possibilità di ottenere da ciascuna particella incidente sul dispositivo di rivelazione un impulso di tensione estremamente breve. Zworykin, Morton e Malter ⁽⁷⁾, studiando il comportamento di un moltiplicatore al variare della frequenza della tensione applicata, hanno trovato una risposta costante fino a $10^8 \div 10^9$ hertz. Ciò significa evidentemente che la valanga elettronica prodotta da un singolo fotoelettrone arriva sull'anodo distribuita in un intervallo di tempo non certamente superiore a 10^{-9} sec. Di quest'ordine è anche la valutazione della durata di un impulso che fa Sard ⁽⁸⁾ per il fotomoltiplicatore tipo 931 della RCA.

E' d'altra parte possibile trovare dei cristalli che godano delle seguenti proprietà:

1) posseggano degli stati elettronici eccitati e distanti dallo stato fondamentale di una quantità corrispondente ad un quanto di frequenza compresa nella zona di sensibilità di un fotomoltiplicatore (4000-6000 Å);

2) siano trasparenti alla radiazione da essi stessi emessa nel passare da questi stati eccitati allo stato fondamentale; il che significa che la transizione in questione deve essere una transizione proibita;

3) abbiano una vita media, negli stati eccitati, non troppo lunga, ma confrontabile con la durata di 10^{-9} sec., della valanga elettronica causata in un FM da un singolo fotoelettrone. Ciò richiede evidentemente che le transizioni allo stato fondamentale non siano troppo proibite. Siccome le vite medie degli stati eccitati in un cristallo sono normalmente assai più brevi, questa ultima condizione non è in contrasto con la precedente.

La scoperta di Broser e Kalmann dimostra che tali cristalli effettivamente esistono. Misure della vita media degli stati eccitati per la naftalina, l'antracene, il fenantrene ⁽⁹⁾ hanno per esempio dato risultati del-

e H. T. GITTINGS, *Phys. Rev.*, **74**, 1553 (1948); A. V. TOLLESTRUP, *Phys. Rev.*, **74**, 1571 (1948); S. C. CARRAN e W. R. BAKER, *R. S. I.*, **19**, 161 (1948); E. BALDINGER, P. HUBER e K. P. MEYER, *R. S. I.*, **19**, 473 (1948), Z. BAY e G. PAPP, *R. S. I.*, **19**, 565 (1948); G. PAPP, *R. S. I.*, **19**, 568 (1948); J. M. ROBSON, *R. S. I.*, **19**, 865 (1948).

⁽⁷⁾ V. K. ZWORYKIN, G. A. MORTON e L. MALTER. *P. I. R. E.*, **24**, 351 (1936).

⁽⁸⁾ D. R. SARD, *J. Appl. Phys.*, **16**, 768 (1946).

⁽⁹⁾ G. B. COLLINS, *Phys. Rev.*, **74**, 1543 (1948).

l'ordine di 10^{-8} sec. Combinando un cristallo di questo tipo con un fotomoltiplicatore, è dunque possibile ottenere da ciascuna particella incidente un impulso di tensione di durata decisamente inferiore a 10^{-7} sec. e realizzare delle coincidenze tra vari moltiplicatori di pari potere risolutivo. Ciò apre evidentemente delle nuove importanti possibilità, sia nel campo della fisica del nucleo sia in quello della radiazione cosmica, in relazione ad esempio coi mesoni π recentemente scoperti da Occhialini e Powell.

Avendo anche nel nostro Istituto realizzata la tecnica dei contatori a scintillazione, abbiamo iniziato uno studio sistematico del nuovo dispositivo al doppio scopo di individuarne esattamente le caratteristiche e le possibilità e di mettere a punto alcune esperienze in preparazione. Crediamo non inutile rendere sin da ora noti i primi risultati di questo studio, dato ch'essi possono forse facilitare il compito ad altri che pure si propongano di lavorare con la nuova tecnica.

Nella presente nota ci limiteremo ad esporre i risultati ottenuti nello studio del fotomoltiplicatore (il 931-A della RCA, reperito tra il materiale residuo di guerra), rimandando ad altra comunicazione la descrizione dell'apparato amplificatore e registratore, nonché lo studio sistematico dei cristalli fluorescenti.

Sul comportamento di un fotomoltiplicatore in presenza di segnali luminosi estremamente deboli ben poco è stato scritto. Marshall, Coltmann e Bennett ⁽¹⁰⁾ i quali, subito dopo Broser e Kalmann in Germania, hanno per i primi in America impiegato un FM come rivelatore di scintillazioni, hanno rilevato che esistono da tubo a tubo delle differenze molto sensibili e classificato i vari tubi a seconda del rapporto tra la corrente di risposta ad un segnale luminoso standard e la corrente di fondo del FM, in assenza di segnale. Il metodo con cui essi hanno eseguito la misura di tale rapporto è il seguente. Ritenendo che vi sia una notevole componente continua della corrente di fondo, derivante da dispersione, essi hanno connessa ai capi della resistenza di fuga del FM un volmetro in alternata, ove il segnale veniva amplificato e rettificato, ottenendo così in sostanza una misura della media del valore assoluto della fluttuazione della corrente anodica in presenza e in assenza del segnale luminoso. Il rapporto tra le due fluttuazioni medie è da essi assunto come valore del rapporto R tra segnale e fondo. L'andamento di R con la tensione totale applicata al FM, mostra una diminuzione continua al crescere della tensione. Come del resto gli stessi Autori riconoscono, non si comprende bene quale sia il significato del rapporto così misurato. La

(¹⁰) F. H. MARSHALL, J. W. COLTMANN e A. I. BENNETT, R. S. I., 19, 744 (1948).

risposta del volmetro in a.c. tende infatti ad essere proporzionale al numero di impulsi per unità di tempo, se questo numero è molto piccolo e gli impulsi stessi sono completamente risolti, alla radice quadrata di tale numero in caso contrario.

