

# Coincidence spectrometer の一方式

林 竹男・河村光博・青木 敦

New circuits for coincidence spectrometer

TAKEO HAYASHI, MITSUHIRO KAWAMURA and ATSUSHI AOKI

## I 緒 言

coincidence spectrometry 或いは放射線のエネルギーを選別した angular correlation の測定には、普通 *fast-slow* 型の coincidence spectrometer が用いられる。これは、pulse height analyzer (P. H. A と略す)を通すと pulse が相当遅れ、そのおくれが選別される pulse の大きさ及び形により異なるため、最初同時に放射された放射線による pulse が、coincidence circuit のinput に到達する迄に互にずれてしまい、coincidence の分解能を上げると、計数の能率が著しく悪化するのを避けるためである<sup>2)</sup>。*fast-slow* 型は、各 channel に入る入力を夫々二分して、fast circuit で分解能の非常に良い coincidence を行わせ、slow circuit に挿入された P. H. A で波高を選別した後、両者を slow circuit で結合させる巧妙な方法であるが、accidental coincidence を始終、直接に測定することが困難で、例えば、各 channel に独立に random pulse を入れて acciden-

tal coincidence から分解能を求め、本測定中はその分解能が不変であると看做して計算によって accidental coincidence を推定しなければならない。特殊な photomultiplier や distributed amplifier を用いて fast circuit の分解能を非常に良くした場合には、これは余り問題ではないが通例の linear amplifier を用いる medium fast の circuit で、accidental coincidence が相当入る場合には、この accidental coincidence count が手軽に測定出来ることが望ましい。以上の観点から、次に述べる様な型式を考えて見た。この coincidence spectrometer を製作中、我々と同じ考えのものが G. S. Stanford 及び G. E. Pieper により発表されている事を知り<sup>3)</sup>種々の点で便宜を得た。彼等はこの型式を *slow-fast* 型と呼んでいる。

