

光电倍增管时间分辨特性的探讨*

王 紹 民

(杭州大学物理系)

提 要

对光电倍增管所产生的时间分辨限制进行了测量;测量准确度是 $\pm 2 \sim 5 \times 10^{-9}$ 秒。在发光时间为 $5 \sim 8 \times 10^{-8}$ 秒的氩灯帮助下,用示波方法对几种光电倍增管的光电子飞行时间进行了测定;研究了 RCA-5819 外电路对分辨时间的影响,从而确定较佳工作状态,使其适用于火花光谱激发过程作瞬时观测之用。

一、引 言

瞬时辐射能的测量,在近代物理中有非常广泛的应用。例如,实验核物理中的闪烁方法^[1,2];化学反应的研究和爆炸过程的观测;如果用于光谱的瞬时观测,也可以进而探讨光源等离子体各参量随时间变化^[3]或用于光谱分析实践中^[4,5]。

提高瞬时辐射能的测量精确度,在于对光电转换器性质的探讨。光电倍增管具有其他任何光电元件所不能及的高灵敏度。但是,由于有了二次发射极(dynode)的电子倍增系统,在光信号转换成电信号的过程中产生畸变。畸变有两方面:(1)由于光电子¹⁾在倍增系统中的飞行时间而使信号延迟;(2)脉冲信号在时间上的分散。Gatti 等已经在理论上证明这两个因素仍然存在一定的联系^[6]。由于这些因素,一般光电倍增管的分辨时间²⁾只能在 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 秒左右。为了进行瞬时过程的观测,已经研制了若干特殊型号的光电倍增管^[7],改善了光阴极和二次发射极的结构和形状,使光电倍增管分辨时间提高。如果在使用中再加一些措施,则分辨时间还可再进一步提高,例如,控制光电倍增管外加高压^[8];改善光电倍增管外部电路^[9];控制光电流和控制光阴极上光照面的大小^[10]都在不同程度上可以改善光电倍增管的时间分辨特性。

根据这些工作的经验,我们借助于发光时间为 $5 \sim 8 \times 10^{-8}$ 秒的氩灯,用示波的方法,对若干个光电倍增管分辨时间进行了测定,并研究了 RCA-5819 外电路对分辨时间的影响,从而确定较佳工作状态,使其适用于作光谱激发过程瞬时观测之用^[1]。

二、实验装置

为了对光电倍增管分辨时间进行测定,必须有一个快速脉冲光源和一套测量设备,装置如图 1。

* 1962年7月1日收到。

1) 严格说来,只有光阴极发射的是光电子,在倍增系统中的电子是次级发射电子;现在姑且统称之光电子。

2) 分辨时间是可区分的两个信号最小时间间隔,它直接与时间分散有关。

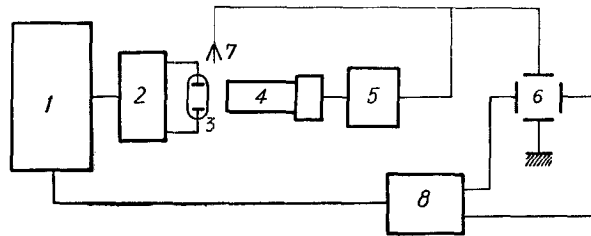


图1 光电倍增管分辨时间测定装置图

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1, XC-8 型控制脉冲发生器; | 5, 延迟綫; |
| 2, 快速脉冲光源; | 6, 5ABP1 型示波管; |
| 3, 氩放电管; | 7, 直接接收脉冲光源訊号的天綫; |
| 4, 待测定的光电倍增管; | 8, 触发扫描。 |

下面分別敘述:

(i) 快速脉冲光源

供光电倍增管分辨时间测定的快速脉冲光源有下列要求: (1) 发光时间短(10^{-8} 秒左右); (2) 有足够的瞬时光强; (3) 简单、稳定性好。

快速脉冲光源种类繁多: 机械快门^[11]; 旋轉鏡^[12]; 克尔盒^[13]; 示波管亮度调制^[14]; 火花放电^[8]; 氖灯脉冲放电^[15,16]以及控制电流法(Метод управляемого электронного потока)^[8]等都有一定缺点, 光脉冲持续时间不可能非常短。而目前, 利用氖灯和高压脉冲放电已产生不少毫微秒光源^[17,18,19]。