Una valutazione dell'andamento del rapporto segnale-fondo è stata poi fatta da Wouters ⁽¹¹⁾ al variare della tensione sui primi due stadi del FM, usando come segnale le scintillazioni di un cristallo di antracene. Wouters trova che tale rapporto rimane pressochè costante al crescere della tensione fino a 120 volt per stadio, dopo di che diminuisce rapidamente.

Allo scopo di comprendere chiaramente il comportamento del FM sotto debolissime intensità luminose, ci siamo innanzi tutto preoccupati di stabilire l'ordine di grandezza della corrente di dispersione. Abbiamo a questo scopo montato un FM 931-A e dato tensioni negative al catodo e ai nove dinodi mediante un partitore costituito da 10 resistenze da 100 k Ω ciascuna. La corrente anodica veniva dedotta dalla caduta di tensione esistente ai capi della resistenza di fuga, misurata mediante un elettrometro tipo Trabacchi ⁽¹²⁾. Non essendo la capacità dell'elettrometro sufficiente ad eliminare completamente le piccole oscillazioni del filo dovute alle fluttuazioni della corrente, abbiamo aggiunto in parallelo una capacità da 1000 pF. La resistenza di fuga è stata scelta di regola la più bassa possibile, facendo lavorare l'elettrometro a sensibilità elevata, allo scopo di mantenere praticamente costante il potenziale dell'anodo in tutto il corso delle misure. Con le ovvie precauzioni di paraffinare zoccolo e bassetta della valvola, di lavorare in ambiente ben asciutto e a temperatura costante, abbiamo eliminato (tranne in alcuni casi di FM costruttivamente difettosi) tutti quei fenomeni di instabilità cui accennano Marshall Coltmann e Bennet nel loro lavoro ed ottenuto risultati sempre perfettamente riproducibili.

In condizioni in cui l'amplificazione del FM era dell'ordine di qualche unità in 10^6 mediante osservazione all'oscillografo abbiamo prima di tutto valutato il numero di impulsi di fondo a circa 50.000 al secondo. Attribuendo ciascun impulso ad un singolo fotoelettrone emesso dal catodo o dal primo dinodo, ciò corrisponde ad una corrente di fondo dell'ordine di 10^{-8} ampere, cioè proprio dell'ordine di quella da noi misurata col metodo sopradescritto nelle stesse condizioni. Questa valutazione, per quanto grossolana, dimostra come la corrente di dispersione sia certamente inferiore, come ordine di grandezza, alla corrente di fondo propriamente detta, dovuta sostanzialmente a emissione termoionica del fo-

⁽¹¹⁾ L. F. WOUTERS, Phys. Rev., 74, 489 (1948).

⁽¹²⁾ G. C. TRABACCHI, Rend. Ist. Sup. Sanità, 5, 644 (1942).

tocatodo e dei successivi dinodi. Abbiamo del resto ottenuto una sicura conferma di questo fatto, abbassando la temperatura del FM da $20,5^{\circ}\text{C}$ a 6°C . La corrente di fondo si è corrispondentemente ridotta per un fattore 12 circa, passando da $5,0 \cdot 10^{-8}$ amp. a $4,1 \cdot 10^{-9}$ amp. Dai dati noti sulla superficie catodica ⁽¹³⁾ si ricava che, secondo la legge di Richardson, tale fattore dovrebbe essere dell'ordine di 10, in buon accordo col risultato sperimentale. Si può dunque concludere che nelle nostre condizioni sperimentali la corrente di dispersione non era certamente maggiore, come ordine di grandezza, di 10^{-10} amp.