## II 回路の原理

回路の block diagram を Fig. 1 に示す。linear amplifier (L. A. と略す)を通った pulse は delay

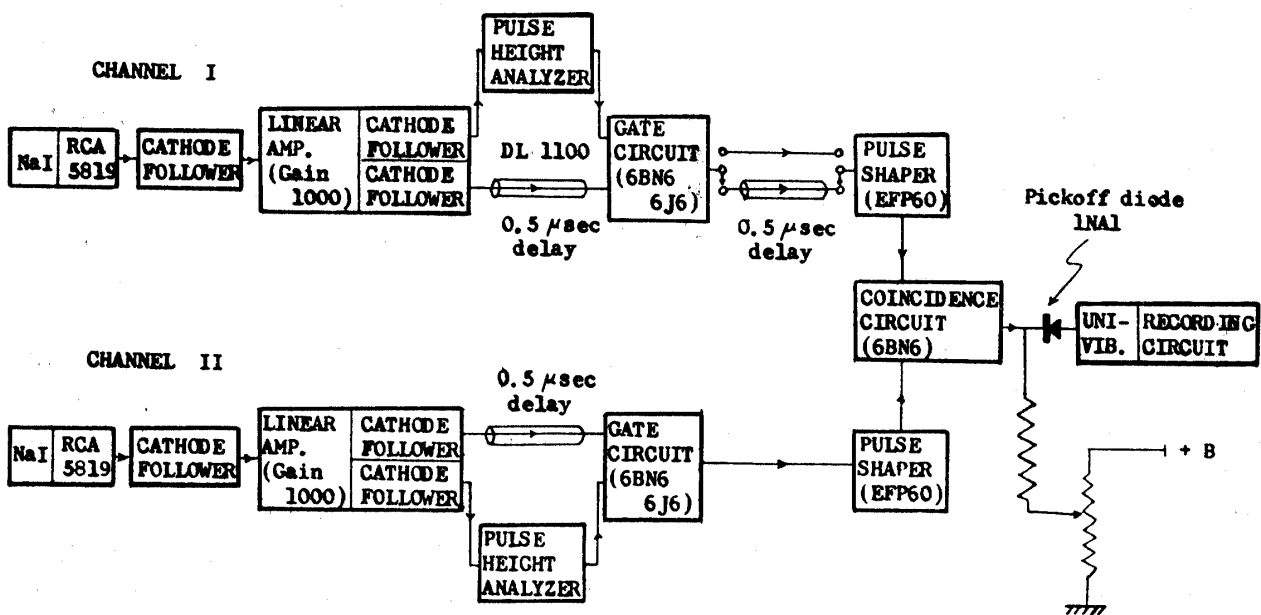


Fig 1 Block diagram

line を経て, pulse shaper で細い矩形波となり coincidence circuit に入る。この main channel は pulse の leading edge の出来る丈始めの部分で動作する様に注意して, pulse の形の違いによるずれを出来る丈小さくする。gate circuit は P. H. A から signal が来た場合に動作し, 望ましい pulse だけを L. A. から pulse shaper へ通過させる。L. A. と gate circuit の間に挿入された delay line は P. H. A. における pulse のおくれを補償するためのものである。pulse の rise time を定める高周波成分に対する減衰を小さくするため, この delay line は出来るだけ短くする必要があり, 従って, おくれの少ない P. H. A. を用いなければならない。

accidental coincidence は, gate circuit と pulse shaper の間に delay line を挿入し, 一方の channel を人為的に約  $0.5 \mu \text{ sec}$  ずらして求める。

### III 回路の構成

scintillation counter は RCA 5819 と  $1'' \times 1\frac{1}{2}'' \phi$  の

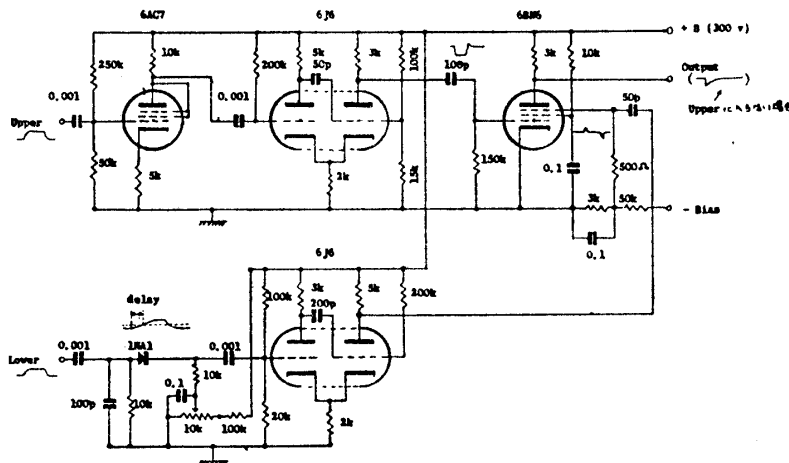


Fig. 2 Anticoincidence circuit

NaI (Tl) より成る。preamp. は 6AK5 を用いた cathode follower で, grid leak は割合に小さく  $1 \text{ k}\Omega$  である。linear amp. は Model 500<sup>4)</sup> を, negative feed back を変えて gain  $\sim 10^3$ , rise time  $\sim 0.08 \mu \text{ sec}$  で用いる。P. H. A. の expander と Schmidt trigger の部分は Higinbotham と Chase<sup>5)</sup> のものを用いた。anticoincidence circuit は, 彼等のものは pulse のおくれが大きく, output pulse の波形も亦立上りがおそいので, Fig. 2 の様な回路に改造した。この場合, anticoincidence の動作を確実にするためには, 少なくとも lower level の Schmidt trigger circuit の output pulse を, expander の output pulse の立上りが lower 及び upper level の Schmidt circuit を trigger する

