

高能探测器的发展状况

杜远才

(中国科学院原子能研究所)

一、引言

高能物理学包括实验和理论两部分。高能物理实验研究所用的工具包括粒子源(加速器和宇宙线)、探测器和数据分析处理设备。因此,在考虑高能物理学的发展时,不能不研究高能探测器的问题^[1]。

高能探测器是以能记录每个能量很高的粒子为特征的。因此,它们应当有好的记录效率(一般要求100%),高的空间分辨本领(能分辨小于2毫米直到几微米),短的死时间(小于1秒直到 10^{-9} 秒)和其他的要求很高的特性,它们的规模也往往是很大的(参看表2和本文的第五节)。而且,随着高能物理的研究能区的提高,对高能探测器的性能的要求也越来越高。高能物理学的发展不断对高能探测器提出新的更高的要求,

这就促使后者不断地推陈出新地向前发展。

二、高能探测器的发展历史

为了说明高能探测器的发展状况,我们把几种主要的高能探测器按年代编表如下(见表1)。

从表1可以看出,从第一代高能探测器—云室出现以来的六十多年里,每隔十年都有一种或几种高能探测器出现或开始应用,并且很快就给高能物理做出新的重大的贡献。例如核乳胶在1945年开始应用于高能物理,1947年就发现了具有高能物理的划时代意义的 π 介子。又如火花室,它是1959年才应用的,仅过了两年,即到1961年就发现了中微子有两种,给高能物理带来了重大贡献。高能探测器的这样高速发展的情况很值得我们注意。

表1 几种主要的高能探测器的编年表

探测器类型	发明或开始应用的年代	主要的发现和贡献
(1) 云室	1912 ^[1]	发现 e^+ , μ^+ , μ^- , K^0 , Λ , Ξ^- 等粒子
(2) G-M 计数管	1928 ^[2]	发现簇射现象和罗西效应;云室的触发选择事例及其他应用。
(3) 契伦科夫计数器	1934 ^[3]	与闪烁计数器一起发现 \bar{p} , \bar{n} ; 高能粒子的鉴别及其他的广泛的应用。
(4) 核乳胶	1945*	发现 π^+ , π^- , K^+ , K^- , $\bar{\Lambda}$, Σ^+ 等粒子;目前应用于高空宇宙线研究。
(5) 闪烁计数器	1947*	与契伦科夫计数器一起发现 \bar{p} , \bar{n} ; 到目前为止仍在高能中广泛应用。
(6) 汽泡室	1952 ^[4]	发现 Σ^0 , Ξ^0 , Σ^+ , Σ^- , ρ^- , \bar{Q}^- 以及一百多种共振态;目前仍在加速器上广泛应用。
(7) 火花室	1959*	发现中微子有两种 ($\nu_e \neq \nu_\mu$); 目前已广泛应用到加速器和宇宙线。
(8) 多丝正比室	1968 ^[5]	以大量的统计检验弱作用把 CP 不守恒量提高 40%; 现正逐步广泛应用。
(9) 漂移室 ^[7,8]	1972*	现正在开始应用于高能。

注:有*号者是指开始应用的年代。

三、目前常用的高能探测器的简单介绍

1. 多板火花室

多板火花室的工作原理如下:在充有某种气体的密封容器里放置两个平行板电极,其中一个接地,另一个接高压。当带电粒子通过这个容器时,由触发线路给出的符合信号把高压加到这两个电极上,此时在这两个电极之间,在粒子通过的路线附近打火花,因而可以用照相方法把这个粒子的径迹记录下来,这就是最简单的多板火花室。多板火花室的放电机制是电离电子的雪崩过程导致火花击穿。

2. 丝火花室^[9]

丝火花室是在多板火花室的基础上发展起来的,因为它的电极由互相垂直的两个金属丝平面所组成,故称为丝火花室。当火花室打火时,在很短的时间内,由于电子雪崩,在两电极间在带电粒

子的通道附近出现瞬间电流。因此,可以通过磁芯系统或磁致伸缩系统把粒子的通道的坐标记录下来。

3. 流光室^[10,11]

