

一个火花放电室的研究*

鄒 珠 連

摘 要

本文介绍了火花室的一般情况并报告了一个内体积为 $70 \times 50 \times 50$ 厘米³具有8个放电间隔的火花室的结构、工作原理和它的一些特性。火花室是在充氖气到1.4大气压的情况下进行研究的。研究的结果表明,火花室纪录带电粒子的效率在一个较宽的脉冲电压范围内达100%。火花放电是沿着带电粒子所穿过的路径倾斜地进行的。放电轨迹的最大斜角(和电场方向)接近 50° 。

一、引 言

自从1959年发表了有关放电室(又叫火花室)的简短论文^[1]之后,这几年来,对于火花室的研究发展极为迅速。火花室具有很多优点:结构比较简单、操作方便、效率高;能够把它的体积做得很大;然而,它的最主要的优点还在于既具有好的时间分辨本领(微秒数量级),又具有尚可的空间分辨本领(几个毫米)。它的时间分辨本领比之气泡室、云雾室和照相乳胶等好得多(好几个数量级),但比闪烁计数器和契连科夫计数器要差;而它的空间分辨本领又非闪烁计数器和契连科夫计数器所能比(它比描述仪——гомоскоп好,但比气泡室、云雾室和照相乳胶等差)。它是介于这两者之间,而两者之特点皆兼而有之的一种探测器。由于它所具有的这种独特的特点,因此,它和其它的探测器一样在核物理实验研究中占有其相应的重要地位;并且,正在被广泛地应用到高能核物理实验研究中来^[3,6]。它应用在宇宙射线的实验研究中,可以很好地与云雾室互补长短。它是一种有发展前景的探测器之一。

目前,对火花室的研究发展很快,类型也很多,但是,如果按火花室的放电特征来分类的话,就目前为止所发表的材料来看,则大致可把它分为两种类型:一种是火花放电沿电场方向而垂直于电极表面的¹⁾;另一种则是沿着粒子运动径迹和电场方向倾斜放电的^[1,4,7]。本文报告的属后一种类型。

日本物理学工作者 S. Fukui 和 S. Miyamoto 在研究放电室^[1,2]的时候,曾经观察到这样一种有趣的现象:当带电粒子穿过放电室的运动方向和电场方向之夹角不大于 30° 时,则所产生的火花放电是沿着粒子的运动方向,而不是沿电场方向。之后, A. A. Борисов, Б. А. Долгошен 等^[4]在他们的研究中得到了同样的结果,其轨迹斜角为 35° 。

* 1962年7月2日收到。

1) 沿电场方向垂直地放电的火花室,又有两种形式:一种是带电粒子穿过电极,火花放电沿电场方向垂直地进行^[9];另一种是带电粒子纵向地通过电极之间(亦即和电场方向交叉穿过),而火花放电沿电场方向垂直地进行的^[1,4,9]。此外,尚有一种“微波放电室”^[18]。

A. A. Тяпкин 和邹珠連^[7]进一步研究了这种现象,在他们的小型试验性的火花室中得到了更好的结果:当带电粒子的运动方向和电场方向之夹角为 50° 时,仍然得到了沿粒子运动方向倾斜放电的轨迹。应该指出,有关气体中的放电现象虽然以前进行过大量研究(包括放电理论研究),然而都没有考虑到和外电场方向形成倾斜的流光放电(стримерный разряд)的可能性。关于形成这种倾斜放电的机构,工作[2]中作者曾根据邻近的电子雪崩所形成的空间电荷电场的相互作用,给予了这个现象以简单的解释。至于不同因素对形成倾斜放电发生影响的定量理论,目前暂时尚不存在;因而,在实验上弄清楚产生这种倾斜放电的最佳条件,首先是具有实际意义的。本文报告了一个内体积为 $70 \times 50 \times 50$ 厘米³有着 8 层放电间隔的火花室的结构、它的工作原理以及它在充氮气到 1.4 大气压情况下的工作条件和特性。关于形成倾斜放电的机构问题,文中也作了极为粗略的解释。未了很简单地介绍了一下火花室在核物理实验研究中的应用。

