

七十厘米流光室研制初见成效

高能所实验部物理二室

一、引言

流光室是六十年代开始出现的一种高能粒子可见径迹探测器。与其它径迹室相比,它有许多优点。例如:可以触发选择有用事例,使室工作,接收度大,近于 4π 立体角;多重径迹效率高,接近100%;空间分辨率高;可以利用电离的相对论上升辨认粒子等等。流光室的研制,花钱不太多,制造工艺与我国目前的工业水平较相适应。因此,一九七五年初我们决定研制流光室。一九七六年底,完成了七十厘米流光室的全部物理设计和主要技术设计。后经主要部件的调试,加工,于一九七九年初开始总装联调,仅用半年时间,于一九七九年七月二十六日首次见到了流光。本流光室的研制为进一步研究流光径迹的各种性能创造了有利的条件,也为我国高能探测器的发 展迈出了可喜的一步。

流光室的工作原理基于气体分子运动论和气体放电物理学。当高能带电粒子通过流光室室体时,室内的工作气体电离而产生很多正、负离子。由于外加很强的脉冲电场(约15千伏/厘米),电子(即负离子)在电场中作加速运动,并获得能量,使气体进一步电离,电子便迅速倍增形成“雪崩”。雪崩中的正、负离子复合时发射出光子,但这时的光强还不足以使高速底片感光。光子中能量较高的那些进一步产生更多的离子对,从而产生大量次级雪崩,这时发出的光,足以达到肉眼可见的程度,称为“流光”。当流光刚刚开始向两极发展(约几毫米)时,把高压脉冲迅速去掉,电子雪崩就不会继续发展成火花放电。不难看出,高压脉冲的质量(幅度、宽度、前沿)以及气体性能(种类、比例、杂质含量)对流光的形成和质量均有重要影响。要想得到好的流光径迹,对此必须详细研究。

关于流光室工作原理的详细介绍可参考本刊1980年第1期的有关文章。这里不再重复。下面重点介绍我们研制的七十厘米流光室系统的主要组成部分和初步实验结果。

二、流光室系统装置简介

整个流光室系统由五部分组成:高压毫微秒脉冲

系统;流光室室体;气体净化循环分析系统;事例触发选择及自动控制系统;光学系统。图1的照片包括了我们的七十厘米流光室系统的大部分。下面结合示意图2简单介绍各部分的主要作用、设计指标以及目前达到的指标。

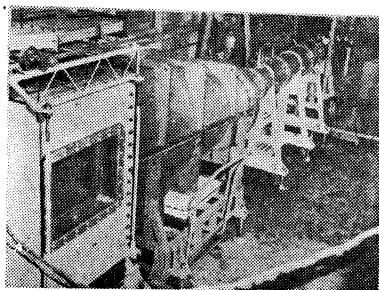


图1 七十厘米流光室系统装置照片

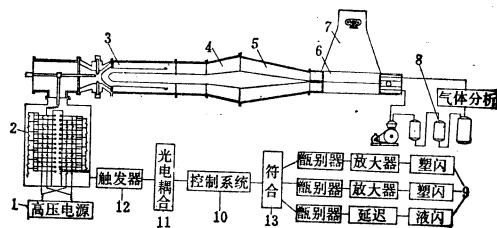


图2 流光室装置各组成部分示意图

(其中 2. 马克斯产生器; 3. 布卢姆莱因线; 4. 锥台; 5. 传输线; 6. 流光室室体; 7. 照像系统; 8. 气体循环净化系统)

1. 高压毫微秒脉冲系统 研制流光室的困难之一,是在流光室室体上产生形成流光所需要的,幅度很高、前沿很陡的高压毫微秒脉冲。其中要解决高压脉冲的产生、成形和传输等各方面的问题。

(1) 高压脉冲产生器②,国外通称为马克斯(Marx)产生器。实际上,它是利用电容器的并联充电、串联放电来获得脉冲高压的一种电压倍增装置。它有25级,每级由4片高压无感钛酸钡陶瓷电容器(每片8000微微法/25千伏)并联组成。整个浸在充满变压器油的铁制油箱中。各级的火花开关(半径为1厘米的不锈钢球)置于高气压放电腔中。

本产生器由 1 台 ± 30 千伏的直流高压电源①供电。充电时间约 120 毫秒,工作频率约 5 次/秒,用高压触发器②点火,触发器可输出约 12 千伏,1 微秒的高压脉冲。

本产生器的设计指标为 600 千伏,但考虑到器件性能及安全等因素,只运行在 350 千伏左右,已能满足目前初步实验的需要。

(2) 高压脉冲成形线③。国外通称为布卢姆莱因(Blumlein)线。它是一个锥形双层同轴线,用黄铜制造,变压器油作为工作介质。它的作用是:把马克斯产生器输出的高压脉冲波形成形为前沿约 2 毫微秒、宽度约 10 毫微秒的较为理想的方形脉冲,用以产生较好的流光。