如果加到火花室的电极的高压脉冲被限制得很窄,例如5—50ns,则带电粒子所产生的电子的雪崩只引起流光而不产生火花放电。这些流光的中心可以显示出粒子的径迹。

4. 多丝正比室

多丝正比室实际上是在正比计数器和丝火花室的基础上发展起来的。它的电极由三个丝平面所组成,中间的丝平面为阳极,上下两个丝平面为阴极。所用的高压是在正比区。当带电粒子通过时,则产生电子雪崩。当离子在电场中运动时,阳极上产生一个负脉冲。该脉冲是正比于该粒子的电离损失的。而且产生脉冲的空间坐标即该粒子的径迹坐标由互相垂直的丝平面读出。

5. 汽泡室

汽泡室的基本原理是利用过热液体的亚稳状态。当室内被压缩的工作液体突然膨胀后,这时该工作液体即处于过热的亚稳态,即室内的压力低于该液体此时的平衡蒸汽压。当带电粒子通过处于这种过热亚稳态的液体时,沿着粒子的径迹附近产生汽泡。

6. 契伦科夫计数器

当高能带电粒子通过电介质时,在粒子路线附近产生局部的极化。当该带电粒子过去后,极化了的分子马上恢复到原来的状态因而发光。当粒子的速度小于光在该介质中的传播速度时,则单个分子的光互相干涉、互相抵消;如果粒子的速度大于光在该介质中的传播速度,则这些光互相加强,因而发生契伦科夫辐射。契伦科夫计数器可以利用辐射角来测粒子的速度。阈契伦科夫计数器可以用来选择粒子。

7. 闪烁计数器

当射线或粒子穿入闪烁体时,它所损失的能量的一部分可以转换为荧光。这些荧光传到光电倍增管即产生脉冲而被记录。因为有机闪烁体的发光时间短到 10^{-9} 秒,所以能得到一个很快的电脉冲,故能成为快速的高能探测器。

8. 核乳胶

原子核乳胶是一种特殊的照相乳胶。它的晶粒特别小,特别均匀而且晶粒密度特别大。当带电粒子通过时,在它的通道附近,乳胶中的卤化银晶粒受到某种改变,因而成为潜象中心。经过显影之后,即可在显微

镜下观察到粒子的径迹。

为了对各种高能探测器进行比较,我们把它们的一些主要特征编成表2。

表中第二栏“灵敏时间”是指这样的时间间隔,即从探测器被选择触发(对于能选择触发的探测器)或开始等待指定的事例(对于汽泡室来说是膨胀开始)直到事例被显示出来为止的这段时间、在这段时间里,探测器除了对所需要的事例是灵敏的之外,对于不需要的本底事例也是灵敏的。因此,为了减少本底的干扰,这段灵敏时间越短越好。

表中“大小限制”一栏是指目前已经达到的最大尺寸。以m表示者是指长度若干米,以 m^2 表示者为面积若干平方米,以 cm^3 表示者为体积若干立方厘米。

表中的建造难度、造价、运转和备注等四栏都是相对而言的,不是指绝对的意思。例如说某种探测器相对于其他探测器在建造难度方面简单,并不是说是轻而易举的。如固体探测器虽然简单,但还有许多问题没有解决。

表中后面带有“*”号的探测器,目前还未能应用于高能实验,只是为了比较而列上的。

表中的一些性能的数值如果没有标出数值的范围,则是指目前已到达的最佳数值。

四、高能探测器的物理应用

下面简单地介绍高能探测器的物理应用情况。

1. 多板火花室

多板火花室的主要优点是建造简单、造价便宜,安排灵活,可以造得很大。如果单个的不够大,则可以成批地积木式地安排成所需要的各种形状和大小而成为多板火花室系统或谱仪,所以它特别适合做弱相互作用实验和其他稀有事例的实验。例如反应堆的中微子能量为几个MeV时的作用截面为 $10^{-43}cm^2$,加速器的15GeV质子所产生的中微子(平均能量约500MeV)的作用截面也只有 $10^{-38}cm^2$ 。所以研究弱作用时必须有很大的靶子和很大的探测器。多板火花室正好符合这些条件。而且在这方面,别的探测器目前是不能和多板火花室相比的。自然界中有两种中微子这一重大发现就是利用多板火花室做出来的^[12]。目前正在大量使用多板火花室进行寻找中间玻色子、层子和其他新粒子以及研究中微子、 μ 介子的性质和其相互作用。由于多板火花室是可以触发的,故它除了广泛应用于加速器实验之外,在宇宙线实验中也得到广泛的应用,例如宇宙线的粒子谱仪以及各种宇宙线粒子的量能器。它既可以用于地面、地下和高山,也可以用于高空实验(用电视照相方法)。

