

核物理电子学方法

賴祖武等 編著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书較系統地介紹了核輻射測量和核物理實驗中的主要電子技術。全書共分十章,其中包括核輻射探測器、脈沖綫性放大器、直流放大器、各種計數電路、脈沖振幅分析器、符合電路、示波系統以及穩定電源等。在論述中注重電路的基本原理的分析和各種實驗對電路的要求,並且在各部分還介紹了一些實際電路。

本書可以作為綜合大學及工科學校的有关專業的教學用書,也可供從事原子能事業的電子學工作者及廣大的科學研究工作、工程技術人員及一般電子學工作者參考。

核物理電子學方法

賴祖武等 編著

上海科學技術出版社出版

(上海瑞金二路450號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

新華書店上海發行所發行 各地新華書店經售

商務印書館上海廠印刷

開本 787×1092 1/18 印張 35 4/18 插頁 7 字數 739,000

1961年10月第1版 1961年10月第1次印刷

印數 1—14,500

統一書號: 13119·423

定 價: (十) 3.40 元

目 录

序

第一章 核辐射探测器	1
第一节 引言	1
第二节 脉冲电离室	2
一、电离室的基本工作原理	2
二、电离室用于测量 α 、 β 、 γ 射线时的基本知识	7
三、电离室结构的一般考虑	10
四、充气的考虑	11
五、电极颤动的影响	11
六、电离室的本底计数	12
第三节 积分(或累计)电离室	12
第四节 正比计数器	13
第五节 盖革-弥勒计数管	20
一、盖革-弥勒计数管的工作原理	20
二、自淬灭盖革-弥勒计数管的几个重要特性及指标	24
三、盖革-弥勒计数管的构造	28
四、卤素计数管	30
五、几种苏联出品的计数管	32
第六节 闪烁计数器	35
一、引言	35
二、光电倍增管的原理及基本特性	36
三、光电倍增管的结构	40
四、光电倍增管的级间电压以及对电源的要求	43
五、磷光体的种类	50
第七节 中子探测器	56
第二章 电压放大器基础	59
第一节 单管电压放大器	59
一、单管电压放大器的完整等效电路	60
二、放大器的稳态特性——频率和相位特性方程式	62

三、放大級的優良度	66
四、放大器工作点及參量的選擇	68
五、五极管放大器的設計	71
六、多級电压放大器	74
第 二 节 电压放大器指标的穩定性	77
一、放大倍数的穩定性	78
二、頻率特性的穩定性	80
三、相位特性的穩定性	81
第 三 节 放大器的交流声	82
一、交流声的来源	82
二、减弱交流声的方法	83
第 四 节 放大器的噪声	85
一、电阻的热噪声	86
二、散粒噪声	88
三、栅流噪声	90
四、閃爍噪声	92
五、各种噪声电压的比較	92
六、訊号噪声比及噪声数字	94
第 五 节 放大器的反饋	96
一、反饋的分类	96
二、反饋对放大器的輸入、輸出阻抗的影响	97
三、反饋对放大倍数及其穩定性的影响	99
四、反饋对幅度特性曲綫的綫性影响	100
五、反饋对頻率及相位特性曲綫的影响	100
第 六 节 几种基本的放大单元电路	105
一、阴极負反饋放大器	105
二、阴极輸出器	108
三、怀特阴极輸出器	116
四、板极跟随器	120
五、串接放大器	123
六、双电子管阴极耦合放大器——分差放大器及倒相器	130
七、兩級和三級負反饋放大器	136
八、双 T 型 RC 选頻放大器	138
第三章 脉冲放大器	143