時間の差だけおくらさねばならない。この目的のために, Schmidt trigger の output pulse を integration circuit に入れ, pulse の立上りをねかせ, crystal diode の bias で pulse の始まりの時間を  $0-0.3 \mu \text{ sec}$  に互りずらす方式を採用した。この部分は出来れば variable delay line を使用した方が良いであろう。anticoincidence の動作は, pulse generator からの test pulse を用いて調整する外に, 実際の  $\gamma$  線の pulse について, pulse height analysis を行い, upper level と lower level の計数の差が, 丁度 output の計数になるかどうかを確かめ, 更に Higinbotham-Chase<sup>5)</sup> の方式によるものと spectrum が一致するかをしらべて, 完全に働いていることを確認した。

L. A. と gate circuit の間に挿入する delay line は, 既に述べた様に, 出来る丈短かい方が良いが, P.H.A. の output pulse で gate が開いた後に main pulse が gate circuit に到着することが必要で, しかも expander の threshold 電圧の選び方により, pulse の立上りを切り取る位置が変わるために, P. H. A. における pulse

のおくれの時間が変動する事を考慮して delay line の長さを決定しなければならない。そこで, 予想される最大のおくれを想定し, 各部分の rise time の計算及び pulse generator の pulse による実測から得た値,  $0.3 \sim 0.4 \mu \text{ sec}$  に, 更に  $0.1 \mu \text{ sec}$  の余裕を持たせて, おくれが  $0.5 \mu \text{ sec}$  になる様に delay line の長さをきめた。なほ, 余り長くすると後に触れる様に, この部分での chance coincidence も多くなるので不利である。

gate circuit, pulse shaper, coincidence circuit は Fig. 3 に示す。P. H. A. からの pulse は 6J6 の gate generator (巾  $0.6 \mu \text{ sec}$  の矩形波) を通じて gate を開く。gate には 6BN6 を用い, pulse の leading edge の先きで働く様に, bias を出来るだけ浅くする。この output pulse を更に 6J6 で増巾して立上りを速くし, CR clipping で  $0.5 \mu \text{ sec}$  の巾の矩形波に近い形の pulse にして, EFP 60 の pulse shaper に入れる。この EFP 60 の回路は univibrator を構成し, 固有の pulse 巾は約  $0.5 \mu \text{ sec}$  であるが, plate 側に挿入された shorted delay line により clip して, output pulse を巾  $0.1 \mu \text{ sec}$  の立上りの速い矩形波として dynode から取出し, 6BN6 の coincidence circuit へ入れる。更にその output pulse の amplitude

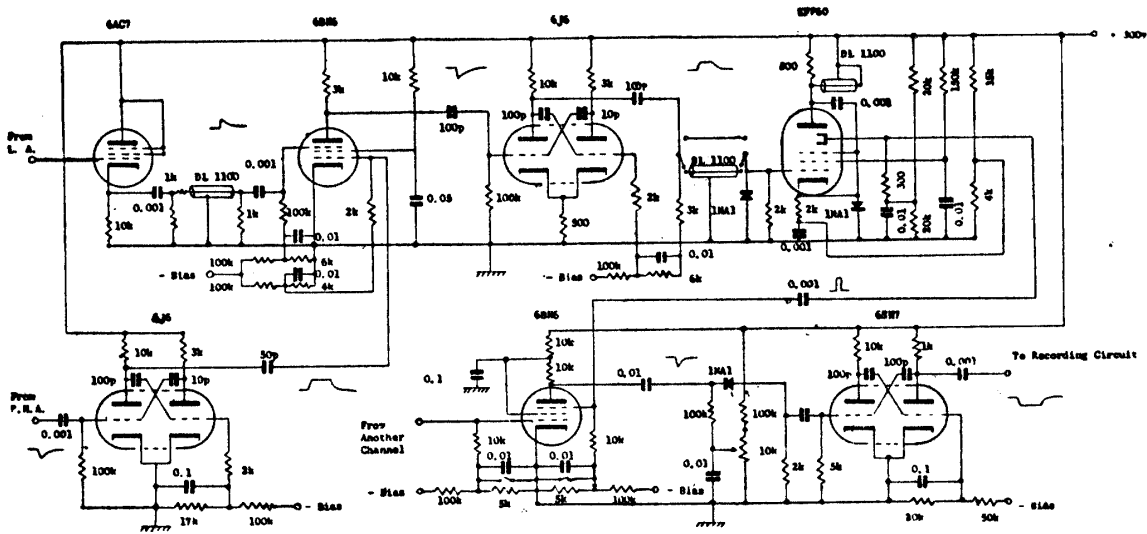


Fig. 3 Gate circuit, pulse shaper and coincidence circuit

selection を crystal diode と、後続する univibrator で行い、重なる不完全な accidental coincidence を除去して、分解能を良くする。