表2 高能探测器的性能比较

探测器类型	灵敏度时间	死时间	效率	多重效率	空间分辨	能否触发	能否测电离	方向均匀性	能否数字化	大小限制	建造难度	造价	运转	备注
多板火花室	10^{-6} 秒	10^{-3} 秒	~100%	<100%	1mm	能	否	<45°	否	很大	很简单	贱	很简单	大、简单、灵活、便宜,但空间分辨不够
丝火花室	10^{-6} 秒	10^{-1} 秒	100%	100%	60—100 μ	能	否	<45°	能	3m	难	中等	简单	时、空分辨还好
流光室	10^{-6} 秒	< 10^{-3} 秒	100%	100%	0.5—1mm	能	能	有	否	8m	难	中等	简单	方向均匀性较好
多丝正比室	< 10^{-8} 秒	10^{-8} 秒	100%	~100%	0.1—2mm	能	能	~45°	能	3m	难	贵	简单	相当快,造价问题有待解决
漂移室	10^{-9} 秒	5×10^{-9} 秒	100%	~100%	50—200 μ	能	能	~45°	能	16m ²	难	不贵	困难	1972年开始试用用于高能实验
闪烁仪	10^{-6} 秒	10^{-6} 秒	~100%		~3mm	能		有	能	3m	简单	中等	简单	空间分辨差,现已逐步被火花室代替
云室	10^{-1} 秒	1—600秒	100%	100%	~0.5mm	能	能	有	否	2m	难	贱	简单	太慢,近年来已很少用
汽泡室	10^{-3} 秒	0.1秒	100%	100%	0.1—0.5mm	否	能	有	否	5m	难	贵	困难	密度大、作用点可见,但太贵,宇宙线不能用
核乳胶			100%	100%	1 μ	否	能	有	否	10 ³ cm ³	不难	低		小巧灵活;分析困难
固体探测器			依赖于dE/dx	依赖于dE/dx	10 μ	否	能	有	否	30m ²	简单	贱		很大;对记录小的dE/dx问题还没解决
氙闪光灯	(1—40)×10 ⁻⁶ 秒	10 ⁻³ —1秒	60—90%	60—90%	0.3—1cm	能	否		能	40m ²	简单	贱	简单	大、简单、便宜;空间分辨差
闪烁计数器		10 ⁻⁹ 秒	~100%	无		否	能		能	1m ²	不难	中等	简单	这两种探测器一般不单独使用而是配合其他探测器工作
契伦科夫计数器		10 ⁻⁹ 秒	100%	无		否	能		能	30m	难	中等	简单	
液正比室	10^{-7} 秒	10^{-6} 秒	100%	100%	10 μ	能	能	~45°	能		难	贵	难	小巧,适合于小体积实验
*过渡辐射室							能		能		难	贵	难	过渡辐射强度与 γ 成正比,但弱
*超导探测器		10 ⁻⁷			5 μ	能			能					

2. 丝火花室

丝火花室的时间和空间分辨本领都比多板火花室好,但结构比多板火花室复杂很多,造价也比多板火花室高得多,故它的大小受到一定的限制。丝火花室现正逐步取代闪烁体描述仪,并可用于快速大统计的事例的积累,它也是既可用于加速器也可用于宇宙线的,例如用于宇宙线中找寻新粒子和研究稀有过程。

3. 流光室

和多板火花室及丝火花室相比,流光室的最大优

点是各向同性和可以测量电离度。它记录多粒子事例的效率很高,又因为流光还没有发展成为火花放电,所以死时间较前两者小得多。因此它特别适合于快速的、多粒子的复杂事例的研究。在加速器上,它可以部分地代替汽泡室。