第一节 引言	143
一、核物理实验中的脉冲技术问题	143
二、脉冲基本指标	143
三、脉冲的频谱和对放大器的要求	144
第二节 分析放大器瞬态过程的数学基础	147
一、运算法	147
二、赛亚美尔积分法	154
第三节 单级阻容耦合放大器的瞬态特性	155
一、理想阶跃电压输入	155
二、指数上升的电压输入	160
第四节 瞬态特性与稳态特性的联系	162
第五节 放大器的附属电路对瞬态特性的影响及单管脉冲放大器的实际设计考虑	164
第六节 多级阻容耦合放大器的瞬态过程	167
一、输出脉冲的前沿	167
二、平坦部分的建立过程	168
三、放大器级数的决定	169
第七节 反馈对放大器瞬态过程的影响	171
第八节 阴极输出器的瞬态过程	172
第九节 两级负反馈放大器的瞬态过程	175
第十节 频率特性及相位特性的补偿方法(布拉乌杰法)及电感补偿放大器	179
第十一节 辐射测量的线性放大器的要求与一般考虑	184
一、放大器的基本单元	188
二、放大器的结构	188
三、微分整形电路	189
四、抗阻塞的考虑	193
第十二节 一些实际的线性放大器线路	194
第十三节 核辐射放大器的信号噪声比及灵敏度的进一步讨论	204
第十四节 分布式放大器	211
第四章 直流放大器	223
第一节 引言	223
第二节 简单的直流电压放大器	224
一、具有负压电源的直流放大器	224

二、不用負压电源的直接耦合放大器	226
第 三 节 直流电压放大器的漂移現象及阴极补偿方法	228
第 四 节 直流电流放大器——电子管靜电計	234
一、一般原理	234
二、简单电路	240
三、带放大器的电路	244
第 五 节 将直流变为交流的調制方法	249
一、利用斬波器的調制方法	249
二、正弦波电压調制方法	250
三、調制电流源的方法	251
四、动态电容器法	253
第 六 节 零点漂移的自动补偿方法	256
一、具有輔助放大器补偿零点漂移的反饋直流放大器	256
二、将輸出与輸入端电压比較的自动零点調整方法	260
三、借助記憶电容的零点漂移自动补偿方法	261
第 七 节 对数直流放大器	267
第五章 脉冲的产生及变换	272
第 一 节 引言	272
第 二 节 連續振蕩的多諧振蕩器	274
一、基本工作原理	275
二、多諧振蕩器的翻轉速度	279
三、多諧振蕩器的工程設計及波形修整方法	284
四、多諧振蕩器的頻率稳定性及同步的方法	286
第 三 节 单向振動器	288
一、板柵直接耦合单向振動器	290
二、阴极耦合单向振動器	294
第 四 节 幻异电路	307
第 五 节 閘流管脉冲发生器	310
第 六 节 二次电子发射管脉冲发生器	311
第 七 节 阻塞振蕩器	313
第 八 节 仿真綫延迟网络及脉冲形成电路	321
第 九 节 波形的微分及切削	330
一、波形的微分	330
二、波形的切削	331

第六章 計数电路	335
第一节 简单計数电路	335
第二节 定标单元电路——除二电路	338
一、基本工作过程	339
二、电路的設計	340
三、电路的翻轉速度及分辨時間	348
四、触发脉冲的几种耦合方式	353
第三节 2^n 进位定标器的实际电路	355
一、一个完整的 2^n 进位定标器的几个組成部分	355
二、实际定标器电路的介紹	359
第四节 十进位定标电路	362
一、环状連接十进位定标电路	362
二、反饋連接十进位定标电路	364
第五节 計数电路的效率对分辨時間的要求以及分辨時間的測量方法	369
一、关于简单計数电路的計数效率	370
二、关于定标器的計数效率	371
三、定标器分辨時間的測定	376
第六节 特种十进位計数管及其电路	378
一、含气冷阴极十进位計数管	378
二、帶束管	383
三、磁旋管或束开关管	386
第七节 直綫性計数率仪电路	391
第八节 对数計数率仪电路	395
第七章 脉冲幅度甄別器	403
第一节 简单的脉冲幅度甄別电路	403
一、两极管甄別电路	404
二、截止放大器甄別电路	405
三、施密特电路	407
第二节 施密特电路的几种改进方案	411
一、用五极管代替阴极电阻的电路	411
二、輸入端采用晶体两极管箝位的电路	412
三、采用电感补偿的方法来提高翻轉速度	413
四、交流耦合施密特电路	413
五、帶有晶体两极管的施密特电路	414