此同轴线的设计指标为:工作电压 6000 千伏,特性阻抗 30 欧姆,脉宽分为 5、10、和 13 毫微秒三种(靠改变中筒长度调整)。目前用的是 10 毫微秒的一种。前沿实测为 2.04 毫微秒,波形很好(见图 3),已达到国外同类设备的水平。

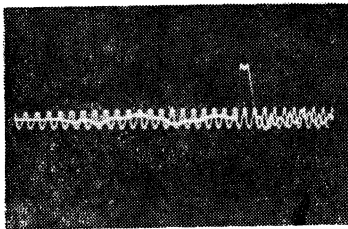


图 3 在流光室室体上测得的高压脉冲波形

(3) 高压脉冲传输线⑤和锥台④。它们的作用是把已经成形的、满足形成流光所需要的高压毫微秒脉冲尽可能无损耗不畸变地传输到流光室室体⑥上,并且完成由布卢姆莱因线的同轴圆筒形到流光室室体的平板长方形的过渡。过渡中为保证其阻抗与流光室室体的阻抗相匹配,必须研究一种特殊的形状。这项工作通过计算机反复模拟计算完成。

在制造工艺方面,采用玻璃布环氧树脂敷成胎具,两端压合金属构件与同轴线和室本体相连。胎具表面用 502 胶胶合 100 目细铜丝网,以传输高压脉冲。这样不但结构简单,制造容易,而且重量轻,性能好。实验表明,阻抗匹配良好,电压损失很小。

整个高压毫微秒脉冲系统的延迟时间要求 ≤ 1 微秒,但目前只能做到 ≤ 4 微秒。延迟时间主要来自马克斯产生器的触发点火花隙和高压触发器中的氢闸流管等,今后当需进一步改进。

2. 流光室室体 流光室室体是一个用厚度为 15 毫米的有机玻璃粘合而成的气密盒子的双间隙室,灵敏体积为 $63 \times 49 \times (15 \times 2) \text{ cm}^3$ 。室体中充以一个大气压的工作气体,例如氩,或一定比例的氖和氦的混合气体。盒子中间封入高压电极,两侧是地电极。这样,不

但可以充分有效地利用高压脉冲,而且也可以适当增加记录带电粒子的灵敏体积。为了拍摄流光室内发生的各种作用事例,中间的高压电极和观察面的地电极必须做成透明的。我们用直径为 0.2 毫米的铍-铜丝焊接到印刷线路板制成的框架上做成每根丝承受约 500 克的张力。为保证电场的均匀分布,丝的间距取为 2 毫米。

流光室室体的特性阻抗为 30 欧姆,为避免高压脉冲波形的反射及保证室体中电场的均匀分布,在室体终端并联 4 个 120 欧姆的硫酸铜(CuSO_4)水电阻,作为匹配电阻。室体上还安装一个分压比为 500:1 的简易电容分压器。以随时监测加到流光室室体上的高压脉冲波形。图 3 就是在室体上测得的高压脉冲波形。宽度约 10 毫微秒,前沿约 2 毫微秒,时标周期为 10 毫微秒。

整个流光室室体置于专用小车上。

在目前的初步实验中,为避免电晕放电,暂时在室的一个间隙中放入一个大小为 $50 \times 40 \times 14 \text{ cm}^3$ 的有机玻璃气体盒,有机玻璃厚度为 5 毫米。

3. 气体净化循环分析系统 为得到质量最好的流光,必须在长期工作中保持室内工作气体的压力和成分等稳定不变,并严格控制杂质含量,(最好低于 0.3%,不要超过 0.5%)。这些都是由气体净化循环分析系统⑦的工作保证的。其基本工作流程为:由气体循环泵将室内气体不断抽出,经吸附或净化系统处理,再经贮气罐压力缓冲,最后又回到室体中。在气路中用转子流量计测定气体流量,在循环泵的排气管路上在线取样气体,并进行色谱分析。这样既可分析杂质气体的含量,又可测定工作气体的比例,方法简单可靠,分析迅速及时。

在循环气体的流量为 500 升/小时的条件下,用低温吸附方法净化,可使氖或氖-氦工作气体中的杂质含量在 2 小时之内降低到 0.2% 以下。

4. 事例触发选择及自动控制系统 流光室具有触发选择有用事例的特点。也即只有当事例满足选择标准时,才去触发流光室工作。否则,流光室就一直处于等待状态。这样做,可以大大提高有用照片的比率,缩短分析处理照片的时间。当然,对于特定的物理工作而言,触发系统应由复杂的计数器系统组成。目前,在只用宇宙射线调试流光室性能的情况下,触发系统比较简单,只包括闪烁计数器⑧、放大器、甄别器、符合线路⑨和自动控制系统⑩等。它们好像是人的大脑,指挥和控制整个流光室系统的协同动作。

为了选择通过流光室灵敏体积的有用事例及增加真符合计数率,我们采用大面积闪烁体和三重符合线路。其中两块为国产 ST401 型塑料闪烁体,尺寸为 $310 \times 250 \times 13 \text{ cm}^3$,另一块为液体闪烁体,也是国产的,尺寸为 $630 \times 300 \times 50 \text{ cm}^3$,都采用有机玻璃光