4. 多丝正比室

多丝正比室在记录速度方面接近最快的契伦科夫计数器和闪烁计数器。它的空间分辨本领也不错,而且能给出带电粒子的电离度,又能自己选择事例。它所记录下来的事例可以根据需要通过荧光屏直观地显

示出来。因此,它是兼备径迹室和电子学探测器的优点的高能探测器。它在 CERN 的 28 GeV 的质子加速器的一个脉冲中可以记录下 2000 个事例,这说明它是高速度的。它是 1970 年底才开始应用于高能实验的。1971 年,它就大量的统计把 CP 不守恒量提高了 40%,并以大量的统计重新测量了 K_1^0 介子的寿命,发现和理论值有 4% 的差别。目前它正在逐步应用到高能实验的各个领域。由于它的输出脉冲的幅度正比于入射的带电粒子的电离度,所以单个的多丝正比室就能鉴定能量不太高的作用以后的次级粒子。如果把多个多丝正比室组成一个谱仪,则可以利用统计分布的办法鉴别能量很高的带电粒子,直到 $r \gg 1$ 。

5. 漂移室

漂移室是最近才在多丝正比室的基础上发展起来的^[7,8]。其基本原理如图 1 所示:

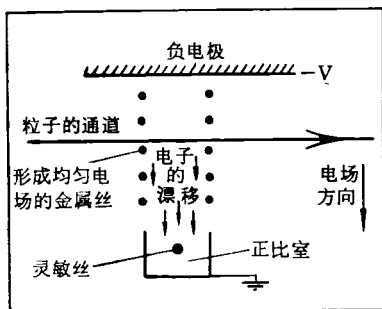


图 1 漂移室的原理示意图

当带电粒子通过漂移室时,在室内的工作气体中产生电离电子。这些电子在电场的作用下向正比室的灵敏丝漂移。由于使电子漂移的电场是均匀的,故电子漂移到灵敏丝的时间是入射粒子到灵敏丝的距离的函数。因此漂移室的空间定位是比较准确的,现在已做到小于 100μ ,有的已达 50μ 。单个的漂移室的时间分辨已达到 $14ns$,如果用一组漂移室则可以达到 $5ns$ 。漂移室具有多丝正比室的各种优点,并且在空间和时间分辨本领方面都超过了多丝正比室。而且漂移室的造价比多丝正比室低得多,甚至比丝火花室还低。所以,漂移室是一种很有发展前途的高能探测器。现在美国 NAL 实验室已经拥有用 4 米 \times 4 米的漂移室组成的磁谱仪,用以测量中微子实验中的 μ 介子。CERN 已经用漂移室研究中性 K 介子的轻子衰变。

6. 汽泡室

目前使用的主要是氢泡室和重液泡室。汽泡室的一个重要的优点是室内的工作液体本身是一个可见的靶子。氢泡室的工作液体就是纯质子,因此可以得到干净入射粒子与质子的相互作用事例。重液泡室对

记录光子和中微子较有利。泡室的空间分辨本领不错,而且能测量电离度。所以,从全面的综合性能来看,目前它还是径迹室中的优秀者之一。现在所有的加速器实验中,用泡室做的仍占二分之一以上。但是,由于泡室取得数据的速度较慢而且结构复杂、工程浩大、造价高昂,所以在将来的高能实验中汽泡室占的比重有可能下降。

7. 契伦科夫计数器

它目前的主要用途仍然是用以区分高能粒子和粒子速度的选择。不过,由于目前所研究的高能物理的能区越来越高,所以它的长度越来越长,结构越来越复杂。

8. 闪烁计数器

到目前为止它还是速度最快的探测器之一。目前它的最广泛的用途是触发其他探测器和选择事例,也还有用作实验中的主要探测器的。

9. 核乳胶

它的主要优点是小巧、灵活和密度大。目前主要用于高空宇宙线实验。近年来在 X 光片指示下做成面积很大的乳胶室,以研究高能宇宙线粒子。

10. 液氙正比室^[13]