六、負向触发施密特电路	415
第三 节 快速脉冲幅度甄別电路	416
第四 节 单道脉冲幅度(微分)分析器	418
第五 节 多道脉冲幅度分析器	425
第八章 符合电路	458
第一 节 符合电路的主要参量以及符合技术在核物理实验中的 主要应用	458
一、符合电路的主要参量	458
二、符合技术在核物理实验中的主要应用	464
第二 节 电子管符合电路	476
一、罗西电路及加文改进电路	476
二、共阴极負載符合电路	483
三、多极管符合电路	485
四、分布式符合电路	488
第三 节 晶体两极管符合电路	489
第四 节 門电路	496
第五 节 舛符合	497
第六 节 延迟符合	499
第七 节 具有脉冲幅度甄別器的符合电路	505
第八 节 多道时间分析器	507
第九章 脉冲示波	521
第一 节 引言	521
第二 节 示波管	521
第三 节 扫描电压发生器	527
一、简单扫描电压发生器的原理	527
二、扫描电压波的参量及指标	529
第四 节 扫描电压波的直綫化	532
一、在 R 上串联电感恒流法	532
二、五极管恒流法	534
三、自举电路恒流法	537
四、积分放大法	542
第五 节 快速扫描电路	545
第六 节 时标电路	546
第七 节 脉冲示波系統	548

一、連續扫描的示波系統	548
二、被测脉冲与扫描由同一訊号驅動的脉冲示波系統	551
三、单个脉冲示波系統	553
第十章 稳定电源	556
第一节 稳压电源的主要指标以及最简单的稳压管稳压电源	556
第二节 电子管低压(100~500伏)稳压电源	562
一、串联式稳压电路的工作原理	562
二、串联式稳压电路的主要参量	563
三、串联式稳压电源的设计考虑	568
四、一些实际的低压稳压电路	572
第三节 电子管高压(600~5000伏)稳压电源	576
一、串联式高压稳压电路	577
二、并联式稳压电路的工作原理	578
三、并联式稳压电路的主要参量	579
四、并联式稳压电路的设计考虑	581
五、一些实际的高压稳压电源电路	583
第四节 一些特殊的稳定电源的考虑	586
一、方波調制稳压电源	586
二、静电加速器高电压的稳定方法	587
第五节 电流的稳定方法	589
第六节 大电流的稳定	593
一、采用直流放大器的反饋控制系统	593
二、采用閘流管及移相网络的控制系統	596
三、采用磁共振譜綫进行稳定磁場的方法	599
附录一 热噪声公式的推导	605
附录二 散粒噪声公式的推导	608
附录三 拉普拉斯变换函数表	611
附录四 核輻射測量的統計漲落	614

第一章 核輻射探測器

第一节 引言

天然或人工放射物质有三种射线—— α 、 β 及 γ 射线。 α 射线为高速氦核， β 射线为高速电子， γ 射线为波长极短的电磁波。当原子核裂变时，会有中子辐射出来。此外，在高能核反应时会产生介子或其他基本粒子（如反质子等）。所有这些统称为核辐射。

我们也可以把核辐射出来的物质分为三类：一类是带电粒子（重的和轻的，如 α 、 β 粒子），一类是不带电的中性粒子（如中子），另一类是电磁波（如 γ 射线）。这三类射线（或粒子）与物质相互作用的情况是不同的。根据射线与物质相互作用情况的不同，我们可以探测粒子的各种性质，这就是原子核物理探测技术的基础。探测技术是核物理中发展得最早、应用得最广的技术，它和加速器技术、反应堆技术构成核物理实验技术中三个主要部分。探测器的改进和创造是核物理发展的主要因素之一，在核物理实验中，无论是新现象的发现和物质内部运动规律的研究，都需要灵敏而可靠的探测仪器。例如，只有具备了灵敏可靠的探测器才可能研究原子核在激发状态下的辐射线及核裂变、核反应时放出的辐射强度和能量，而这一系列的研究就是人类探求物质的奥秘——原子核结构的基本方法。

除了核物理的研究外，放射性同位素已广泛应用在工业、农业、医学、生物和化学等各种科学技术领域中。放射性同位素的应用给这些部门带来了新的发展。随着和平利用原子能事业的发展，还必须相应发展放射性矿藏的勘探技术，放射性物质使用操作的检查、监督技术，以及辐射的防护、控制技术。所有这一切都要求有各种各样可以测量核辐射的灵敏仪器。

由于应用电子学的方法，核辐射的测量技术得到迅速发展和提高。电子学方法的优点在于：（1）灵敏度高；（2）迅速；（3）便于自动记录和控制。一个完整的核辐射探测装置应包括两个部分：第一个部分是将辐射能转变为电能的能量转换器——辐射探测器，第二部分是各种特殊的电子线路。