accidental coincidence 測定用の delay line は pulse shaper の output pulse の巾が  $0.1\mu$  sec であるから、 $0.5\mu$  sec 相当の長さで充分である。delay line の挿入による pulse の attenuation のために、この channel を通って coincidence circuit の input へ入る pulse の数が減少し、accidental coincidence の計数が見掛上少なくなる様な誤ちを避けるために、delay line を挿入する前後で、この channel の single count が変らない事を確認した。

coincidence circuit は、その 6BN6 の二つの grid のいずれかの bias を切替える事により、片方の channel からの input pulse で output pulse を出し得る様になっている。従って、この装置の各 channel は全体として、夫々別々に pulse height analyzer としての性能をもっている。

IV 性能

前節の最後に述べた様に、一方の channel を全体として、single channel P. H. A. として用い、 $Zn^{65}$  の 1125 keV の  $\gamma$  線につき spectrum を測定し、Fig.4 の様な結果を得た。

coincidence の分解能については、 $Ba^{134}$  の  $\gamma$  線を channel I に  $742 \times 128$  count/min, channel II に  $894 \times 128$  count/min の割合で通し、coincidence circuit の pick off diode の bias をきめる可変抵抗器の目盛を変えた場合、Table 1 に示す様な accidental coincidence count を得た。測定の後期には、目盛 5 で  $2\tau = 8 \times$

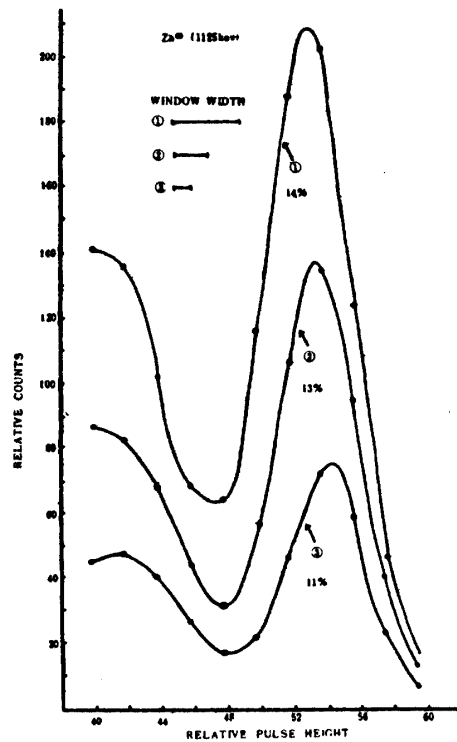


Fig. 4 Single gamma-ray spectrum

Table 1

目盛	count/min	$2\tau$
1	12.0	$6.6 \times 10^{-8}$ sec
2	12.0	$6.6 \times$ //
3	10.0	$5.5 \times$ //
4	8.7	$4.8 \times$ //
5	7.7	$4.2 \times$ //

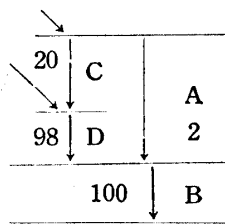
10<sup>-8</sup>sec 迄悪化した。これは EFP 60 の特性の劣化のため coincidence pulse の巾が広がったため、良品と交換することにより最初の分解能に復した。