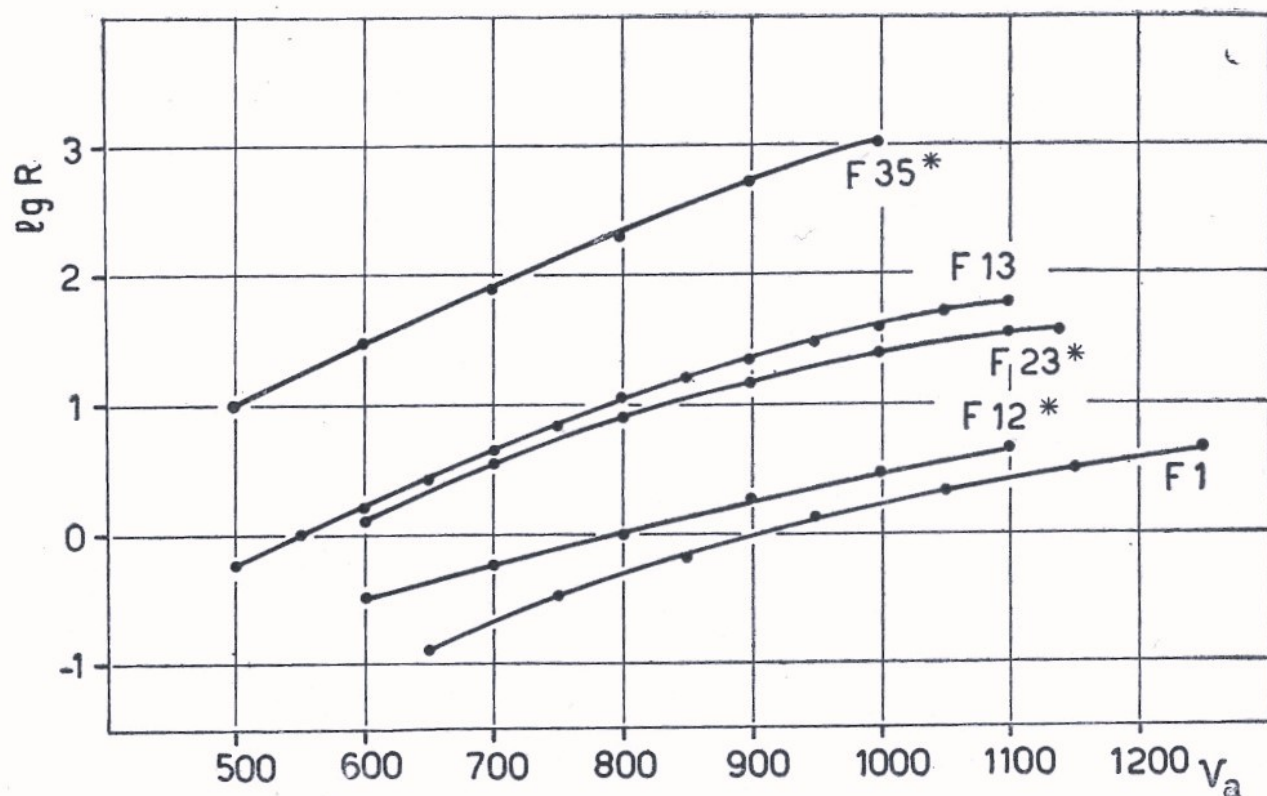


FIG. 1.

Il dispositivo in c.c. sopradescritto si presta allora ad eseguire delle attendibili misure di sensibilità. Come misura relativa della sensibilità di un FM, in determinate condizioni, noi abbiamo assunto il valore del rapporto R tra la corrente dovuta ad un debolissimo segnale luminoso di riferimento, detratta la corrente di fondo, e la corrente di fondo stessa. Abbiamo realizzato il segnale mediante una lampadina elettrica di tipo micromignon, alimentata con 2 volt di accumulatori, riducendone l'intensità luminosa mediante opportuni filtri. Uno schermo con foro del diametro di 3 mm, posto davanti al fotocatodo limitava alla parte centrale di questo la zona illuminata.

⁽¹³⁾ D. R. CORSON e R. R. WILSON, R. S. I., 19 207 (1948).

In tal modo, abbiamo innanzi tutto determinato l'andamento di R in funzione della tensione V_a applicata ai capi del partitore di alimentazione, per diversi FM, alla temperatura ambiente di $20,5^\circ \text{C}$. La figura 1 mostra in iscala semilogaritma alcune curve tipiche ottenute in questa prima serie di misure. Le curve contrassegnate con un asterisco sono relative a un segnale luminoso diverso dalle altre due. Come si vede, R cresce rapidamente al crescere di V_a , ma esistono da tubo a tubo delle fortissime differenze di sensibilità. Tali differenze si possono tuttavia entro certi limiti compensare variando opportunamente la tensione applicata. Questo fatto è importante, in quanto da esso deriva, ad esempio, la possibilità di fare delle coincidenze tra diversi FM, senza dover ricorrere ad una selezione veramente critica dei tubi.

Indicando con $n_0, n_1, n_2, \dots$ i numeri di elettroni emessi al secondo dal fotocatodo e dai successivi dinodi per effetto termoionico; con N il numero dei fotoelettroni emessi al secondo dal fotocatodo per effetto del segnale; con $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ i coefficienti di moltiplicazione medi sui vari dinodi, si ha evidentemente:

$$R = \frac{N}{n_0 + \frac{n_2}{\alpha_1} + \frac{n_2}{\alpha_1 \alpha_2} + \dots + \frac{n_9}{\alpha_1 \dots \alpha_9}} \quad (1)$$

I coefficienti di moltiplicazione, nell'intervallo di tensione che qui interessa si possono grosso modo ritenere proporzionali alla tensione per dinodo ⁽¹⁴⁾. Si vede dunque come al crescere di V_a il rapporto tra segnale e fondo debba veramente crescere, avvicinandosi al valore limite:

$$R_{\max} = \frac{N}{n_0} \quad (2)$$

Le curve della figura 1 mostrano effettivamente questa tendenza alla saturazione per i maggiori valori di V_a . Il fatto però che la saturazione non venga raggiunta alla temperatura ambiente (per valori ammissibili della tensione) dimostra che a questa temperatura l'emissione termoionica dei successivi dinodi è tutt'altro che trascurabile in confronto a quello del catodo.