二、火花室的结构

火花室的结构原理和工作[7]中所叙述的基本上是一致的。它是由 9 块电极所组成,共有 8 个放电间隔。电极是直角形式的,由铝箔和有机玻璃框架组合而成(见图 1)。铝箔的厚度为 30 微米。为了消除由于电极边缘效应所引起的放电现象,每块电极的两对边用两根小铝管将铝箔捲成圆柱形,然后用角铝将铝管嵌在有机玻璃的边缘上;这样,电极这两边的边缘上便被构成半圆柱形,圆柱的半径由小铝管的半径决定,它等于 5 毫米。电极的另外两边,则未能捲成半圆柱形,为了避免边缘放电现象,它做得比较长一些,让它和邻近的电极隔得比较远一些。电极的大小如图 1 所示,一种是 60 厘米 $\times$ 25 厘米;另一种是 50 厘米 $\times$ 35 厘米;电极的有效工作面积则为 50 厘米 $\times$ 25 厘米。电极间的距离可以进行调节,本报告中它等于 23 毫米。整个电极组系统被安放在一个大的金属(鋁)盒子内;盒子有两面是有机玻璃窗户,以便在火花室工作时观察和照相用的。有机玻璃窗户是由橡皮垫进行密封的。火花室的内体积为 $70 \times 50 \times 50$ 立方厘米。

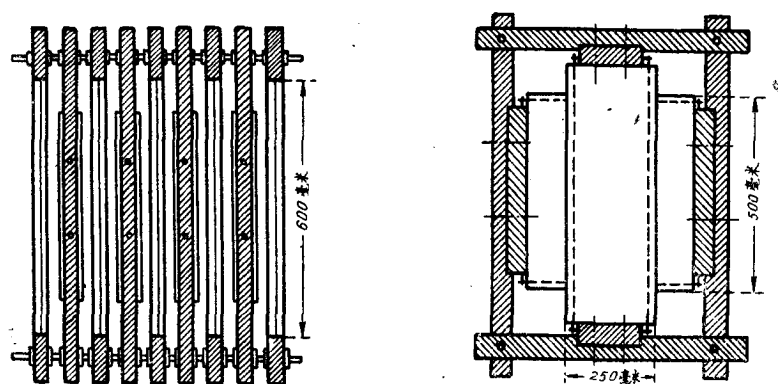


图 1 火花室的电极结构简图

火花室抽真空到 0.1 毫米水银柱高,然后充工作气体。本文所报告的一些结果是在充氮气到 1.4 大气压的情况下研究得到的。

三、火花室的工作原理

图 2 是控制火花室工作的电子学线路简图。

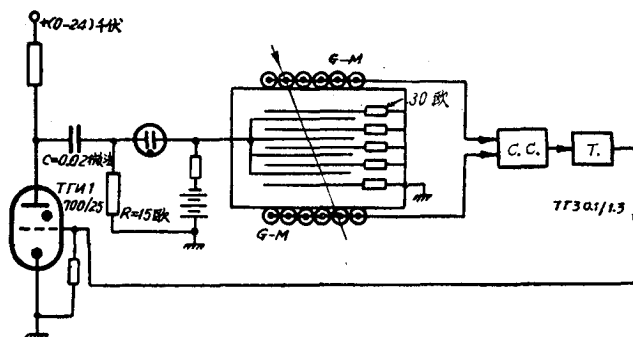


图 2 火花室的电子学线路简图

火花室是由二排盖革-缪勒计数器(MC-6)望远镜来监督和控制的。当带电粒子(宇宙射线)穿过火花室和 G-M 计数器望远镜时,计数器即各给出一个脉冲送到二重符合线路,该脉冲经符合线路放大后去触发闸流管 1 (TГ3 0.1/1.3), 闸流管 1 便给出一个振幅约等于 1100 伏特的脉冲点燃高压氙气闸流管 2 (TГН1 700/25), 立即一个高压负电脉冲即被加到火花室的一组电极上, 和另一组接地电极之间造成很大的电势差; 这时电极之间曾被带电粒子穿过时电离形成的电子和离子(主要是电子), 在高压电场的作用下, 迅即被加速, 发生雪崩, 从而形成流光放电。