适用于各种特殊用途的探测器的种类及具体设计极多，本章主要是对几种最重要、最广泛使用的探测器加以介绍，而讨论的角度着重于各种探测器的基本工作原理、特征以及对电子线路的要求。对于各种探测器的全面介绍和深入的理论探

討則不在本書範圍之內。

探測器通常可分為兩類：第一類是以氣體作為媒質，第二類是以液體、固體作為媒質（密媒質）。前者包括：脈沖電離室、累計電離室、正比計數管、蓋革-彌勒計數管等。後者包括各種固體、液體閃爍計數器等。這一切都將在本章內加以介紹。這些探測器大多用於探測帶電粒子及電磁輻射，至於對中性粒子的探測方法，亦將在本章末加以簡單的介紹。此外，尚有各種雲霧室、氣泡室、核子乳胶、契連科夫計數器、火花計數器等，就不在此介紹了。讀者如對本章所介紹的探測器需要進一步研究或對本章未加以介紹的也有興趣的話，可以參考一些專論^{[1]~[3]}。

第二節 脈沖電離室

一、電離室的基本工作原理

在氣體中安置一對電極，並加上幾百伏的電壓，如圖 1-1 所示。這時如果氣體中有離子存在，則正離子將在電場作用下趨向陰極，而負離子（或電子）則趨向陽極，

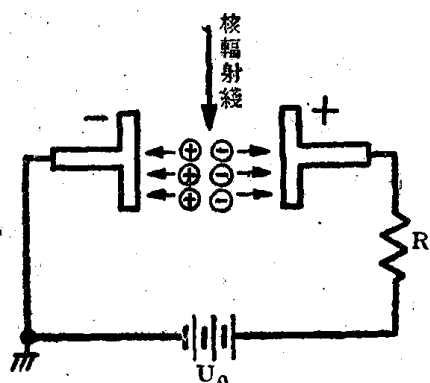


圖 1-1 電離室

構成電離電流，此電離電流在電阻 R 上產生電壓降。平時氣體中的離子非常少，所以這時的電離電流可以略去不計。當原子核放射線穿入電極間的氣體時，這些射線將損失自己的輻射能量而使氣體分子電離，於是在射線所經過的路程中將產生許多離子對，由於外加電場的作用，電子趨向陽極，而正離子趨向陰極。當輻射線中有一個荷電粒子進入就產生一批離子，因而就產生一股脈沖電流。這樣，利用輻射線的

電離性質，我們就可以從電阻 R 上的脈沖電壓來測量射線中粒子的數目及能量，這種裝置就稱為電離室。

為了對電離室的工作原理有更明確的概念，我們扼要介紹一下電子在氣體中運動的過程。

我們知道，氣體分子經常處於方向雜亂的熱運動中，因此氣體分子具有雜亂的平均速度 u_T ，在室溫下 u_T 大約是 10^4 厘米/秒。

氣體分子雖然具有這樣雜亂的熱運動速度，但是它們之間頻頻相碰，所以它們實際上“漂離”開原在位置是極為緩慢的。分子間平均行進 L 厘米就相碰一次， L 稱為平均自由路程。平均自由路程顯然與分子的種類有關，與氣體壓力成反比。在大氣壓下，氣體分子的平均自由路程的數量級在 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 厘米左右；電子的平均自由路程則稍大一些。

辐射线进入电离室后产生电离。只要进入粒子的能量大于气体分子(或原子)的电离电位, 辐射能量就会把电子激发出来, 成为电子及正离子。一般气体的电离电位大约为 30 电子伏特 (eV)。现在我们将几种常用的气体的电离电位列于表 1-1。

表 1-1

气 体	电离每对离子的能量, 即电离电位 (电子伏特)
H ₂	33.0
He	27.8
N ₂	35.0
O ₂	32.3
Ne	27.4
A	25.4
Kr	22.8
Xe	20.8
BF ₃	33.8
空 气	32.4

气体电离后, 在电场作用下电子就趋向阳极, 正离子就趋向阴极。此时电子和正离子的运动速度为杂乱的平均速度再加上定向的漂移速度 u^- 及 u^+ 。电离后的正离子与电子也可能再复合。因此电场必须足够大, 使复合过程可以略去不考虑。电子也可能被其他中性分子所捕获而形成负离子, 但对于单原子气体以及电子的运动速度较大时, 这种机率也很小。

