

MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI DI UN MICROFOTOMETRO MOLL

Nota di A. KRANJC (*)

(*Osservatorio Astronomico di Merate - Centro di Astrofisica C.N.R.*)

RIASSUNTO. — L'elemento rivelatore di un microfotometro Moll originale è una termocoppia; a causa della bassa sensibilità e potere separatore essa è stata sostituita con un fotomoltiplicatore. Il potere separatore dopo la modifica si avvicina molto al teorico, circa 1 micron. Si discute lo smorzamento optimum del galvanometro.

ZUSAMMENFASSUNG. — Im folgenden wird die Ersetzung einer Thermosäule, bei einem Mollmikrophotometer, durch einen Photovervielfacher beschrieben. Die geringe Empfindlichkeit der Thermosäule erlaubte früher eine Trennung von kaum 10 Mikron; nach der Ersetzung erreicht die Trennung 1 Mikron. Anschliessend wird der Einfluss der Galvanometerdämpfung besprochen und es ergibt sich als Optimum die Hälfte der kritischen Dämpfung.

Il microfotometro tipo Moll costruito dalla Kipp e Zonen ha, come elemento rivelatore, una termocoppia a corto periodo accoppiata direttamente ad un galvanometro a bassa resistenza, pure a corto periodo. La combinazione offre indubbi vantaggi di semplicità, sicurezza, linearità ecc., ma l'uso pratico per spettrogrammi astronomici rivela alcuni seri inconvenienti.

Anzitutto gli spettri stellari, per non perdere un tempo esagerato, vengono presi piuttosto bassi, raramente più di un millimetro di altezza, di solito molto meno. Pertanto la zona di spettro esplorata deve essere ancora più delimitata in altezza. D'altra parte la larghezza della fenditura esplorante è fissata in partenza, sia dal potere risolvete dello spettrografo che dalla lastra. Dunque le dimensioni della fenditura esplorante non possono essere modificate. Se vogliamo che l'elongazione del galvanometro, e quindi l'altezza del microfotogramma, sia sufficiente, non si può far altro che agire sulla corrente della lampadina, ma è chiaro che oltre un certo limite la sua vita e, soprattutto, la stabilità d'emissione vengono compromesse. C'è di più. Talvolta può succedere di poter prendere spettri molto alti. In tal caso la larghezza della fenditura è ancora prestabilita,

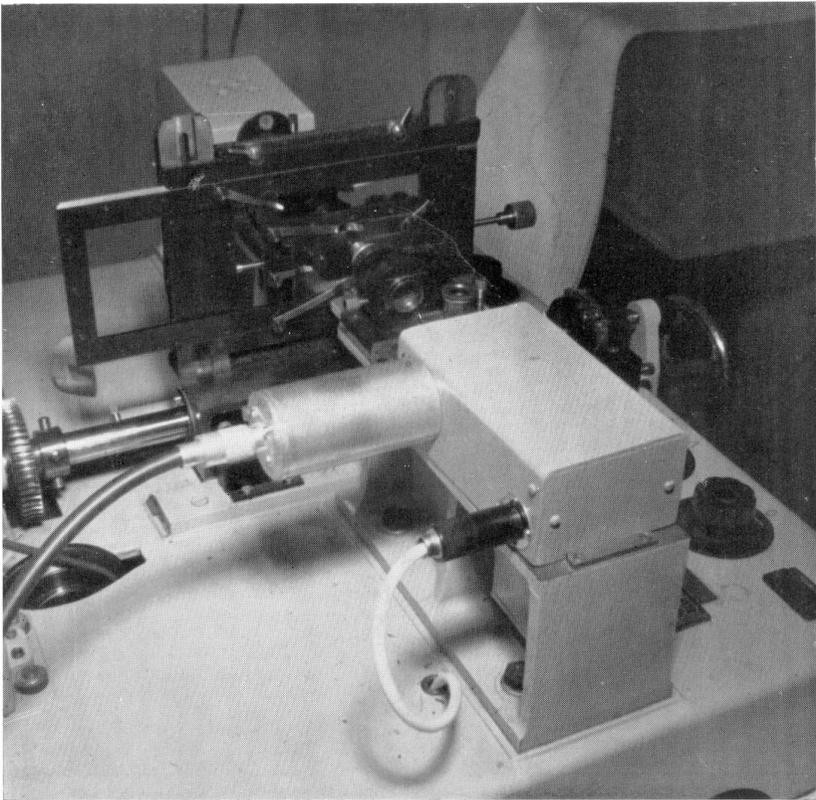
(*) Ricevuta il 4 febbraio 1957.