它的工作原理实际上是充液氙到正比室里以密度大的液体代替密度太小的气体。它的密度很大,从充气体的 $\sim 10^{-3}g/cm^3$ 提高到充液氙的 $\sim 3g/cm^3$,其原子序数也相当高 ($z=54$),故记录光子效率高。其空间分辨本领可比充气体的提高 100 倍,目前已达 10μ ,它的能量分辨本领也相当好(可以和 NaI 晶体相比并可以做到更好)。它的记录速度也很快,死时间已减少到 10^{-7} 秒。如果把它放于磁场中,则因为它的厚度很小,要求磁极间距离不大,因而可以大大减少磁场的消耗功率。所以它特别适合于高空的小体积的实验。

五、高能探测器最近发展的动向

长期以来,各国的高能实验室都有一些人专门研究高能探测器的新技术和新原理。近年来,已经取得了一些新的进展。这些新技术、新原理概括如下^[7,14]:

1. 高能全吸收或高效率探测器

这大多是由闪烁计数器、正比计数器、多丝正比室、漂移室、火花室等灵活安排而成。例如所谓量能器就是一种。汽泡室也越造越大,现在已经建成了 15 英尺的氢泡室。

2. 大体积和特长的以及新的契仑科夫计数器技术

其用途是把几百 GeV 能量范围的各种粒子分开。例如要把 π 介子和 K 介子分开直到 300 GeV, 则要求契仑科夫计数器的速度分辨本领 $\Delta\beta/\beta$ 小于 4×10^{-7} , 故其长度达几十米。现在有人研究粉末契仑科夫探测器^[14], 其折射率可以从 $n = 1.05$ 到 1.20, 以填补目前的空白。

3. 提高记录速度

多板火花室的速度比云室快一千倍, 丝火花室比多板火花室快一百倍, 而多丝正比室又比丝火花室快一千倍。最近出现的漂移室比多丝正比室还快。汽泡室也力图提高其速度, 可望达到每秒工作 60 次^[7]。超导泡室也正在研制^[16]。

4. 提高空间分辨本领

丝火花室已经做到每毫米 8 根丝, 在 AGS 加速器实验中给出的空间分辨本领为 $60-100 \mu$ ^[17]。液氩正比室的空间分辨本领已达 10μ ^[18]。超导探测器^[18](其原理是: 当带电粒子通过处于亚稳状态的超导丝时, 超导丝的状态改变因而给出信号) 的空间分辨本领可望达到 5μ 。

5. 混合探测器和径迹灵敏靶技术

液氢泡室是一个理想的径迹灵敏(可见)的质子靶。但是已有的氢泡室对于今后的高能物理实验显出两个严重的缺点, 即记录中性粒子的效率太低和不能选择事例。近来已在努力克服这些缺点。其办法之一是把一个小的外壳透明的液氢泡室放进重液泡室里并使液氢部分与重液部分同时灵敏。这种技术已经成功^[19]。现在世界上已有的大汽泡室都打算改装成内放有氢泡室靶子的重液泡室, 以便既保证入射粒子与纯质子相互作用, 又能有效地记录中性粒子。第二个办法是造一个快速运转(例如每秒工作 30—60 次)的小氢泡室配合其他快的电子学探测器使用^[7]。当包围着该小氢泡室的其他快速的电子学探测器选择好事例之后再令该泡室进行照相。小的快速运转的氢泡室保证作用顶点是, 质子作用, 并给出精确的几何图象。这样就达到了选择氢泡室事例的目的, 并补充了氢泡室的其他不足。

6. 提高测量能量的准确度和鉴别粒子的能力

液氩正比室的能量分辨已达到百分之十几^[13]。有人企图用正比计数器系统用统计分布的办法来鉴别粒子从而把可鉴别的能区提高到 $r \gg 1$ 。过渡辐射探测器^[20, 21]可望能用于 $r = 500-10000$ 的能区(参看本文

第七节 1)。

六、国外高能实验室的探测器的配置和规模举例

为了说明高能探测器的现状, 我们介绍两套高能探测器作为例子。

1. CERN 的高能探测器的配置

CERN 现在拥有如下主要的高能探测器:

- 1) 2m 氢泡室;
- 2) 4.5m 重液泡室;
- 3) 3.7m 氢泡室;
- 4) Omega 多板火花室磁谱仪(利用电视照相机把光信号变成电信号读出);
- 5) 大的多丝正比室;
- 6) 大的漂移室;
- 7) 丝火花室;
- 8) 大的流光室;
- 9) 大的契仑科夫计数器(25m²);
- 10) 特大的契仑科夫计数器(长度达 23m, 现正在建造);
- 11) 特高超导磁场氢泡室($B=11$ 万高斯);
- 12) 闪烁计数器;
- 13) 高能中子探测器;
- 14) 描述仪、磁谱仪;
- 15) 径迹灵敏的质子靶。