我們采用了类似于 Malmberg 的簡單装置^[17], 对不同类型的放电管进行了测试, 见图 2。最后, 采用了充有 200mmHg 光谱純氖放电管。

经过测试, 光脉冲上升时间 $2 \sim 3 \times 10^{-8}$ 秒, 持续时间 $5 \sim 8 \times 10^{-8}$ 秒; 瞬时光通量达 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 流明; 并有較好稳定性。

(ii) 时间测定系統

时间测定系統尽量少用或不用电子学元件以减少訊号畸变。在迴路中沒有放大器。光电倍增管与示波管偏板之間除了引入一段延迟綫外, 其他都用脉冲电綫連接。延迟綫为便利于在示波屏上观测波形而引入, 分布参数的延迟綫延迟时间是 1×10^{-7} 秒, 上升时间是 5×10^{-9} 秒。示波管是用 5ABP1 型, 其响应可达 500 MC, 同时使用 1035 型同期示波器的触发扫描, 扫描速度为 $0.05 \mu\text{s}/\text{cm}$ 。整套仪器测量时间的准确度是 $2 \sim 5 \times 10^{-9}$ 秒。

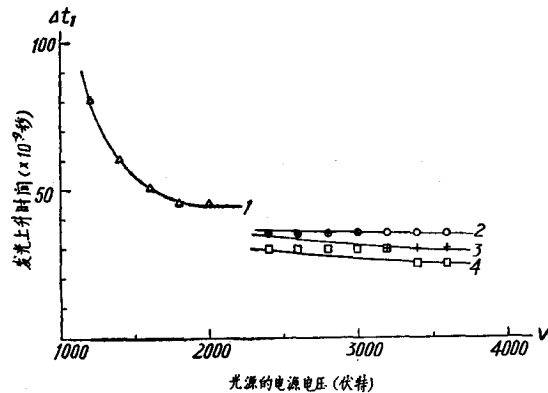


图2 快速脉冲光源所加电压与发光上升时间关系图

- 其中: 1, MTX-90 氖放电管
 2, 充氖 51mmHg 的放电管
 3, 充氖 80mmHg 的放电管
 4, 充氖 200mmHg 的放电管

三、实验结果

(i) 光电倍增管分辨时间的测定

利用如图 1 所示的装置,在示波图(图 3)上我们看到同时映示了由天线直接所接收的脉冲光源信号(振荡波形)¹⁾和光电倍增管输出信号(负脉冲),我们姑且称它们为第一信号和第二信号。如果忽略电磁波在导线中传导的时间(约 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 秒),则光电子在倍增管中飞行的时间为

$$\tau = t - t_0,$$

其中 t 是在示波图上第一信号和第二信号间隔时间, t_0 是延迟线的延迟时间(1×10^{-7} 秒)。

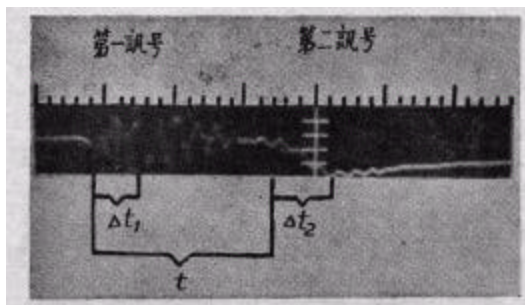


图 3 测定光电倍增管光电子飞行时间和时间分散的示波图
扫描速度 $0.05 \mu\text{s}/\text{cm}$ ³⁾

而光电子的时间分散²⁾为

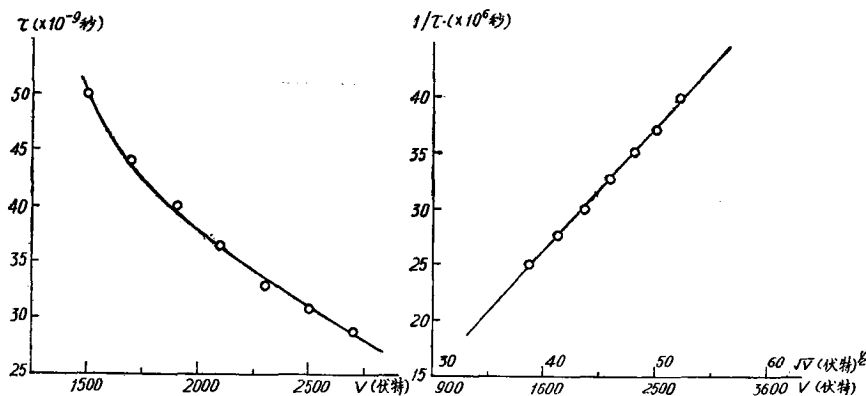
$$\Delta\tau^2 = \Delta t_2^2 - \Delta t_1^2 - \Delta t_0^2,$$