La figura 1 fa inoltre vedere come il rapporto tra i valori di R relativi a due diversi FM e corrispondenti alla stessa tensione V_a , si mantenga ragionevolmente costante al variare di V_a stesso. Ha quindi un senso abbastanza definito il classificare i vari FM in base ai valori di R relativi alle stesse condizioni di tensione e di segnale. La statistica da noi fatta su 32 tubi ha dato i risultati riassunti nella seguente tabella.

(14) F. E. TERMAN, Radio Engineers' Handbook, New. York, pag. 286 (1943).

R compreso tra		N	R compreso tra		N	R compreso tra		N
0	1	5	10	15	5	100	200	2
1	2	3	15	20	3	200	300	1
2	5	3	20	50	2	Difettosi		4
5	10	3	50	100	1	Totale		32

Come si vede, la dispersione è qui sensibilmente maggiore che nell'analoga statistica di Marshall, Coltmann e Bennett. Contrariamente a quanto affermano questi Autori, v'è poi un'evidente correlazione tra corrente di fondo e sensibilità, nel senso che i FM di maggiore sensibilità hanno in generale corrente di fondo minore.

In una seconda serie di misure abbiamo cercato di determinare l'effetto della tensione V_1 tra catodo e primo dinodo sui valori del rapporto R . Secondo la (1), un modo di avvicinarsi al valore limite $R_{\max}$ è quello di far crescere α_1 . Elevando la tensione sul primo dinodo, R dovrebbe dunque crescere sensibilmente.

Le figure 2 e 3 mostrano alcune curve tipiche ottenute in questa serie di misure. La figura 2 mostra l'andamento della corrente di fondo in funzione di V_1 , per diversi valori della tensione applicata tra due qualsiasi dinodi successivi. Il fatto che la corrente di fondo risenta molto poco del valore di V_1 , è una conferma del risultato già stabilito in precedenza, secondo cui a temperatura ambiente il contributo al fondo dei successivi dinodi è tutt'altro che trascurabile in confronto a quello del fotocatodo. La figura 3 mostra, per lo stesso FM l'andamento di R in funzione di V_1 , sempre per diversi valori della tensione per dinodo. Fissata quest'ultima, R cresce fino ad un valore di saturazione; la sensibile dipendenza di R dalla tensione per dinodo è giustificata secondo la (1) dalla variazione dei coefficienti di moltiplicazione $\alpha_2, \dots, \alpha_9$. Si osservi inoltre che l'energia media con cui sono emessi gli elettroni secondari da ciascun dinodo dipende anche dall'energia dell'elettrone incidente, cioè dal potenziale dei dinodi precedenti, per cui ad esempio i termoelettroni del primo dinodo si moltiplicano meno sul secondo dinodo che non gli elettroni emessi dal fotocatodo.

In una terza serie di misure abbiamo studiato l'effetto della temperatura sulla corrente di fondo e sulla sensibilità di un FM. Le figure 4, 5, 6 tutte e tre relative allo stesso tubo danno un esempio dei risultati

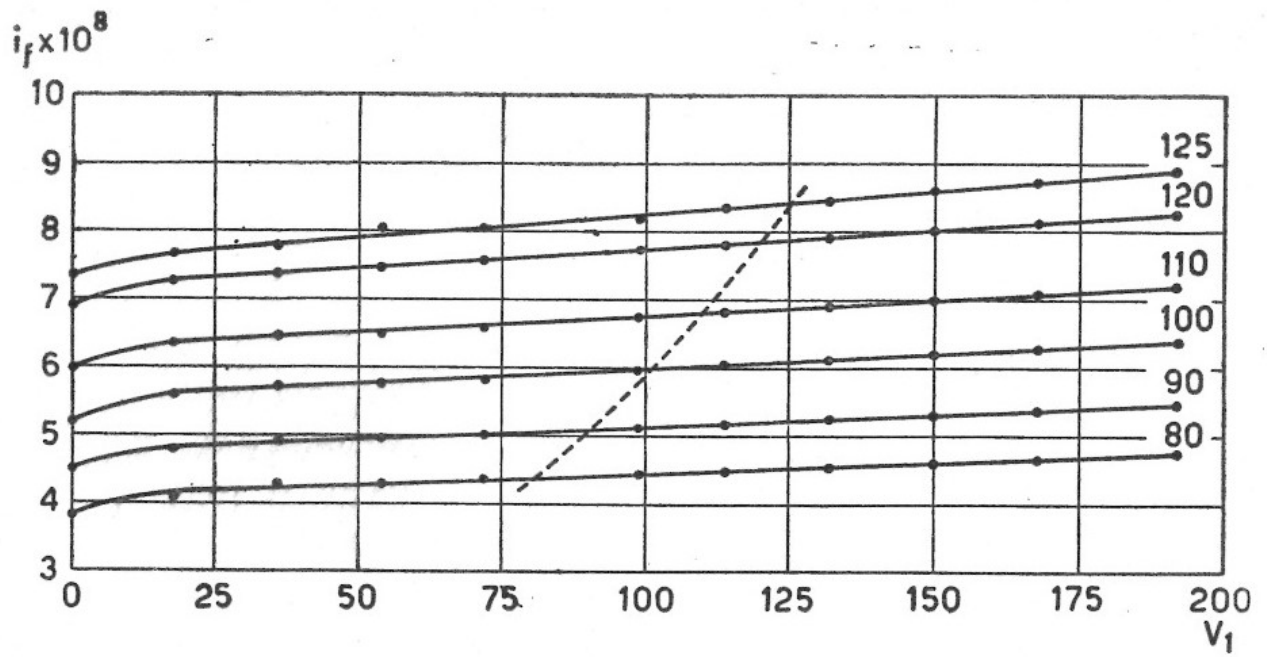


FIG. 2.