他们现在正在试制过渡辐射探测器和其他新探测器。

由上可见 CERN 具有的高能探测器的种类是很多的, 规模也很大, 并且尽快采用最新技术。按照 1957 到 1964 年的经费开支统计, CERN 用在探测器的费用(约一亿一千万瑞士法郎)和用在加速器的费用(约一亿二千万瑞士法郎)几乎相等^[22], 如果把各成员国自带的探测器的费用计算在内, 则探测器的费用比加速器的费用还多, 可见他们是非常重视发展高能探测器的。

2. 乌兹别克的宇宙线探测器

由于高能物理学越来越往更高的能量区域发展, 所以高能探测器的规模越来越大, 技术越来越复杂, 越来越需要各种探测技术互相配合。对于加速器的实验是如此, 对于宇宙线实验也是如此。

例如乌兹别克的 3200 米高山宇宙线观测站的探测器的规模就很庞大。其有效面积为 10m^2 , 孔径为 $3\text{m}^2\text{sr} = 3 \times 10^4 \text{cm}^2\text{sr}$ ^[23]。

这样大的规模是由下面的因素决定的: 在海拔 3200 米高度, 在宇宙线中, 能量大于 10^{13}eV 的核作用

粒子流很弱(因为加速器已经达到了 10^{13}eV 的能区,宇宙线工作只好选择大于 10^{13}eV 的能区), $I(E \geq 10^{13}\text{eV}) = 1.7 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。要想在一年内(以 6000 小时即 2×10^7 秒计算)能够记录 100 个能量 $\geq 10^{13}\text{eV}$ 的核作用粒子,必须要求探测器的孔径为 $3 \text{ m}^2\text{sr}$ 即 $3 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{sr}$ 。如果探测器的孔径只有 $300 \text{ cm}^2\text{sr}$ (相当于长度为 1.5 米、宽为 0.7 米、高度为 6 米的探测器),则这个实验要用 100 年时间才能完成。由此可见在宇宙线实验中,高能探测器具有大面积乘立体角的重要。

该探测器系统除了面积乘立体角很大之外,其组成也很复杂。其组成如下:

- 1) 宽间隙火花室,有效面积为 2.6m^2 ,
- 2) 契仑科夫计数器 25 个每个为 $300 \times 60 \times 60 \text{ cm}^3$,
- 3) 电离室,
- 4) LiI 靶。

七、对高能探测器的展望与设想

由于高能物理日益往更高的能区、更大的统计、更精确的测量以及研究更稀有的事例方面发展,现有的高能探测器是不能满足这些要求的。现有的高能探测器有如下的困难需要解决:

1. 鉴别高能粒子问题

目前高能加速器已向 1000 GeV 的能区发展,而现有的高能探测器对于鉴别能量大于 1 GeV 的相互作用后产生的次级粒子已经显得无能为力。虽然契仑科夫计数器可以分辨能量直到 300 GeV 的带电的单个的入射的初级粒子(这时已经需要把它的长度增加到几十米!),但是对于 500 GeV 以上的单个的入射粒子的分辨也是无能为力的(因为它只是对 β 灵敏,而这时的 β 已经非常接近于 1 了。显然契仑科夫计数器不能造得无限长!)。况且,契仑科夫计数器是不能用于鉴别相互作用后同时产生的大量的次级粒子的。因此,高能相互作用的研究所受到很大的限制。粗略地说,加速器已经往 1000 GeV 发展,而探测器还基本上停留在 1 GeV 的水平。

解决这个困难的希望可能寄托在过渡辐射探测器上^[20,21]。

过渡辐射现象早在 1946 年已经预言了^[24]。当带电粒子通过不同的介质的边界时产生的辐射叫做过渡辐射。但因遇到技术上的困难,即这种辐射太弱,故长期以来不能用作探测器。现在这个问题已用增加介质的边界的办法逐步解决。过渡辐射探测器的主要优点是能较好地鉴别能量较高的粒子,因为过渡辐射的强度正比于洛仑兹变换因子 γ 。在鉴别粒子方面,它可能比契仑科夫计数器好得多,可以用于高得多的能区,例