其中 Δt_1 是第一信号的上升时间, Δt_2 是第二信号的上升时间, Δt_0 是延迟线所引入的上升时间(5×10^{-9} 秒)。

我们对各类型光电倍增管在通常应用条件下进行了测定,在 EMI-6256B、ΦЭV-18、RCA-931A 和 RCA-5819 诸类型光电倍增管中,以 RCA-5819 的光电子飞行时间和时间分散为最小。

(ii) 外电路对 RCA-5819 型光电倍增管分辨时间的影响

(1) 首先观察了外加电压 V 与光电子飞行时间 τ 的关系,见图 4。



4-1: $V \sim \tau$ 关系图

4-2: $\sqrt{V} \sim \tau^{-1}$ 关系图

图 4 外加电压与 RCA-5819 光电倍增管光电子飞行时间关系图

- 1) 由分布电感所引起的失配振荡。
- 2) 在光电倍增管中,由阶跃光脉冲所产生电脉冲的上升时间,定义为时间分散的定量表示。按此定义,则分辨时间还与脉冲后延有关。
- 3) 示波图中横座标每大格(共 5 小格)相当于示波屏上 1cm。

結果表明可以定量地由下面經驗公式表达:

$$\tau^{-1} = a \sqrt{V} + b,$$

其中 a 和 b 是常数, RCA-5819 型光电倍增管 $a = 1.10 \times 10^{-6} \text{ 秒}^{-1} \text{ 伏}^{-\frac{1}{2}}$, $b = -23.0 \times 10^{-6} \text{ 秒}^{-1}$. 我們这一結果与 Горбачев^[8] 等获得的結果相似; 比較結果可得結論: 光电子飞行時間与外加高压有关, 依賴程度由二次发射极形状决定 (見表 1), 在二次发射极为圓环聚焦式的倍增管 (例如 RCA-5819) 中, 用提高电压的方法減少光电子飞行時間最为有效.

表 1

光电倍增管型号	二次发射极形状	$a (\times 10^{-6} \text{ 秒}^{-1} \text{ 伏}^{-1/2})$	$b (\times 10^{-6} \text{ 秒}^{-1})$	备 注
ФЭУ-12	百頁窗非聚焦式	0.47	- 5.0	Горбачев 等的工作
ФЭУ-19M	直綫聚焦式	0.68	- 9.5	
ФЭУ-33	直綫聚焦式	0.68	- 9.5	
ФЭУ-1B	圓环聚焦式	1.25	-26.6	
RCA-5819	圓环聚焦式	1.10	-23.0	我們的工作

电压对光电子的时间分散的影响并不显著.

(2) 光电倍增管負載电阻在很大程度上影响了脉冲的畸变. 它使脉冲过程延长, 延長時間 $T = RC$, 其中 R 是負載电阻, C 是自光电倍增管到示波管之間接綫的分布电容. 例如, $C = 10 \text{ Pf}$, 若 T 要小于 10^{-8} 秒, 則 R 应小于 $1 \text{ K}\Omega$. 結論是: 負載电阻选择原則是在保証輸出脉冲电压足够大的条件下, 愈小愈好.

(3) 对于 RCA-5819 的其他外部电路对分辨時間的影响, 我們也进行了观察. 例如, 关于二次发射极旁路电容問題 (見图 5), 我們的結論是: 通常所用的在二次发射极間連接电容固然能改善綫性并增大輸出幅度 (图 5 中第二波形幅度增大), 但時間分散变差 (訊号过于延长)、振幅分辨率也变差 (綫变粗). 而在二次发射极与地之間連接电容的情况結果好得多 (图 5 第三波



图 5 RCA-5819 旁路电容效应
第一波形——不接电容訊号波形;
第二波形——在第八与第九二次发射极之間接 $0.1 \mu\text{f}$ 电容;
第三波形——在第八发射极与地之間接 $0.1 \mu\text{f}$ 电容.
扫描速度: $0.05 \mu\text{s}/\text{cm}$.