弱い activity に就いて、測定を連続的に長時間にわたって行う場合に最も重要な事は、装置の安定性である。特に angular correlation の測定では、各角度での測定値の比が 1% 以内の精度で要求される場合が多いから、energy を選別して angular correlation を行う場合、殊に P. H. A. の window を spectrum の傾斜の急な部分に set して測定する場合、pulse height の drift は致命的となる。我々の回路の場合、Zn<sup>65</sup> の 1125 keV の  $\gamma$  線の photopeak の位置 (約 55 volt) は 1 日 6 時間程度の連続使用中、約 2~3%、おおむね低い方にずれるが、不規則な場合もあり、この不安定さは日はよって異なる。これは、高圧電源その他一切をふくめて起っているのであるが、原因は未だに良くわからない。この内、heater 電圧の変化に伴う peak の変動について調べた結果は最後の章で述べる。

V False coincidence

この型の coincidence spectrometer では、true coincidence count は、両 channel の circuit をおくれなしに調節した状態で測った計数から片方の channel を 0.5 $\mu$  sec おくらせた状態で測った計数を差引く事によって得られている。従ってこの操作で true coincidence count に false coincidence count が混入するおそれはないか、あるとすればどの程度期待されるかを考察する事が必要である。簡単のため、Fig. 5 の様な

Fig. 5 Decay schme. (数字は強度比を表わす)



decay scheme で、強い  $\gamma$  線 B. C. D. の存在のもとで、弱い  $\gamma$  線 A と強い  $\gamma$  線 B との coincidence を求める場合を考える。

この回路に固有の問題は、gate circuit の部分、即ち slow coincidence の部分で起る。今 P. H. A. で選別され、gate generator を通って gate circuit は入って来る pulse を  $\square$  で表わす。この pulse は、0.6 $\mu$  sec 位の巾の矩形波である。L. A. から delay line を経て gate circuit へ入って来る pulse を  $\square$  で表わす。この pulse は、A. B. C. D の凡ての  $\gamma$  線

を含み、大きさや形も一定していない。channel I の P. H. A. は、 $\gamma$  線 A の中、定められた大きさの pulse の時のみ signal を gate に送り、channel II の P. H. A. は  $\gamma$  線 B の定められた大きさの pulse の時のみ signal を gate に送る。但し、A の Compton pulse のうちで B に計数されるもの影響は考えないことにする。この場合、channel I 及び II の gate circuit では、gate を開く signal と main pulse とが Fig. 6 の

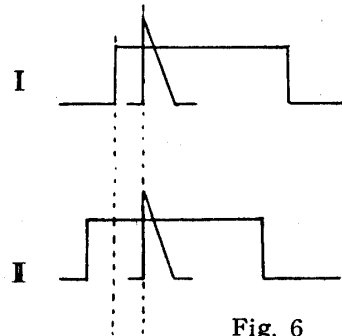


Fig. 6

様に coincidence する。この時、main pulse は delay に余裕を持たせてあるため、gate pulse より少しおくれる。又 gate pulse の leading edge は、P. H. A. を通って来ているから時間的にずれているが、main pulse は一致しており、この一致はそのまま保たれて、後段で fast coincidence する。しかし、channel I に現われて来る main pulse は A だけではなく、この核が放射する凡ての  $\gamma$  線に対するものを含んでいるから、今の例の様に、 $\gamma$  線 A に較べて他の  $\gamma$  線の強度が非常に強い場合には、Fig. 7 の様に gate が開いている間に、pulse A の

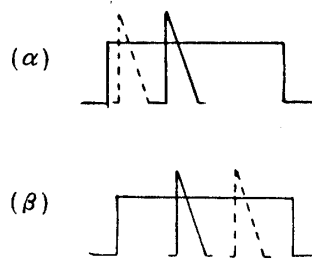


Fig. 7

前後に (alpha), (beta) の様な accidental coincidence が起り得る。この内、(beta) は、これに続く回路の dead time 内に入るから計数に関係しないが、(alpha) は false coincidence となり得る。

次に channel I 及び II に同様に (alpha) の型の chance coincidence が起こる場合を考え、その起り方の種々の場合の代表的なものを挙示し、更にそれぞれの場合につき、一方の channel を 0.5 $\mu$ sec delay させた時に計数が変化する模様を Table 2 に示す。両方の channel を互におくれない様に調整した状態での計数  $N_{total}$  は Table 2 の(1),(2)の和であるから、

$$N_{total} = N_{1a} + N_{1b} + N_{1c} + N_{1d} + N_{2a} + N_{2b} + N_{2c} + N_{2d} + N_{2e}$$