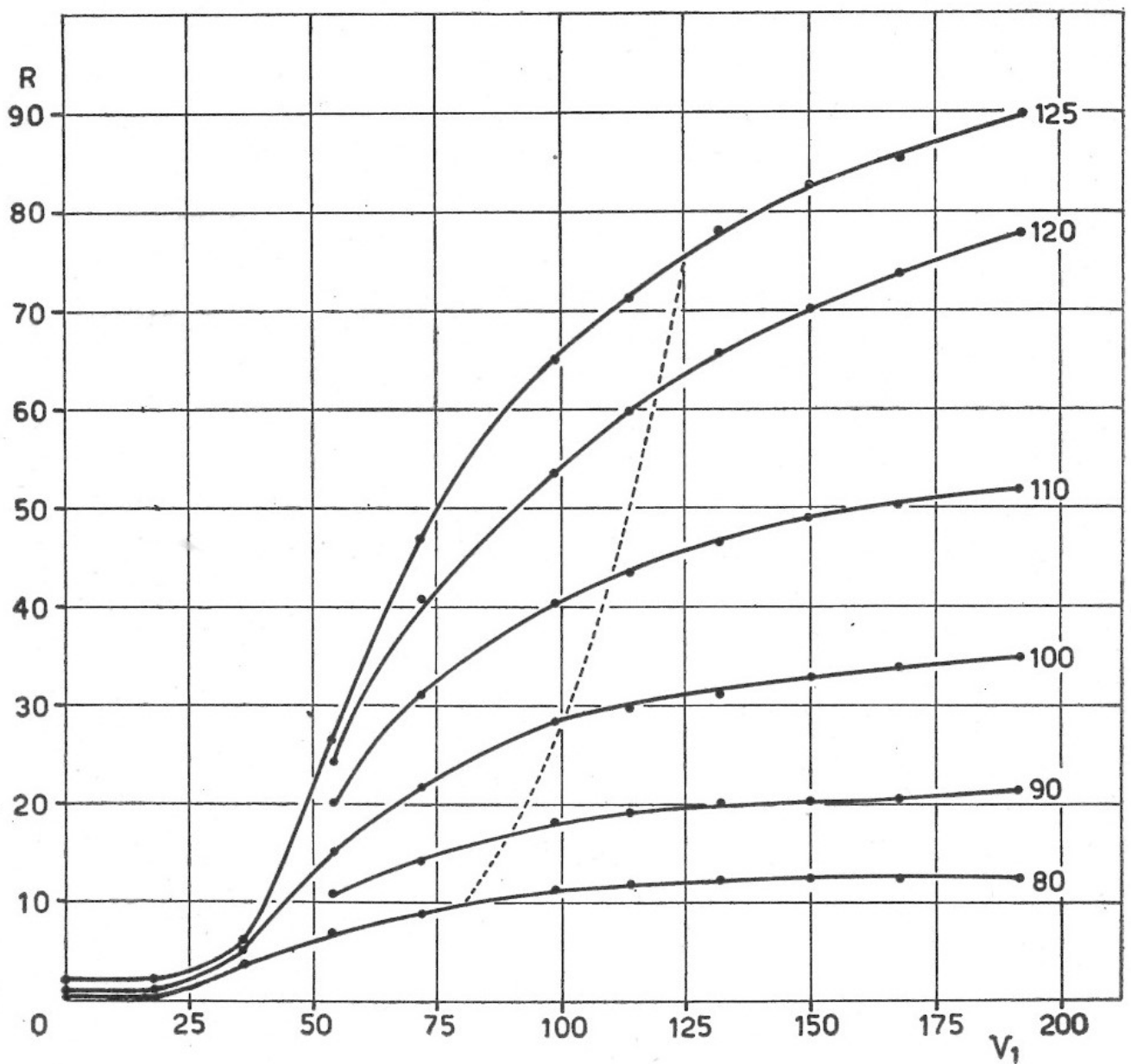


FIG. 3.

ottenuti. La figura 4 rappresenta l'andamento di R in funzione della tensione applicata V_a per diversi valori della temperatura. Mentre l'aumento di sensibilità tra $20,5^\circ \text{C}$ e $6,0^\circ \text{C}$ corrisponde come si è visto abbastanza bene alla diminuzione della emissione termoionica, prevista dalla legge di Richardson, l'ulteriore aumento tra 6°C e $-78,5^\circ \text{C}$ (temperatura del CO_2 solido) è nettamente inferiore al prevedibile. Ciò sembra doversi interpretare nel senso che a $-78,5^\circ \text{C}$ la corrente di fondo termoionica è ormai inferiore alla corrente di dispersione. E' però da