come precedentemente, ma l'altezza può essere maggiore. Ciò si traduce in un aumento dell'area esplorante a parità di larghezza; quindi, senza perdere in potere risolvete, si ha una diminuzione delle fluttuazioni prodotte dalla grana, ma solo fino ad un certo valore dell'altezza; più oltre non si avverte più alcun vantaggio perchè l'immagine dello spettro oltrepassa le dimensioni della termocoppia. Si ha così in pratica una seria limitazione all'altezza utile degli spettrogrammi. Se poi si va a vedere il potere risolvete si constata che, per microfotogrammi alti 100 mm, esso è notevolmente inferiore a quello teorico. Ciò perchè, pur tenendo la fenditura alta al massimo, non può essere stretta sino a dimensioni comparabili con la centrica degli obbiettivi da microscopio, pena la riduzione dell'altezza. Le aberrazioni cromatiche, non trascurabili, peggiorano ulteriormente il potere risolvete.

Tutti questi inconvenienti sono stati eliminati sostituendo alla termocoppia un fotomoltiplicatore tipo 931 A eccitato a tensione regolabile con continuità a mezzo di un potenziometro da 570 v a 730 v, erogata da un raddrizzatore elettronico stabilizzato, che fa parte integrante del riduttore di trasparenza in intensità già descritto (¹). Le aberrazioni cromatiche sono state eliminate con l'uso d'un filtro giallo; esso elimina la zona del blu e violetto, per la quale il fotomoltiplicatore è particolarmente sensibile, riducendo la sensibilità al 30% circa. D'altra parte la zona del rosso ed infrarosso, importante per la termocoppia, ora non ha efficacia, sicchè tutto avviene come se si lavorasse con luce monocromatica gialla. Un vetro smerigliato tra la II fenditura ed il f.m. ha lo scopo di diminuire gli effetti della non uniformità del fotocatodo.

Rimane da considerare l'accoppiamento al galvanometro. Nel modello originale uno dei due fili dalla termocoppia va direttamente al galvanometro, e l'altro ad una seconda termopila, eccitata per effetto Joule dalla corrente proveniente dagli accumulatori d'accensione della lampadina, tramite un potenziometro che ne regola l'intensità, con l'effetto dunque di spostare la posizione dello zero del galvanometro. Tale sistemazione presenta il rischio che se si deteriora la termopila può avvenire che la corrente degli accumulatori si scarichi attraverso il galvanometro (e la termocoppia, prima della modifica). Perciò, prima ancora di effettuare la sostituzione, si era già provveduto a connettere direttamente la termocoppia al galvanometro mediante un cavo coassiale, e precisamente ponendo un estremo della termocoppia a massa, e l'altro al filo centrale del cavo coassiale.

Col fotomoltiplicatore si è usato lo stesso sistema; è chiaro del resto che la compensazione a termopila per spostare lo zero non sarebbe stata di nessuna efficacia. Il collettore del f.m. è stato connesso al galvanometro. A scopo di sicurezza è stata interposta una resistenza da 3 M Ω la quale, è da sperare, dovrebbe essere sufficiente da proteggere il galvanometro nel caso che l'alta tensione negativa, per umidità od altro, si scaricasse



nel circuito del galvanometro, ed è contemporaneamente abbastanza piccola da non alterare in modo essenziale la tensione del collettore di uscita per una corrente dell'ordine di 10^{-6} Ampère, quale è quella passante nel galvanometro.

Una questione sorge riguardo al suo smorzamento. Precedentemente il galvanometro era chiuso su una resistenza fissa piuttosto bassa, quella della termocoppia, e per ottenere lo smorzamento voluto, non potendo variare la resistenza del circuito esterno, si variava il campo a mezzo di uno shunt magnetico; ma ora la resistenza esterna è praticamente infinita e lo shunt magnetico non ha tanta ampiezza di compensazione. Bisogna perciò, tolto lo shunt, aggiungere una resistenza in parallelo tra i morsetti del galvanometro in modo da ottenere lo smorzamento voluto.