一方の channel を 0.5 $\mu$  sec おくらせた状態での計数は、

$$N_{acc} = N_{2a} + N_{2c} + N_{2d}$$

それ故、我々が true と看做した計数は

$$N_{true} = N_{total} - N_{acc} = (N_{1a} + N_{1b} + N_{1c} + N_{1d}) + N_{2b} + N_{2e}$$

Table 2

		おこり方	説明及び coincidence の計数	one channel を 0.5 $\mu$ sec delay させた時の計数
(1) 選ばれた pulse A, B が true coincidence している場合	a	channel I  channel II 	この場合の数を単位時間に $N_{1a}$ とする。	0
	b	" I  " II 	A, B の夫々の前に coincidence する pulse (例えば $r_c$ と $r_D$ ) が入る。この数を $N_{1b}$ とする。	0
	c	" I  " II 	A, B の夫々の前に fast coin. の分解能の範囲に入る accidental pulse が入る。この数を $N_{1c}$ とする。	0
	d	" I  " II 	A 又は B の一方の前に、他方と accidental coin. し得る pulse が入る。この数を $N_{1d}$ とする。	0
(2) 選ばれた pulse A, B が accidental coincidence する場合	a	" I  " II 	この場合の数を $N_{2a}$ とする。	$N_{2a}$
	b	" I  " II 	A, B の夫々の前に互に coincidence する pulse (例 $r_c$ と $r_D$ ) が入る。この場合の数を $N_{2b}$ とする。	0
	c	" I  " II 	A, B の夫々の前に互に accidental coin. する pulse が入る。この場合の数を $N_{2c}$ とする。	$N_{2c}$
	d	" I  " II 	A, B の一方の前に他方と accidental coin. する pulse が入る。この場合の数を $N_{2d}$ とする。	$N_{2d}$
	e	" I  " II 	A 又は B の一方の前に他方と coincidence する pulse (例 $r_c$ と $r_D$ ) が入る。この場合の数を $N_{2e}$ とする。	0

即ち  $N_{2b}$ ,  $N_{2e}$  の false coincidence を含んでいる。ところで、 $N_{2e}$  については計算で

$$\frac{N_{2e}}{(N_{1a} + N_{1b} + N_{1c} + N_{1d})} = \tau' N_{nsI}$$

となる。ここに  $\tau'$  は slow coincidence の分解能より小さな数、 $N_{nsI}$  は Fig. 6 の様な場合 B と coincidence する全  $r$  線 (A, C, D) の単位時間の計数から、P. H. A. が通す A の計数を差引いた数を表わす。 $N_{nsI}$  として我々が  $Ba^{134}$  の測定の際に計数した程度の数、 $N_{nsI} = 10^6 \text{count/min}$  を用い、 $\tau' = 0.5 \mu\text{sec}$  とすれば

$$\frac{N_{2e}}{N_{true}} \approx \frac{N_{2e}}{N_{1a} + N_{1b} + N_{1c} + N_{1d}} = \frac{1}{120} \sim \frac{1}{100}$$