当带电粒子是斜着穿过火花室时, 这时, 火花室电极之间被电离形成的一串电子(和离子)也是沿着粒子路径斜着分布的。开始这些电子在外电场的作用下, 沿电场方向迅速加速, 形成雪崩, 于是在雪崩之前头出现电子(包括负离子)云, 而在雪崩之后头出现正离子云。由于初级电子是沿着粒子路径倾斜地分布的, 这样, 每俩相互邻近的雪崩可以被近似地看成是这一雪崩的前头(电子云)恰好和另一雪崩的后头(正离子云)紧相靠近, 从而在它们之间出现着可能比外场还强的空间电荷电场相互作用; 于是, 雪崩的进一步发展不是沿外场方向, 而是沿两种场的迭加方向倾斜地进行, 最后被形成为沿粒子径迹倾斜的流光放电(见图 3. 图中是把一个电极间隙放大起来看的)。

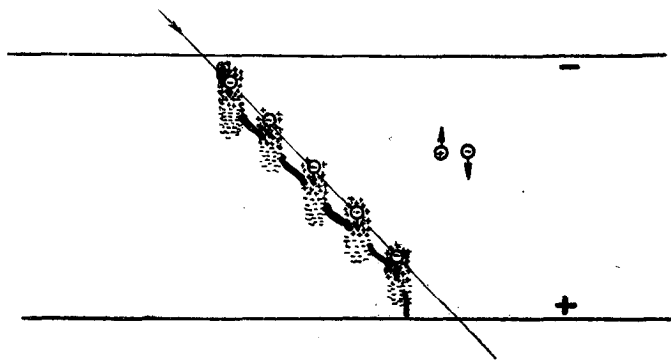


图 3 电子雪崩示意图。⊖表示初级电子

必須指出,以上这种(关于傾斜放电的)解释是极其粗略的,定性的;有关形成傾斜放电的定量理論和机构,須待进一步的研究和探討。火花室在沒有带电粒子穿过它和計数望远镜时是不工作的。

在带电粒子穿过火花室后至高压負电脉冲加到电极上之間的延迟時間(t_3)为 0.6 微秒。控制綫路中装有一組延迟綫,它可以改变高压脉冲的延迟時間从 0.6 到 2.0 微秒。

加到电极上的高压脉冲上升時間約 5×10^{-8} 秒。高压脉冲的振幅由电压的数值来决定。脉冲寬度 $t_c = 0.3 \times 10^{-6}$ 秒。为了增加高压脉冲上升的陡度,在脉冲加到电极上之前,附加了一个充氩的小放电器(разрядник)(見图 2)。火花室本身的极間电容約 500 微微法拉。

放电軌迹照相是利用手提式电影照相机«Конвас»(КСР-1)經過改装后另由控制綫路自动控制进行的。胶卷灵敏度为 1000 单位。

四、火花室的特性

1. 工作条件

火花室內表示粒子径迹的火花放电的出現,实际上取决于二个因素:高压脉冲寬度及其峯值。我們在一定的脉冲寬度下(0.3 微秒)观察了火花放电情况和脉冲振幅之間的关系。在我們的情形下($P = 1.4$ 大气压, $d = 23$ 毫米, $C = 0.02$ 微法, $R = 15$ 欧),在高压脉冲振幅等于 9 仟伏时,放电軌迹开始出現;这时光很弱,呈橙紅色。随着脉冲振幅的增加(即电压增加),火花放电的強度(軌迹亮度)很快地增加;当脉冲振幅等于 13—14 仟伏时,軌迹就变得很清楚。在 17 仟伏时,火花室就可以滿意地工作。这时效率接近 100%(見图 4)。

增加高压脉冲寬度,火花放电变得更強,放电軌迹变粗;在 $t_c \sim 10^{-6}$ 秒时,軌迹寬度将近增加一倍(4—5 毫米)。而且,这时候沿粒子运动径迹傾斜放电的破坏率增加很大,火花室工作变坏。