如 $\gamma = 500 - 10000$ 的能区,对于质子来说,也就是说可以鉴别到 10000 GeV 。只要知道了粒子的能量 E (在很高能量时, E 在数值上等于动量 P ,而动量 P 是可以由磁场测得的,故可以把能量 E 准确地测出),又由过渡辐射定出 γ ,则可由公式 $E = \gamma M_0$ 算出该粒子的静止质量 M_0 ,即该粒子被鉴定了。

现在过渡辐射探测器的研制已经有了很大的进展^[21],但离真正用于实验还有一段距离。顺便指出,目前国外正在研制的过渡辐射探测器只是起类似于契仑科夫计数器的作用,即只是电子学探测器,虽然它可以用于高得多的能区,但还不能解决鉴定相互作用后同时产生的大量次级粒子问题。如果能把过渡辐射和径迹室结合起来,即把每个粒子的径迹和与其相应的过渡辐射都记录下来,则这个问题就可以解决。

2. 大的统计、精确的测量与稀有事例的研究问题

如果能想象把探测器的体积无限地增大的话,这个问题就不大了,事实上,不能把探测器的体积造得十分庞大(因为工程上的困难和造价很高),所以,看来只能从提高探测器的空间和时间的分辨本领以及采用超导磁场以提高磁场强度等方面来解决。最近出现的漂移室看来是比较有发展前途的。另外,如果能用全息摄影术来装备快速运转的有氢泡室作为靶子的重液泡室(以下简称为“全息径迹室”),则对解决这个问题有重大意义。径迹室有它的直观性的优点。但到目前为止所有用照相方法的径迹室只给出粒子的局部的信息,并且很慢。所谓立体照相也只不过是两个照相机镜头拍下两个平面的照片罢了(即使使用多个照相机,但真正有用的也只是其中的一对照片)。也就是说,只从一个角度记录事例。而且由于镜头的景深和其他象差的限制,只能记录下事例的不大的一部分信息而且有一定的畸变。在拍下照片以后,事例的挑选,到目前为止,主要是靠人来扫描(因为扫描过程比较复杂,自动化扫描只会选择简单的图象)。而这些现有的径迹室的困难可以用“全息径迹室”来解决。全息照相可以给出更全面的信息而且摄影过程很快。因为它可以给出好得多的立体图象,故可大大增加扫描的速度和准确度,这就便于发现稀有的复杂的新奇事例。而且全息照相是可以数字化的,故可以大大提高事例的测量分析和数据处理的速度。

本文曾在有关的会议上介绍过。作者对在撰写本文时曾经给予帮助的彭桓武、唐孝威、郑民以及其他同志表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 张文裕,朱洪元,汪容,杜远才,何祚庥,吴宗藩,《原子能》,1(1966),1.

- [2] Wilson, C. T. R., *Proc. Roy. Soc., London, Series A*, 87-595 (1912), 277.
- [3] Geiger, H., und Müller, W., *Phys. ZS.*, 29-22 (1928), 839.
- [4] Черенков, П. А., *ДАН СССР*, 2 (1934), 451.
- [5] Glaser, D. A., *Phys. Rev.*, 87 (1952), 665.
- [6] Charpak, G. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 62 (1968), 262.
- [7] *CERN Courier*, 13 (1973), 175.
- [8] Charpak, G. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 108 (1973), 413.
- [9] (a) Meyer, M. A., *Nucl. Instr. Meth.*, 23 (1963), 277.
(b) Charpak, G., *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 20 (1970), 195.
- [10] Chikovani, G. E. et al., *Phys. Lett.*, 6 (1963), 254.
- [11] Fries, D. C. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 107 (1973), 141.
- [12] Danby, G. et al., *Phys. Rev. Lett.*, 9 (1962), 36.
- [13] (a) Zaklad, H. et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-19-3 (1972), 206.
(b) *Phys. Today*, 25 (1972), 19.
- (c) Prunier, J. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 109 (1973), 257.
- [14] A. Roberts, *IEEE. Trans. Nucl. Sci.*, NS-19-3 (1972), 122.
- [15] Linney, A. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 100 (1972), 545.
- [16] Brown, R. C. A. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 106 (1973), 573.
- [17] Willis, W. J. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 91 (1971), 33.
- [18] Drukier, A. K., *Nucl. Instr. Meth.*, 104 (1972), 593.
- [19] Ayres, J. F. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 107 (1973), 131.
- [20] Bateman, J. E., *Nucl. Instr. Meth.*, 103 (1972), 565.
- [21] Harris, F. et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 107 (1973), 413.
- [22] *CERN Ann. Report*, (1964), 135.
- [23] Abdullaev, A. M. et al., *Canad. J. Phys.*, 46-10 (1968), S1128.
- [24] Глязбург, В., и Франк, И., *ЖЭТФ*, 16 (1946), 15.