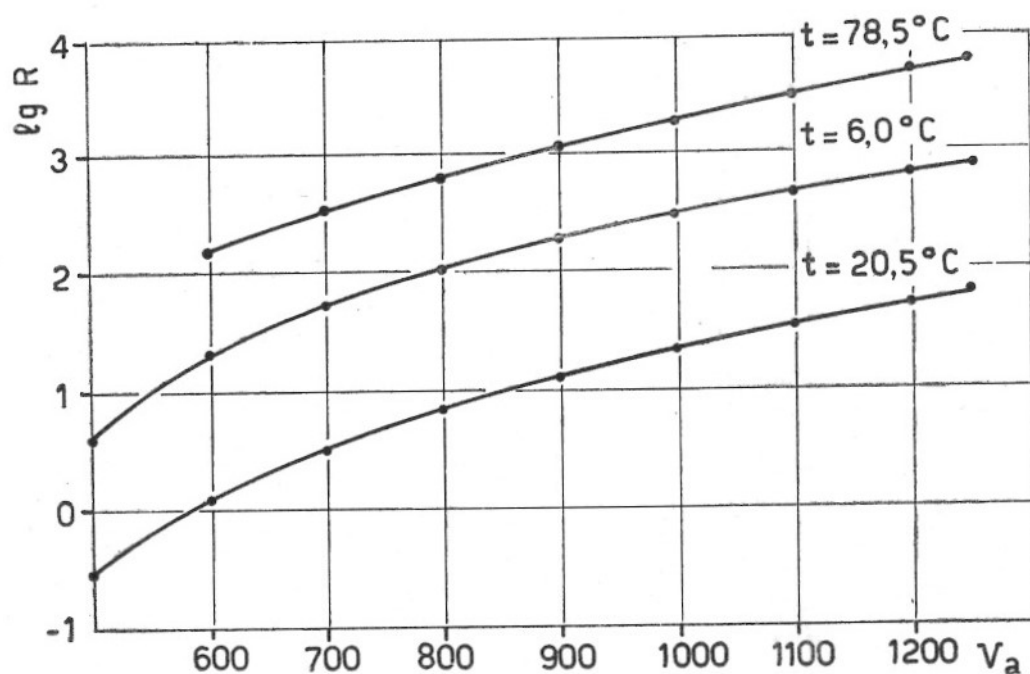


FIG. 4.

osservare che il funzionamento stesso del FM provoca una dissipazione costante di calore sui dinodi e di conseguenza la temperatura effettiva di questi è certamente superiore alla temperatura esterna. Le lente variazioni della corrente di segnale dall'inizio del funzionamento del tubo fino al raggiungimento di una condizione di regime ci hanno anzi dimostrato che questo effetto è tutt'altro che trascurabile. Nelle nostre misure abbiamo tuttavia cercato di renderlo minimo riducendo al minimo il tempo di misura ed interrompendo il segnale per alcuni minuti tra una misura e l'altra. Non avrebbe però lo stesso alcun senso tentare di dedurre dalla figura 4 il valore della corrente di dispersione.

A questo stesso effetto termico, determinante un aumento dell'emissione termica dei dinodi successivi, è probabilmente da imputare in parte l'aumento della corrente di fondo per i maggiori valori di V_1 , dimostrato dalla figura 5 (analoga della 2, alla temperatura di $-78,5^\circ \text{C}$) e il conseguente calo di R visibile nella figura 6. Comunque il fatto stesso che la corrente di fondo aumenti per $V_1 > 100$ volt, contrariamente a quanto

avviene a temperatura ambiente, denota che per $V_1 < 100$ volt, l'emissione termoionica dei dinodi è effettivamente molto piccola e al fondo contribuisce essenzialmente la corrente di dispersione. È quindi da ritenere che le curve della figura 6 non rappresentino correttamente l'andamento di R in funzione di V_1 a $-78,5^\circ\text{C}$, ma vadano moltiplicate, per $V_1 < 100$ volt, per un fattore costante molto elevato derivante dalla de-