减少高压脉冲寬度,火花放电变弱,亦即軌迹亮度变弱;在 $t_c \sim 0.1 \times 10^{-6}$ 秒时,軌迹亮度很弱,胶卷灵敏度已經不够。而且,这时候火花室的工作电压需要达最高值。

2. 火花室的效率和分辨時間

火花室最重要的特性之一,是它纪录带电粒子的效率。我們測量了火花室单个間隙效率与高压脉冲振幅的关系。如图 4 所示,火花室在一个較寬的电压范围內纪录带电粒子的效率达 100%。

图 5 中曲綫所表示的是在不同的清扫电場(Очищающее поле)下火花室单个間隙效率和高压脉冲延迟時間的关系。图中曲綫是在脉冲振幅等于 18 仟伏,脉冲寬度 $t_c = 0.3$ 微秒的情况下得到的。从图中可以看出,附加适当的清扫电場,可以提高火花室的分辨時間。

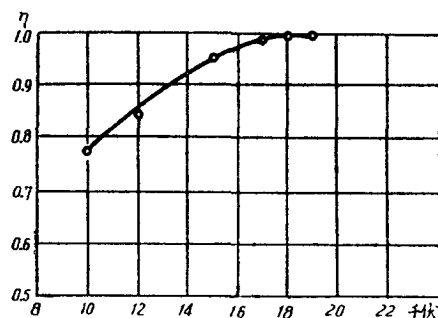


图 4 火花室的效率与高压脉冲振幅的关系
($P = 1.4$ 大气压, $d = 23$ 毫米, $u = 0$,
 $t_3 = 0.6$ 微秒)

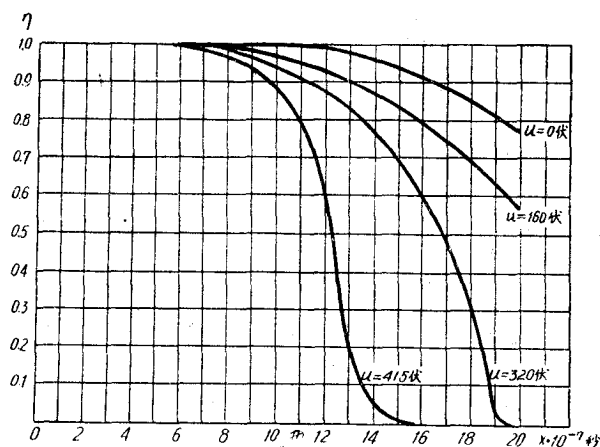


图5 对于不同的清扫电场,火花室单个间隙的效率与脉冲延迟时间的关系

($V = 18\text{KV}$, $t_c = 0.3$ 微秒, $d = 23$ 毫米, $P = 1.4$ 大气压)

η ——效率; t ——延迟时间; u ——清扫电压。

3. 放电轨迹的斜度

我们研究了火花室中形成倾斜(和电场方向)放电的条件,为了消除放电发生时电极之间进行放电的相互影响,减少放电电流,火花室的每块接地电极分别地连接了一个 $R = 30$ 欧的电阻(见图2)。在研究了不同高压脉冲振幅对形成倾斜放电的结果表明,放电轨迹的极限斜角在一定的电压范围内随着高压脉冲振幅的增加而增加。在高压脉冲振幅等于23 仟伏情况下,我们得到了轨迹极限斜角为 49° 的放电轨迹。图6(a)为带电粒子在 40° 角度下穿过火花室的轨迹照相。照片是在脉冲振幅等于20 仟伏,脉冲宽度 $t_c = 0.3$ 微秒,脉冲延迟时间 $t_3 = 0.6$ 微秒,清扫电场等于零的情况下得到的。

沿粒子运动径迹倾斜放电的几率是随着粒子运动的斜角(和电场方向)增大而逐渐减少。如表1所示。表中数字是在脉冲振幅等于23 仟伏, $t_c = 0.3$ 微秒,清扫电压 $u = 0$