电离室内的场强, 大约为几百伏/厘米, 因此电子及离子在平均自由路程中所获得的能量只有 10^{-2} 电子伏特, 远低于气体的电离电位, 所以在电离室中的运动过程中, 与气体分子是弹性碰撞。

描述电子或离子在气体中的运动, 往往引用迁移率 k , 迁移率的定义是在单位气压及单位场强下的漂移速度, 即:

$$u^{\pm} = k^{\pm} E / P \quad (1-1)$$

式中 u^+ 为正离子的漂移速度, u^- 为电子的漂移速度, k^+ 为正离子的迁移率, k^- 为电子的迁移率, E 为场强, 以伏/厘米表示, P 为气压, 以“托”* 或“标准大气压”表示。

在同样的电场强度和气压下, 电子的迁移率较离子大得多, 大约大 $10^3 \sim 10^4$ 倍左右, 离子和电子的迁移率分别列于表 1-2 及表 1-3。电子的迁移率虽然很大, 但这只在一定 E/P 的极限值下才是常数, 这些极限值也列于表 1-3。可以粗略地估计出, 在一个大气压, 每厘米几百伏的场强下, 电子漂移速度的数量级为 10^6 厘米/秒,

* 1 托 = 1 毫米汞高 = $\frac{1}{760}$ 标准大气压。

表 1-2 离子在气体中的迁移率

离 子	气 体	迁移率 k (厘米 ² ·大气压/伏·秒)
A (正)	A	1.37/大气压
H ₂ (正)	H ₂	6.7 /大气压
He (正)	He	5.1 /大气压
空气(正)		1.4 /大气压
空气(负)		1.78/大气压
C ₂ H ₅ OH(正)		0.34/大气压
C ₂ H ₅ OH(负)		0.27/大气压

表 1-3 电子在气体中的迁移率

气 体 类 别	一定压力下的 k 值(厘米 ² /秒·伏)	E/P 极 限 值
BF ₃	$5 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^6$ 压力为 1 厘米汞高	5~20 伏/厘米×厘米汞高
A 和 C ₂ H ₅ OH	15700 其中 A 为 9 厘米汞高 酒精为 1 厘米汞高	
C ₂ H ₅ OH	1630, 压力 10 厘米汞高	
H ₂ 和 N ₂	4×10^5 , 压力为 1 毫米汞高	2~50 伏/厘米×毫米汞高
H ₂	6×10^5 , 压力为 1 毫米汞高	0.2~5 伏/厘米×毫米汞高
Ne	12.5×10^5 , 压力为 1 毫米汞高	0.2~7 伏/厘米×毫米汞高
A	2×10^6 , 压力为 1 毫米汞高	0.1~1 伏/厘米×毫米汞高
CO ₂	1.05×10^6 , 压力为 1 毫米汞高	0.5~8 伏/厘米×毫米汞高
BF ₃	10^7 , 压力为 1 毫米汞高	1~9 伏/厘米×毫米汞高
0.9 A + 0.1 CO ₂	5×10^6 , 压力为 1 毫米汞高	0.1~1 伏/厘米×毫米汞高

而离子漂移速度的数量级为 10^3 厘米/秒。

一般电极间的距离是几厘米, 所以核辐射粒子进入电离室产生电离后, 离子对中的电子迅速趋向阳极, 大约在数微秒内到达阳极; 而正离子移动则缓慢得多, 到达阴极的时间大约是数毫秒。

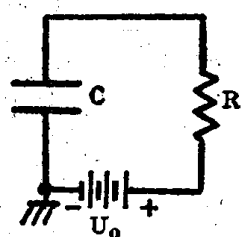


图 1-2 电离室的
等效电路

如果一个核辐射粒子在电离室中所产生的离子对为 N , 电离室分布电容为 C (一般 C 为 10 微微法), 且电阻足够大 ($\sim 10^9$ 欧), 则 RC 时间常数远较电子、离子迁移时间大得多, 这样当电子、离子全部到达电极时, 电极上有电荷 Ne 聚集起来, 因而产生电压降变化