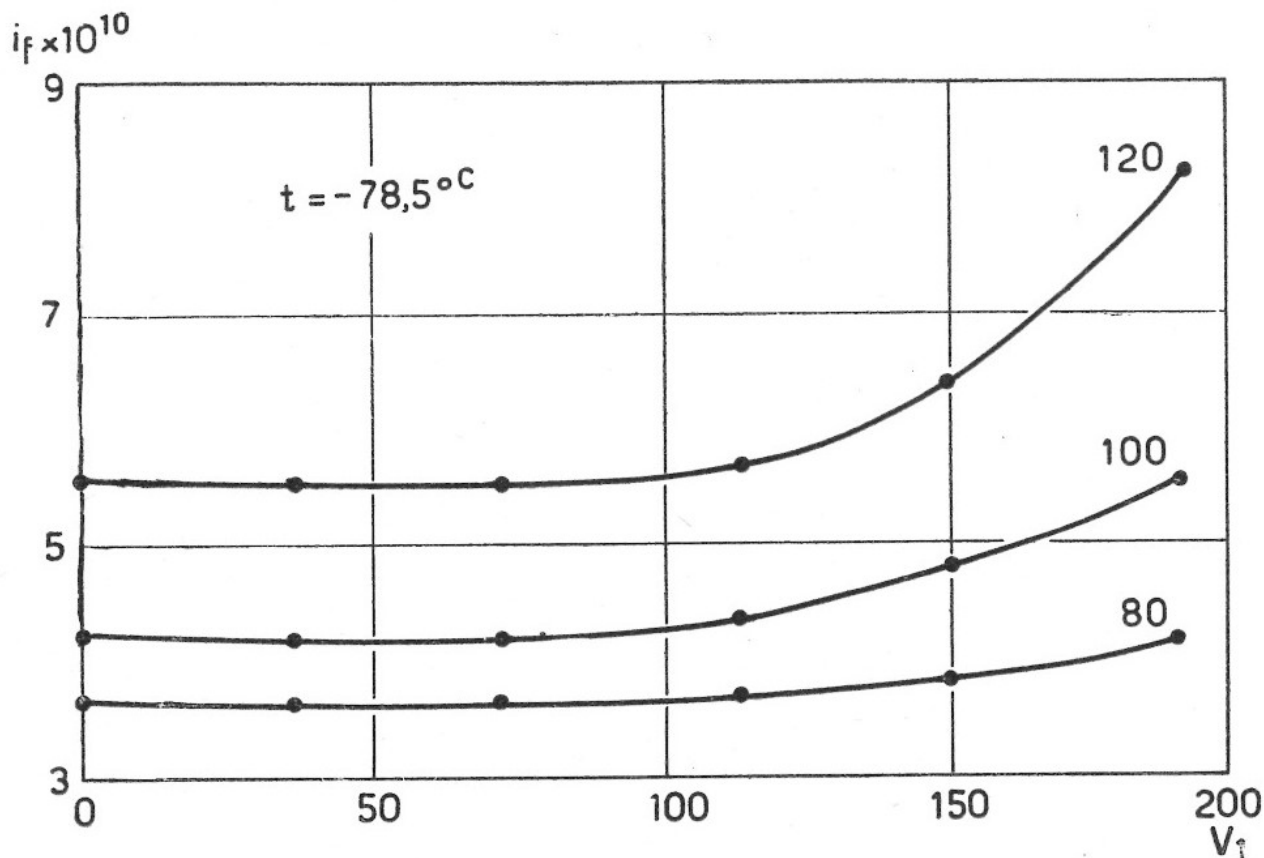


FIG. 5.

trazione dal fondo della corrente di dispersione e, per $V_1 > 100$ volt per un fattore via via decrescente, a causa del ricomparire di una sensibile emissione termoionica da parte dei dinodi.

Allo scopo infine di controllare a posteriori se veramente le nostre determinazioni di sensibilità corrispondono al comportamento del F'M di fronte alle scintillazioni prodotte da radiazioni α , β o γ in un cristallo, abbiamo ripetuto alcune delle misure precedenti sostituendo al segnale luminoso un cristallo di naftalina delle dimensioni approssimative di $2 \times 1 \times 0,4$ cm³, irraggiato con le particelle α del Po o con i raggi γ del MsTh. Osserviamo, incidentalmente, che contrariamente a quanto affermano Broser e Kallmann (³) la naftalina dà effettivamente luogo (se pure con rendimento non molto elevato) a scintillazioni anche sotto l'azione di particelle α .