导并配有 56AVP 光电倍增管。将液体闪烁体和一块塑料闪烁体放在流光室室体的上方，另一块塑料闪烁体放在流光室室体的下方，做成三重符合，从而大大减小本底和偶然符合计数率的影响。当用宇宙射线粒子触发时，真符合与偶然符合之比大于 700，符合分辨时间为 10 毫微秒。

为了自动地控制整个流光室系统各组成部分（其中气体系统自成体系）的协同动作，设计和研制了一套具有快、慢输出的控制线路，相机驱动线路和片码线路。当通过流光室灵敏体积的有用事例被选中时，符合线路⑩就有信号输出到控制线路⑪，控制线路的快输出便输送一个信号到高压触发器⑫，从而使马克斯产生器⑬点火，高压脉冲就加到流光室上，而后，控制线路的慢输出信号控制相机驱动线路，片码线路以及基准坐标显示线路等，把这个有用事例及其底片号码、基准坐标等拍摄下来。

为了避免来自高压毫微秒脉冲系统的干扰，在高压系统与电子学线路之间用光电耦合装置⑭隔开。

目前，触发选择及自动控制系统的总延迟时间约为 360 毫微秒，基本达到设计指标。

5. 光学系统 这是研制流光室的又一难题。因为流光径迹的光强十分微弱，只有 10^{-8} 焦耳/厘米² 左右，波长约 5800 埃（对氖-氦气体而言）。为了拍摄如此微弱的流光，必须用大孔径照相机和高速底片（国外一般用 $f/2$ 光圈和 36—41DIN 底片）。大孔径相机和高速底片正在有关单位研制，不久即可投入使用。

我们准备用三台快速（10 次/秒）照相机，在距室 1.6 米处（缩小倍数为 50）立体拍摄流光径迹。

在目前的初步实验中，我们暂用一台国产普通示波器照相机（光圈 $f/2$ ，距室 1.4 米，缩小倍数为 23）和国产 28DIN135 底片拍照。故底片速度低，只能拍摄光强很强的流光。

三、初步实验的结果

目前，国内还没有高能加速器，我们只能“靠天吃饭”。利用天然粒子源——宇宙射线来调试流光室。再加所用相机和底片均达不到目前正在研制的相机和底片的要求指标，故得到的实验结果只能是很初步的。

在杂质含量小于 0.2% 的情况下，我们先后在纯氖、95% 氖+5% 氦和 90% 氖+10% 氦工作体中，得到近于橙红色的宇宙射线流光径迹，光点整齐，分布均匀。图 4 就是我们拍摄下来的宇宙射线粒子的径迹照片。平行于电场方向观察，流光直径约 3—5 毫米，垂直于电场方向观察，流光长度约 12—15 毫米。当流光的直径变小，长度变短时，现有的底片就不能感光。

在脉冲宽度为 10 毫微秒的情况下，在纯氖中产生流光需要约 14 千伏/cm 的场强，而在 90% 氖+10% 氦中产生流光则需要约 17 千伏/cm 的场强。



图 4 宇宙射线粒子径迹照片（平行于电场方向），拍摄条件：底片速度 28 DIN，光圈 $f/2$ ，距离 1.4 米，缩小倍数 23

初步实验表明，在纯氖中最容易得到流光，需要的电压也最低，而且流光明亮，色泽艳丽。当在氖中加入不同比例的氦时，形成流光所需要的电压增加，单位径迹长度上流光点的数目减少。流光也就变得暗淡。

在目前的实验条件下，高压系统和电子学系统的总延迟时间较长（ ≤ 4 微秒），致使形成流光的“种子”电子因扩散偏离开径迹中心位置，故拍摄到的粒子径迹较宽。

流光室的记忆时间较长，约为 200 微秒（加负电性气体可做到 ≤ 1 微秒），但用宇宙射线粒子触发时，三重符合的计数率仅为 6 个/分钟左右。所以记忆时间长些还是可以的。

在流光室调试过程中，也做过其他一些实验。如将高压丝电极放在工作气体中，观察电压改变时电晕的情况；在工作气体中加入异丁烷以降低产生流光的阈电压；以及终端匹配电阻失配对高压脉冲波形的影响等。

尽管我们的实验结果是很初步的，但若进一步研究流光径迹的各种性能并能做一定改进，即可用于对记忆时间要求较低的宇宙射线实验中。当将总延迟时间减少到 1—2 微秒及作进一步改进、扩充，即可在高能加速器束流上进行实验。

本探测器为国内第一台。通过半年多的运行和改进，整个系统工作稳定，安全可靠。基本上达到了设计指标，个别指标已达到国外同类设备的水平。

我室 30 多位同志参加了本探测器的研制工作。北京重型电机厂帮助设计和制造了布卢姆莱因线和大型传输线。北京综合仪器厂帮助设计和制造了大面积液体闪烁计数器。北京第三无线电器材厂帮助制造了高压无感电容器。在此，我们向协作单位的有关同志表示感谢。

（题头图：王子华）