表1 沿粒子径迹倾斜放电的几率和斜角的关系

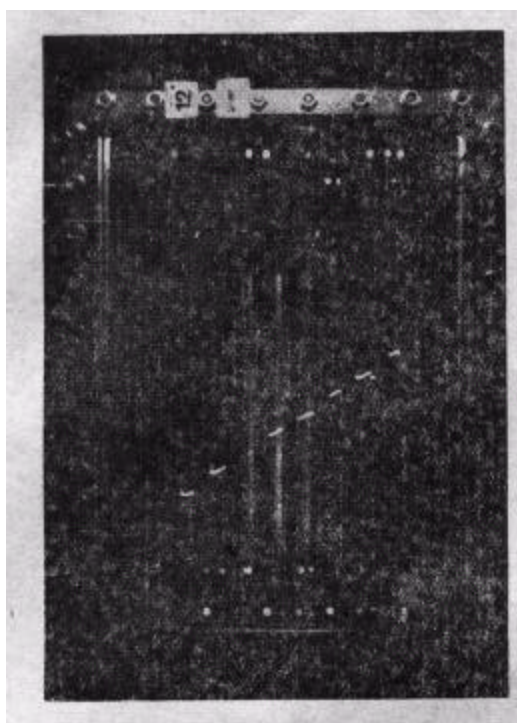
斜 角 θ	$\theta \leq 35^\circ$	$35^\circ < \theta \leq 40^\circ$	$40^\circ < \theta \leq 45^\circ$	$45^\circ < \theta < 50^\circ$
沿粒子径迹倾斜放电的几率	~100%	~95%	~80%	~30%

的情况下照相得到的。从表中可以看到,当粒子穿过火花室的斜角 $\theta \leq 35^\circ$ 时,火花放电几乎100%沿粒子运动径迹发生。当斜角大于 45° 时,倾斜放电的几率迅速减少,而沿电场方向垂直地放电的几率迅速增加,放电轨迹变成“阶梯形”。在斜角接近 50° 时,这种几率在90%以上。

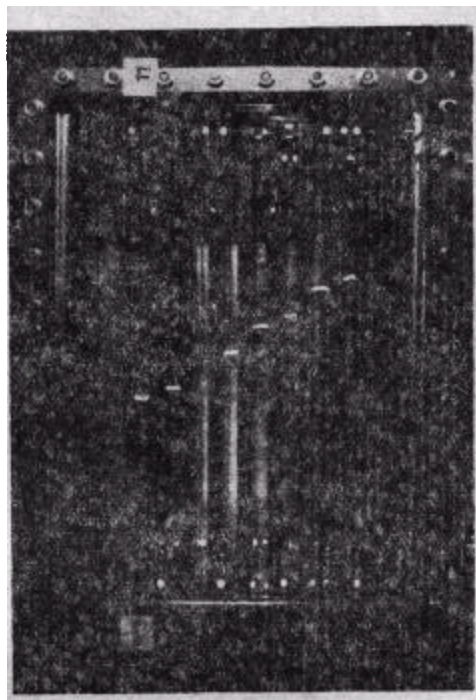
作者利用了工作[7]中的小型火花室,在高压脉冲振幅等于22 仟伏时,观察了充氩气到1.1 大气压的倾斜放电情况,同样未得到满意的结果[7]。

4. 放电轨迹的位移和清扫电场对放电轨迹的影响

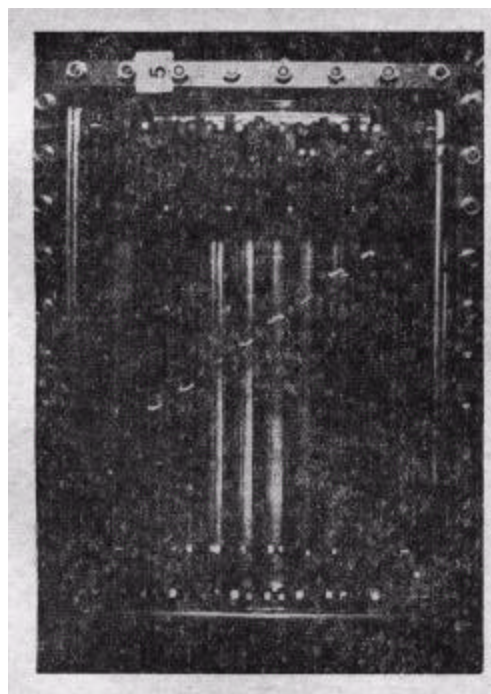
从图6(a)中可以看出,放电轨迹不是严格地成一直线的,而是前后相间(如1,3,5,7)有规则地产生小的位移。工作[7]中曾经测量了这个位移的数值,指出了产生这个位移的