(上接第 33 页)

- [3] Leith, E. N., Upatnieks, J., *Wavefront Reconstruction With Continuous-tone Objects*, *J. OSA*, 53 (1963), 1377.
- [4] Wolf, E., *Progress in Optics*, North-Holland Publishing Company, VI (1967), 3.
- [5] Lehmann, M., *Holography (Technique and Practice)*, Focal Press Limited, (1970), 105.
- [6] Morris, R. E., *The Physical Principles of Holography*, *J. of Photographic Science*, 14 (1966), 291.
- [7] 见 [5] 55 页.
- [8] Albertson, P. D., *Second Conference on the Laser (Annals of the New York Academy of Sciences)*, 168-3 (1970), 475.
- [9] Leith, E. N., Upatnieks, J., *Progress in Holography*, *Phys. Today*, 25-3 (1972), 28.
- [10] Collier, R. J., Burekhardt, C. B., *Optical Holography*, Academic Press, (1971), 450.
- [11] Smith, H. M., «全息学原理», 科学出版社, (1969).
- [12] Bolstad, J. O., *Holograms and Spatial Filters Processed and Copied in Position*, *Appl. Opt.*, 6 (1967), 170.
- [13] *The Promise of Dense Data Storage, Electronic Design*, 17-11 (1969), 59.
- [14] Lamacchia, J. T., *Optical Memories: A Progress Report*, *Laser Focus*, 6-2 (1970), 35.
- [15] Horner, J. L., *Do Computation at the Speed of Light*, *Electronic Design*, 16-23 (1968), 60.
- [16] Brintor, J. B., *Radar, Laser Could Enter Police Arsenal, Microwavers*, 6-4 (1967), 10.
- [17] Caulfield, H. J., *The Applications of Holography*, (1970), 95.
- [18] *Holograms To Get IC Picture*, *Electronics*, 40-7 (1967), 26.
- [19] Vanligten, R. F., Osterberg, H., *Holographic Microscopy*, *Nature*, 211 (1966), 282.
- [20] Глязбург, В. М., Семенов, Э. Г., *Голографическая Интерференционная Микроскопия Биологических Клеток, Доклады Академии Наук СССР*, 202-2 (1972), 313.
- [21] 见 [8] 522 页.
- [22] *It May Emit X-Rays But Is It A Laser? Laser Focus*, 8-11 (1972), 8.
- [23] *Method and Apparatus for Speckle Reduction in the Reconstruction of Holographic Images*, 3, 490, 827 (U.S.), Patented Jan 20 (1970).
- [24] Leith, E. N., Upatnieks, J., Hildebrand, B. P., *Requirement for A Wavefront Reconstruction Television Facsimile System*, *J. SMPTE*, 74 (1965), 893.
- [25] Lehmann, M., *Holography (Technique and Practice)*, (1970), 133.
- [26] Gabor, *Seeking A Holographic Method to Detect Cancer and Heart Ailment*, *Laser Focus*, 8-1 (1972), 19.
- [27] Sikov, M. R., *Holosonics to Offer Cancer Detector in 72 Based on Acoustic Holography*, *Laser Focus*, 7-12 (1971), 16.
- [28] 见 [25] 128 页.
- [29] Collier, R. J., Burekhardt, C. B., *Optical Holography*, Academic Press (1971), Preface.