となる。 $N_{2b}$  も簡単な計算の結果、更に order の小さなもので無視して良いことがわかる。

以上の考察から、我々の装置で、先に述べた様な操作で得た結果は大きな誤差は含まぬものと推定し得る。

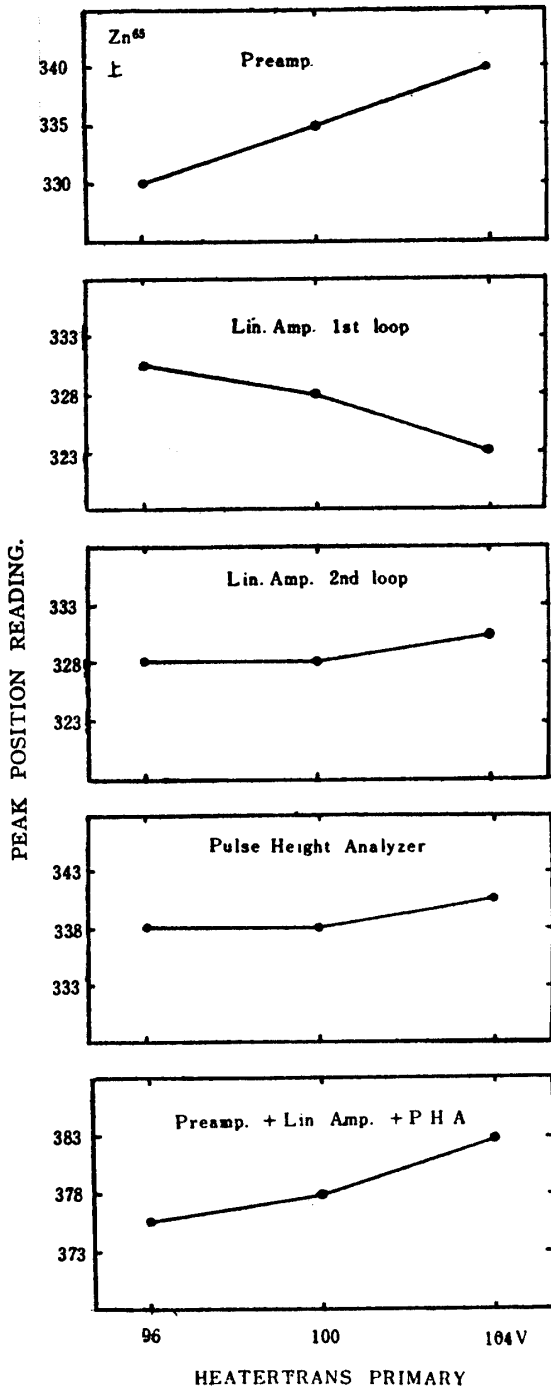
## VI 雑 論

delay line に cut off frequency の低い General Electric Co. の DL 1100 の様なものを用いる限り、wide band amplifier を用いる事は無意味である。Styrofoam<sup>6)</sup> の様なものを用い得る時には、amp. の band width を広げる事は望ましい。又 DL 1100 の後に、数倍程度の amp. を入れた方が良くであろう。

装置は4ヶ月以上に亘る連続使用の間、殆ど故障しなかった。只、6J6を用いた univibrator の部分は、球の特性が落着くまで時々発振する事がある。

既に述べた様に、P. H. A. の photopeak の位置は長時間に亘る測定中2~3%変動する。そこで、heater 電圧の変化が peak の変動に及ぼす影響をみるために、各 block 毎に heater 電圧を変化させ、他はそのまゝの状態、 $Zn^{65}$  の 1125 keV の photopeak の変動を測定した。結果を Fig. 8 に示す。全体として heater 電圧が1%変化した場合、pulse height は約 0.25% 変化するに過ぎず、前述の変動を説明するには不十分である。全体として、今一步の安定性が望ましい。

Fig. 8



電圧は, heater 電圧を含め, 凡て安定化電源を用いた。又 recording circuit を除き, 全装置の +B の電流は約 800 m A である。

文 献

- 1) A. B., Bell, Van Rennes, *Nucleonics* 10, No.8, 22 (1952)
- 2) R. E., Bell, *Beta-and Gamma-Ray Spectroscopy*, edited by Kai Siegbahn. (*North Holland Publishing Co. Amsterdam*) 502 (1955)
- 3) G. S. Stanford and G. E. Pieper, *Rev. Sci. Instr.* 26, 847 (1955)
- 4) W. C. Elmore and M. Sands, *Electronics*, (McGraw-Hill Book Co., Inc.) 197 (1949)
- 5) A. B. Van Rennes, *ibid* 25
- 6) Q. A. Kerns, *Nucleonics* 14, No. 4, 55 (1956)

(1957年6月29日受理).