Se la velocità di esplorazione della lastra fosse infinitamente lenta, poco importerebbe la costante di tempo del galvanometro ed il suo smorzamento; ma per accelerare il più possibile senza distorsione bisogna che il galvanometro segua il più rapidamente ed il meglio possibile il segnale del fotomoltiplicatore. E' essenziale osservare a questo punto che il f.m., a differenza della termocoppia, non limita affatto la velocità di risposta, la quale è dunque determinata solo dal galvanometro. Per un segnale a forma di gradino E la risposta θ è data dall'equazione differenziale

$$(1) \quad \ddot{\theta} + 2\sigma\dot{\theta} + \theta = E$$

ove σ è lo smorzamento. Risolvendo l'equazione differenziale (1) si ottiene

$$(2) \quad \theta = E \left\{ 1 - e^{-\sigma t} \left[\frac{\sigma}{\sqrt{1-\sigma^2}} \sin \sqrt{1-\sigma^2} t + \cos \sqrt{1-\sigma^2} t \right] \right\};$$

per il comportamento optimum si esige che l'errore quadratico medio ϵ

$$(3) \quad \epsilon = \int_0^{\infty} [E - \theta]^2 dt = \text{minimo}$$

L'integrale (3) può essere effettivamente calcolato e si ottiene infine l'errore quadratico medio della risposta del galvanometro in funzione dello smorzamento

$$(4) \quad \epsilon = 4\sigma + \frac{1}{\sigma}$$

Il valore minimo di ϵ corrisponde a $\sigma = 1/2$. Segue perciò che lo smorzamento che meglio di tutti rappresenta la funzione gradino, cioè la più difficile da rappresentare, è la metà dello smorzamento critico.

La risposta θ in funzione del tempo presenta oscillazioni smorzate

intorno alla nuova posizione di riposo $\theta = E$. Il valore della massima elongazione $\bar{\theta}$ che si ottiene in funzione di σ è dato dalla (5)

$$(5) \quad \bar{\theta} = E \left(1 + e^{-\pi \frac{\sigma}{\sqrt{1+\sigma^2}}} \right)$$

Poniamo qui $\sigma = 0,5$. Troviamo $\bar{\theta} = 1,15 E$.

Questa regola pratica ci permette di scegliere la resistenza esterna; il suo valore optimum è quello che produce un oltrepasso del galvanometro, dalla sua posizione d'equilibrio, del 15%.

Dalla (4) si ha che se lo smorzamento è critico, $\varepsilon = 5$; se $\sigma = 0,5$ si ha che $\varepsilon = 4$, cioè si guadagna il 20% in precisione, ciò che non è trascurabile.

Se dunque $E(t)$ è il flusso ricevuto dal fotomoltiplicatore, funzione del tempo, del potere separatore del microfotometro, cioè della larghezza fenditura ecc., posto che $\sigma = 0,5$ si ha dalla (1) che la registrazione ha per diagramma θ data da

$$(6) \quad \ddot{\theta} + \dot{\theta} + \theta = E(t)$$

Il tempo t va espresso nell'unità di misura $T/2\pi$, ove T è il periodo d'oscillazione libera del galvanometro; siccome da misure fatte è risultato $T = 0,25$ sec, ne segue che t va misurato in venticinquesimi di secondo. Siccome la velocità minima d'avanzamento della lastra nel microfotometro Moll è di 15 micron al secondo, segue che bisogna tener conto della (6) solo se si richiede un potere separatore migliore di 4 micron; altrimenti basta la formola molto semplice $E = \theta$.

Nota quindi $\theta(t)$ dal microfotogramma, si ricava $E(t)$ con operazioni di derivazione. Il problema inverso è meno importante; comunque la soluzione è

$$(7) \quad \theta(t) = \frac{2}{\sqrt{3}} \int_0^t \left[e^{-\frac{1}{2}(t-\tau)} \operatorname{sen} \frac{\sqrt{3}}{2}(t-\tau) \right] E(\tau) d\tau$$

La $E(t)$ non rappresenta il valore della trasparenza della lastra in una linea, ma la media su un rettangolino. Siccome gli obbiettivi da microscopio hanno apertura circa 1:1,3 per la luce gialla ciò significa una centrica sulla lastra del diametro di un paio di micron circa, e quindi la minima larghezza utile della fenditura proiettata sulla lastra è appunto di un micron circa, ed altrettanto è il potere separatore massimo.

Esso è stato determinato esplorando con un fascio molto stretto lo spigolo di una lama molto affilata. Per differenziazione della risposta si è constatato che il potere separatore strumentale è dell'ordine del micron.

cioè proprio paragonabile a quello teorico; e ciò pur avendo elongazioni di una decina di centimetri. Possiamo dunque tranquillamente dire che

$$(8) \quad E(x) = \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{+\frac{\lambda}{2}} I(x + \varphi) d\varphi$$

ove $I(x)$ è la luce filtrata dalla lastra nel tratto rettilineo di misura x , e λ la larghezza della fenditura esplorante proiettata sulla lastra.

(¹) A. KRANJC, « Un impianto per la spettrofotometria all'Osservatorio di Merate ». Mem. Soc. Astr. Ital., vol. XXVII - 3, 1956.