$$\Delta U = \frac{Ne}{C} \quad (1-2)$$

收集极(收集电荷的电极)可以是阳极, 也可以是阴极。用阳极作为收集极时电压变化为负(即下降), 用阴极作为收集极时电压变化为正(即上升)。

e 为单位电荷电量, 等于 1.60×10^{-19} 库仑, 如果 C 以微微法为单位, 则

$$\Delta U = 1.60 \times 10^{-7} N/C \quad (1-3)$$

从上式可以看出，电离室的分布电容愈小则收集极上的电压变动愈大。实际上电容 C 除了电离室的分布电容外还必须加上放大器的输入电容。所以放大器往往和电离室装在一起以尽量减小总的分布电容。对于一个电离室来说，总的分布电容 C 已经固定（一般为 10 微微法左右），则电压变动 ΔU 便决定于辐射在电离室中所产生的离子对 N 的数目。 N 愈大，收集极上的电压降变动也愈大。 N 显然与进入的射线有关，所以电离室可用以分辨不同的射线及测量能量。 N 的数值一般从 $10 \sim 10^5$ ，如 C 为 10 微微法，则电离室输出的电压变动一般从几十微伏到几毫伏之间，所以还必须连接适当的放大器，使电压放大至 100 伏左右加以测量。

收集极上的电压波形大致如图 1-3 所示。离子的收集时间 T 大约为几毫秒，即经过 T 时间收集极上的电压降达到最大值 $\frac{Ne}{C}$ ，然后逐渐下降，下降的速度决定于电路的时间常数 RC 。

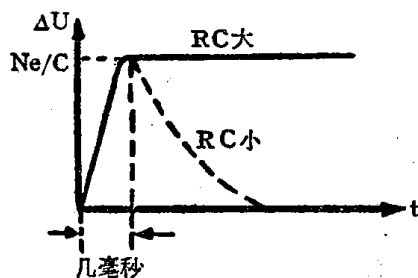


图 1-3 电离室的输出脉冲波形

为了提高放大器的分辨率，使放大器能够在强计数率的情况下，前后脉冲不致互相重叠而影响能量（即电压振幅）的测量， RC 时间常数必须取得足够小。但最小的 RC 数值应该比离子的收集时间 T 大，否则分辨时间不会再有多大改善而输出电压振幅却迅速降低。

上述的电离室的输出电压振幅，主要由于正离子运动在收集极上感应集聚的电荷所产生，因此称为离子电离室。

如果我们仔细研究收集极上的输出电压波形，我们将发现输出电压波形的前

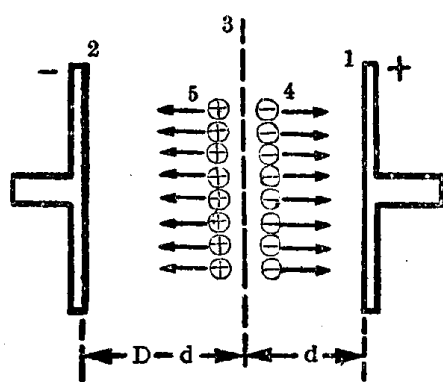


图 1-4 电离室的工作原理
1—阳极； 2—阴极； 3—辐射线；
4—电子； 5—正离子

沿比图 1-3 所示要复杂。因电子的迁移率较离子大得多，当电子全部到达阳极时，由于正离子的感应作用，阳极上的电位变动不能以 (1-2) 式来表示。这时阳极上的电位变动与正离子的位置有关。换句话说，与辐射粒子所经的路径有关。只有当正离子也全部到达阴极后，电压变动才达到 (1-2) 式的数值。

如果产生离子对的地点离开阳极的距离平均为 d ，而两电极间的距离为 D ，则当电子到达阳极时，收集极上的电荷变动为

$$Ne - Ne \frac{(D-d)}{D} = Ne \frac{d}{D} \quad (1-4)$$

(1-4) 式中左端第一项为电子的电荷，第二项为正离子的感应电荷，因此当电子刚

剛到达阳极时电位变动为

$$\Delta U' = \frac{Ne}{C} \frac{d}{D} \quad (1-5)$$

然后电压随着正离子趋向阴极而渐渐升高达到 $\frac{Ne}{C}$ 最大值, 收集极上电压波形的的前沿部分如图 1-5 所示。电子的收集时间約为 1~2 微秒。由于离子的收集时间較电子大 1,000 倍左右, 所以为了提高电离室的分辨率, 我們可以选取很小的 RC 时间常数, RC 的数值应比电子的收集时间 T^- 大, 而比离子的收集时间 T^+ 小得多。电离室用在这种工作状态时, 称为电子电离室。