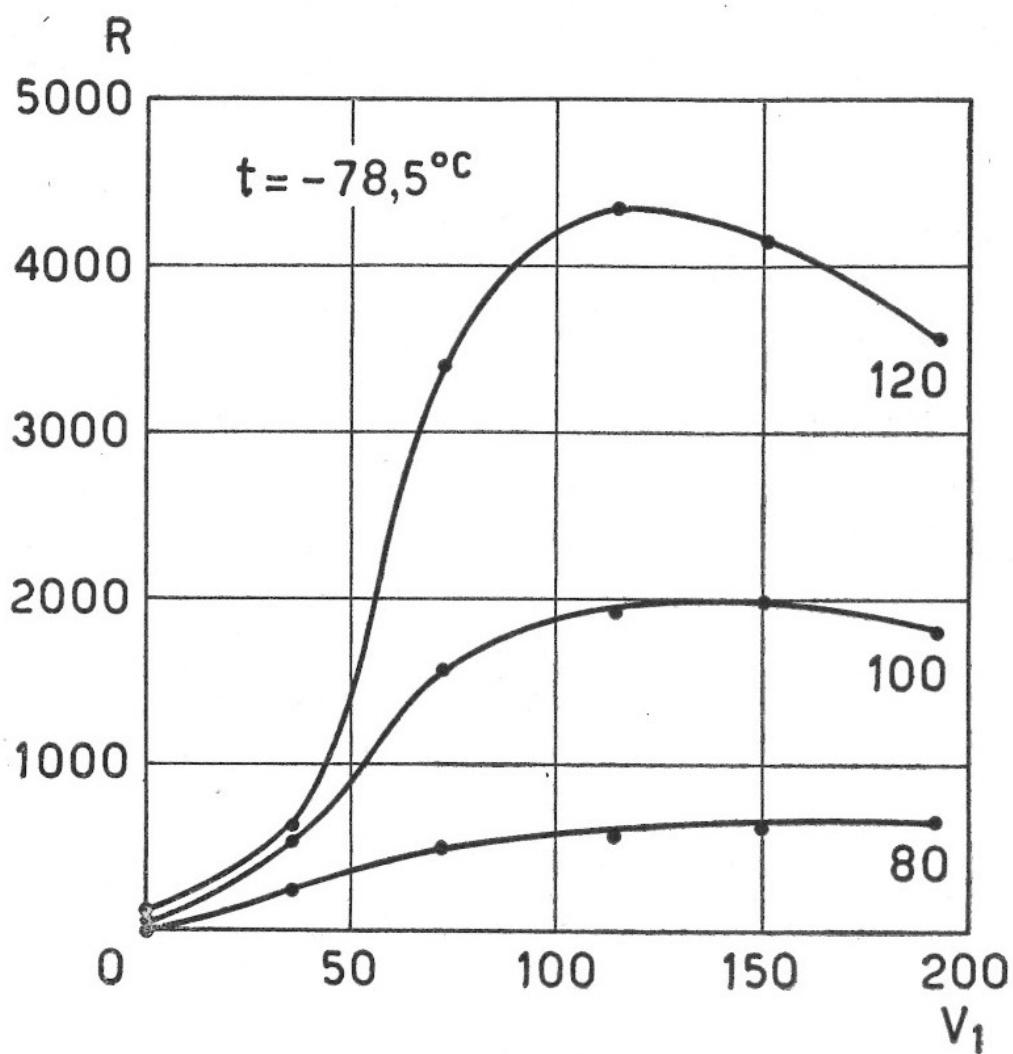


FIG. 6.

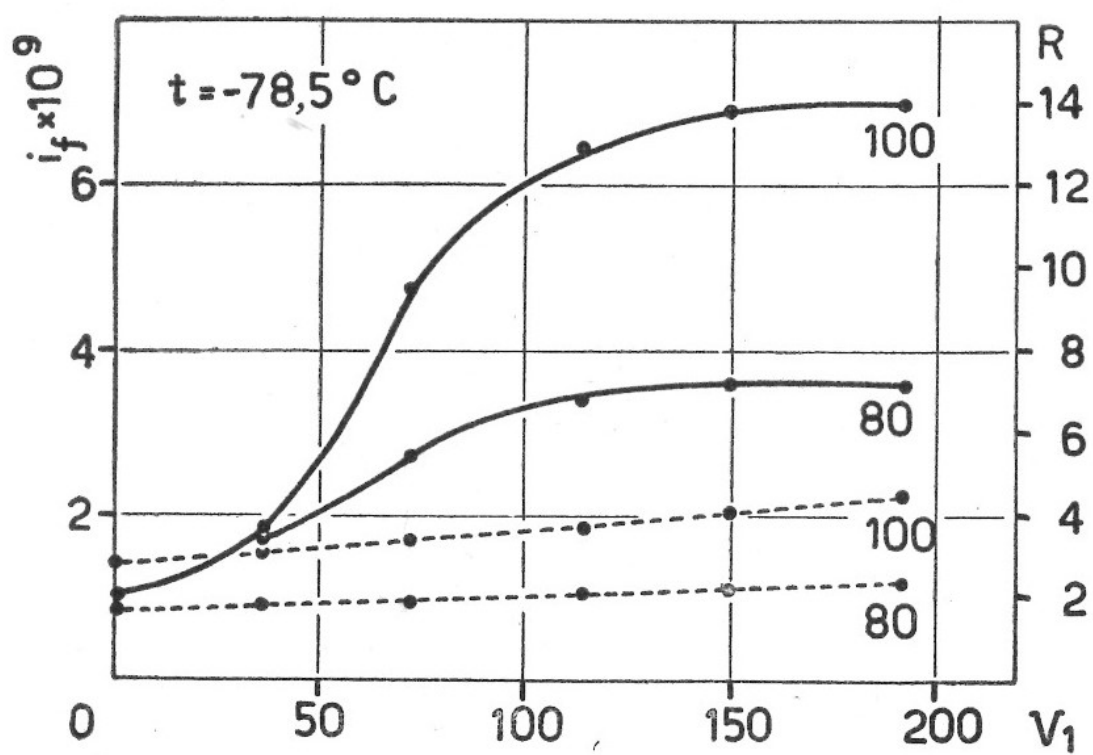


FIG. 7.

Siccome le fluttuazioni della corrente anodica di segnale risultano in queste condizioni molto più ampie che col segnale luminoso, abbiamo dovuto aumentare il condensatore in parallelo all'elettrometro fino a 10^4 pF, con che il tempo di misura è diventato molto più lungo. In tal modo abbiamo tuttavia potuto confermare tutti i risultati esposti nei precedenti paragrafi. L'unico risultato nuovo è quello contenuto nella figura 7, che mostra l'andamento, a $-78,5^\circ$ C, della corrente di fondo di un FM (curva tratteggiata) e di R (curva continua) in funzione di V_1 , per due diversi valori della tensione per dinodo. Essa differisce dall'analoga figura 6 per l'assenza della ricaduta dei valori di R in corrispondenza ai valori più elevati di V_1 . Ciò conferma la nostra interpretazione del calo in questione. Infatti essendo le misure assai più lunghe la corrente di segnale, pur molto minore che nelle condizioni della figura 6, può dar luogo a sensibile riscaldamento dei dinodi.

Vogliamo infine esprimere la nostra vivissima gratitudine al prof. G. C. Trabacchi per il Suo costante interessamento e incoraggiamento e per i mezzi e gli strumenti messi con grande liberalità a nostra disposizione nel laboratorio da Lui diretto.

Roma. — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di fisica.