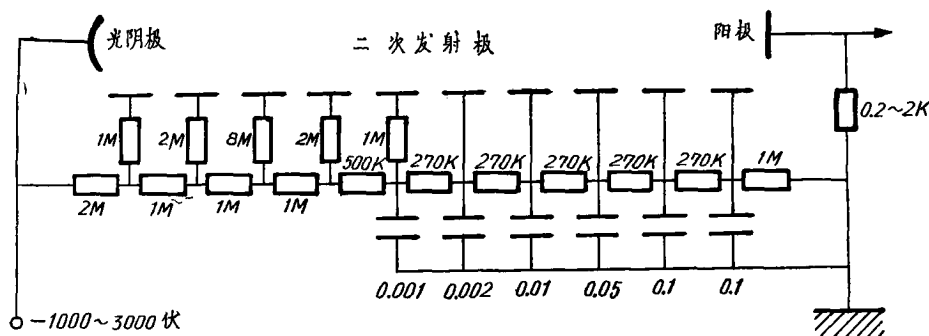


图 6 光电倍增管 RCA-5819 应用于瞬态观测时較佳的外部电路.
其中: 电阻单位是 Ω (欧姆); 电容单位是 μf (微法).

形)。

最后,我們确定了 RCA-5819 較佳的外部电路如图 6 所示。光电子飞行时间是 2×10^{-8} 秒,光电子的时间分散是 1×10^{-8} 秒。经过这样选择和调制的光电倍增管,完全适用于火花光谱激发过程作瞬时观测之用^[5]。

本工作在周同庆教授和朱昂如先生指导下,1961 年在复旦大学作为毕业論文的一部分而完成,在成文过程中,曾与杭州大学张裕培先生进行过商榷,在此一并銘志謝忱。

参 考 文 献

- [1] Birks, J. B., *Scintillation Counters*. (1954).
- [2] Вяземский, В. О. и др., *Сцинтилляционный метод в радиометрии*. (1961).
- [3] Ермаков, В. А., Мак, А. А., *П.Т.Э.*, № 3 (1959), 94.
- [4] Dicke, G. H. et al., *Spectrochim. Acta*, **5** (1952—53), 436.
- [5] 王紹民, *物理学报*, **18** (1962), 597.
- [6] Gatti, E. et al., *Nucl. Instr. & Meth.*, **4** (1959), 189.
- [7] Linden, B. R. et al., *I. R. E. Trans. Nucl. Sci.*, NS-7 (1960), 61.
- [8] Горбачев, В. М. и др., *П.Т.Э.*, № 1 (1960), 69.
- [9] Flagge, B., Harris, O. R., *Rev. Sci. Instr.*, **26** (1955), 619.
- [10] Cernigoi, C. et al., *Nucl. Instr. & Meth.*, **9** (1960), 303.
- [11] Рывкин, С. М., *Изв. АН СССР. сер. Физ.*, **15** (1951), 721.
- [12] Cladis, J. B. et al., *Rev. Sci. Instr.*, **27** (1956), 83.
- [13] Zarem, A. M. et al., *Electronic Eng.*, **68** (1949), 282.
- [14] Барсуков, Ю. К., Регель, А. Р., *Ж. Техн. Физ.*, **24** (1954), 1729.
- [15] Макаров, Ю. В., Мелешин, Н. М., *П.Т.Э.*, № 2 (1960), 154.
- [16] 唐孝威, *物理学报*, **17** (1961), 54.
- [17] Malmberg, J. N., *Rev. Sci. Instr.*, **28** (1957), 1027.
- [18] Kerns, Q. A., G. C. Cox., *Nucl. Instr. & Meth.*, **12** (1961), 32.
- [19] Caplan, H. S., Stewart, D. T., *J. Sci. Instr.*, **38** (1961), 133.

THE INVESTIGATION OF THE TIME RESOLUTION CHARACTERISTICS OF A PHOTOMULTIPLIER

WANG SHOU-MIN

(Department of Physics, Hangchow University)

ABSTRACT

A measurement for the time resolution limit produced by a photomultiplier, with the accuracy of $\pm 2 \sim 5 \times 10^{-9}$ Sec., has been made. With the aid of a hydrogen lamp, illuminating at $5 \sim 8 \times 10^{-8}$ Sec., the flight time of photoelectrons of several kinds of photomultiplier has been determined by employing the oscilloscopic method; an investigation as to the effect of the outer circuit of RCA-5819 for resolution time has been made and the better working state suitable for instant observation for the spectrum excitation process has also been determined.