电子电离室比起离子电离室来, 具有很多优点。第一个优点上面已讲过, 就是电子电离室的分辨时间較离子电离室短 1,000 倍左右; 第二个优点是由于电路 RC 时间常数小, 所以交流电的干扰颤动噪声、电子管的热噪声等均大大降低(在第二章第四、五节将討論)。但是这种简单的电子电离室也有很大的缺点, 即输出电压决定于辐射綫进入电离室的路径, 因而不能表示射綫的能量。为了克服这种缺点, 后来提出了一种屏栅电离室。屏栅电离室是在普通电子电离室中加一个栅极如图 1-6 所示。

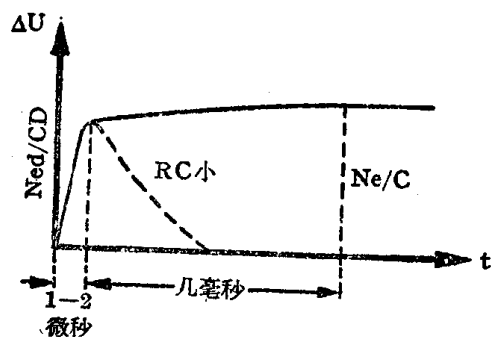


图 1-5 电离室的输出脉冲

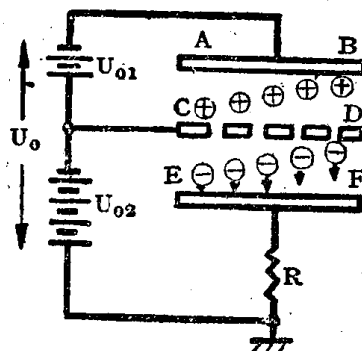


图 1-6 屏栅电离室

将阳极作为收集极, 在阴极和阳极之間加一个栅极。栅极一般用金属絲制成。阴极上加一个負高压 $U_0 (= U_{01} + U_{02})$, 栅极上加一負高压 U_{02} 。辐射产生的离子对在阴极 AB 和栅极 CD 之間。离子对产生后, 电子就穿过栅极趋向阳极。由于栅极的屏蔽作用, 正离子的运动不会在收集极感应产生电荷, 于是电子全部到达收集极后, 电压降就达到 $\frac{Ne}{C}$ 。这样采用了屏栅极后, 电子电离室的输出脉冲电压幅值就正比于辐射綫的能量了。

必須指出: 由于栅极的屏蔽不能十分完善, 以及各个电子到达收集极的时间不同, 输出电压波形的前沿到达最大值时不是十分尖銳的。一般如果屏栅极采用 0.1~0.2 毫米直径、相距为 1~2 毫米的金属絲做成, 屏蔽程度就可以达到 98% 以上。

栅极至阳极間的电压 U_{02} 必須比阴极至栅极間的电压 U_{01} 大得多, 以免电子

经过栅极时被栅极捕获, U_{02} 与 U_{01} 的比值与栅极金属丝的直径、各电极间的距离有关, 一般为数倍。 U_{01} 电压不能过低, 以保证栅极与阴极间有足够大的场强来消除离子复合现象。