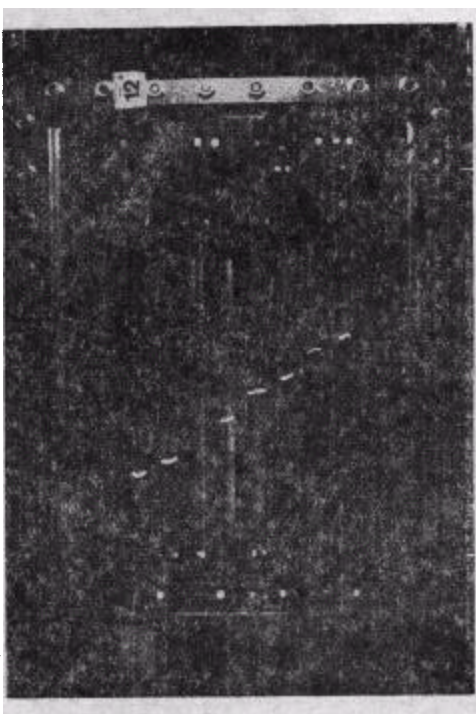
(6) 清扫电压 $u = 240$ 伏的正极端与高压电极组端相建时的轨迹照相。轨迹有规则的偏移正好与 6(a) 相反。当 $u = 400$ 伏时，这种偏移更大一些



(7) $u = 400$ 伏的正极端与高压电极组端相建时的照相。轨迹完全变成“阶梯形”



(a) 宇宙射线穿过火花室的轨迹照相。轨迹斜角 $\theta = 40^\circ$ 。清扫电压 $u = 0$ 。轨迹不在一条直线上，而是产生有规则的(1, 3, 5, 7和2, 4, 6, 8)小位移



(b) $u = 240$ 伏的正极端与高压电极组端相建接时的轨迹照相。轨迹偏移比 6(a) 中的大一些，以致轨迹变坏，变成“半阶梯形”的

原因,并提出了补偿的办法,可以附加约 100 伏特相应极性的清扫电场进行补偿。作者在这里进一步观察了清扫电场对放电轨迹的影响。图 6(6)为清扫电压等于 240 伏特的正极端和(负)高压电极组端相连接(见图 2)时所得到的照片,从照片上可以看出,轨迹发生有规则的偏移和图 6(a)中的偏移正好相反。当清扫电压增加为 400 伏特时,这种偏移则更多些。反之,当清扫电压的负极端和高压电极组端相连接时,这时轨迹有规则的偏移应比图 6(a)中的要大些,以致轨迹变坏。图 6(B)即为清扫电压等于 240 伏的负极端和高压电极组端相连接时的轨迹照相。放电轨迹变成为“半阶梯形”的。当清扫电压增加到 400 伏时,放电轨迹几乎 100% 变成为“阶梯形”的(见图 6(r))。这个现象可以由清扫电场对形成火花放电的初级电子的影响得到解释。换句话说,这个现象也正好表明:火花室中发生的火花放电仅是由电子所引起的。作者观看了数百张在有清扫电场作用下的放电轨迹照片,未曾发现过因有清扫电场的作用使正离子和电子分开从而形成双轨迹的放电现象。

5. 放电轨迹的宽度

在我们的情形下,放电轨迹的宽度约 2—3 毫米;火花室的空間分辨约 3—4 毫米。图 7 是一粒子对同时穿过火花室的放电轨迹照相。照相条件和图 6 中相同。照相光闌为