采用屏栅电离室时必须将电离限制在栅极与阴极之间。一般往往将放射源装在阴极上, 同时使栅极与阴极间的距离大于辐射粒子的射程。

从屏栅电离室输出的电压波形大致如图 1-7 所示。

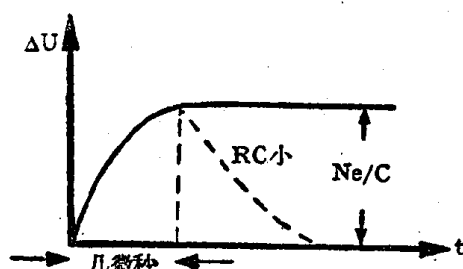


图 1-7 屏栅电离室的输出波形

二、电离室用于测量 α 、 β 、 γ 射线时的基本知识

α 和 β 都是荷电粒子, 这些荷电粒子在气体中行进时, 由于和气体分子或原子相碰, 严格说来是由于行经气体分子、原子附近时的强烈的电场作用, 使分子或原子的电子电离出来。 α 粒子的体积大, 速度慢, 和气体相碰机会多, 所以 α 粒子的电离本领比 β 粒子大得多。电离本领以电离比值 (即单位距离的电离数目) 来表示。 β 射线的电离比值一般在 $10^2 \sim 10^3$ 对/厘米之间, 而 α 射线的电离比值在 $10^4 \sim 10^5$ 对/毫米之间。所以 α 粒子的输出脉冲幅值要比 β 粒子的大得多。

α 射线的穿透本领很差, 百分之几毫米厚的云母片或铝片就足以把 α 射线挡住, 所以电离室用以测量 α 粒子时一般采用两种方法: 第一种方法是将电离室开个口 (窗), 这种电离室大都是空气式的; 第二种方法是将放射源置于电离室内。 α 射线在空气中及一般气体中的射程约为数厘米, 电离室要测量 α 射线的能量时必须保证整个射程都在电离室内。

如果 α 射线的整个射程都包括在电离室的有效体积内, 则 α 射线的全部能量都用于电离。这样, 电离的数目 N 很易从 α 射线的能量 E_α 及气体的电离电位 E_i 求得

$$N = \frac{E_\alpha}{E_i} \quad (1-6)$$

例如: $\text{RaC}' (\text{Po}^{214})$ 放射 α 粒子的能量为 7.68 百万电子伏特, 如电离室为空气式, 空气的电离电位从表 1-1 可查得为 32.4 电子伏特。

所以

$$N = \frac{7.68 \times 10^6}{32.4} \approx 237000 \text{ 对}$$

如果电离室的分布电容为 10 微微法, 则从 (1-3) 式可以计算得输出电压的幅值为 3.79 毫伏。

β 射线的穿透能力比 α 射线要大得多, β 射线在空气中的射程随着能量不同

有很大变化，从几厘米至十几米。所以一般电离室并不能把 β 射线的射程全部包括在内。电离室中 β 粒子所产生的离子对数目 N 决定于 β 粒子在电离室中的路径 l 及 β 粒子的电离比值。 β 粒子的电离比值与能量有很大关系，它随粒子能量的增大先迅速减小而后缓慢上升。电离比值显然也与气体的性质及密度有关，表 1-4 为不同能量的 β 粒子在标准状况下在空气中的电离比值，此处所列出的电离比值一般是指某种气体在标准状况下而言。

表 1-4

速度(光速 c)	电子能量(百万电子伏特)	电离比值 (离子对/ 厘米空气)	速度(光速 c)	电子能量(百万电子伏特)	电离比值 (离子对/ 厘米空气)
0.001979	10^{-6}	0	0.9791	2.00	59
0.006257	10^{-5}	0	0.9893	3.0	61
0.0240	1.46×10^{-4}	7700	0.9934	4.0	62
0.1950	10^{-2}	~ 1100	0.9957	5.0	64
0.4127	0.05	200	0.9983	10	68
0.5433	0.10	150	0.99930	20	74
0.8629	0.50	64	0.99949	50	81
0.9068	0.70	61	0.9999871	100	85
0.9411	1.00	59			

例如，假定 β 粒子的能量为 150 千电子伏特，在电离室中的路程为 5 厘米，则一个 β 粒子所产生的离子对为 600，如果电离室的分布电容为 10 微微法，则输出脉冲电压幅值为 9.6 微伏。

这样，为了测量粒子的能量，必须将电压放大至 50~100 伏左右，所以需要放大倍率极高 ($\sim 10^7$) 的灵敏放大器。

制造高倍率放大器在技术上是很困难的，必须努力克服放大器本身的噪声，使它降到最低水平 ($\sim$ 几微伏)。

不同气体的电离本领是不同的，表 1-5 是几种不同气体对宇宙射线的电离比值，可以作为参考。

表 1-5

气 体	电 离 比 值
H ₂	6
He	5.9
A	29.4
空气	21
CH ₄	16
Ne	12
BF ₃	44
C ₂ H ₅ OH	33

从表 1-5 可以看出，氪气具有比空气高得多的电离比值，即使如此，用电离室