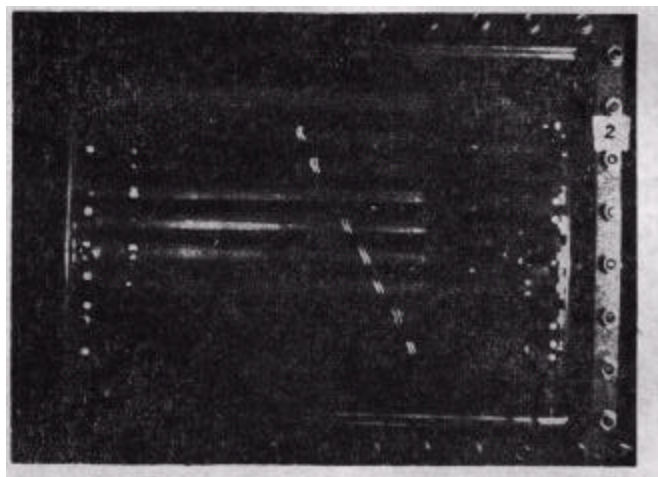


图 7 一粒子对穿过火花室时的轨迹照相, $\theta \approx 30^\circ$

19 单位。

火花室在多个粒子同时穿过它时也可以工作,这时,火花放电强度(轨迹亮度)随着粒子增多而减弱。

五、结 束 语

由于火花室具有好的時間分辨本领和較好的空間分辨本领,相对来说,它的结构又比較简单,因此,它和其他探测器一样,可以被广泛地用来解决高能核物理实验研究中的許多問題。它的較突出的优点是在本底大的情况下可以用来研究稀有事例的过程和特性。例如,有可能利用它来观察研究中微子 ν 和物质的相互作用过程。本火花室将被用来研究 π - p 弹性散射中反冲质子的极化情况。火花室也可以被用来观察粒子的产生和衰

变^[3]。总之,火花室的应用将随着高能核物理实验研究上的需要与可能日益广泛地开展起来。与此同时,火花室本身也将日益发展与完善。目前火花室正处在迅速发展的时期,还有一大部分工作用在研究火花室本身的结构和性能上。

关于火花室中形成倾斜放电的理论机构问题,也是可以研究和探讨的。

最后,作者衷心感谢张文裕教授和 А. А. Тяпкин 的热心指导和帮助。同时,还应该感谢 Б. М. Антонов 同志在具体工作上的帮助。

参 考 文 献

- [1] Fukui, S., Miyamoto, S., *Nuovo Cimento*, **11** (1959), 113.
- [2] Fukui, S., Miyamoto, S., Physical Institute Nagoya University, Japan, Preprint, 1959.
- [3] Spark Chamber Symposium, *Rev. Sci. Instr.*, **32** (1961), No. 5.
- [4] Борисов, А. А., Долгошен, Б. А., Лучков, Б. И., Решетин, А. В., Умаков, В. И., *П.Т.Э.*, № 1 (1962), 49.
- [5] Говоров, А. М., Никаноров, В. И., Петер, Г., Писарев, А. Ф., Позе, Х., *П.Т.Э.*, № 6 (1961), 49.
- [6] Никаноров, В. И., Петер, Г., Писарев, А. Ф., Позе, Х., Препринт, ОИЯИ, 1962, Р-863.
- [7] Тяпкин, А. А., 邹珠連, Препринт, ОИЯИ, 1962, Д-870 (П.Т.Э., № 5 (1962), 84).
- [8] Fukui, S., Hayakawa, S., 等, Proceedings of an International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, 1960, 267.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ

Цзоу Чжу-лянь

Резюме

В этой статье рекомендовано общее положение о искровой камере и описаны конструкция, принцип работы и некоторые характеристики камеры, которая имеет 8 промежутков разряда и внутренний объем которой равен $70 \times 50 \times 50$ см³. Исследованы характеристики искровой камеры при наполнении неоном по 1.4 атмосфера. Результат эксперимента показал, что искровая камера обладает 100%-ной эффективностью регистрации заряженных частиц в более широком интервале импульсных напряжений. Разряды в камере идут по пути ионизирующих частиц и их угол треки, наклонный к направлению поля, приближается к 50° .