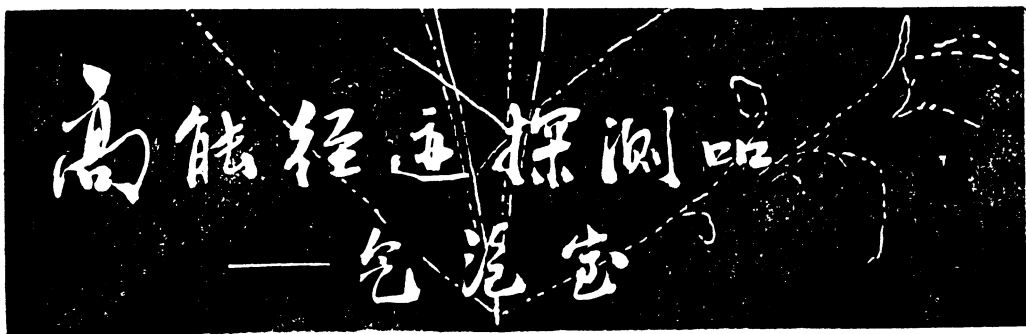




姚蜀平

在高能物理的研究中,要了解“基本”粒子的性质、结构及其相互作用、相互转化的规律,必须用高能加速器产生高能量的粒子炮弹,去轰击这些粒子,变革它们,看看会发生些什么情况。但是,粒子太小了,肉眼根本看不见,而且粒子发生碰撞的一瞬间变化又是十分复杂,怎么办呢?这就要用高能探测器了。高能探测器是记录和测量粒子的工具,它和高能加速器都是高能物理研究不可缺少的工具。如果没有探测器,加速器虽然也能在应用科学方面做出贡献,但在向微观世界进军的基础研究方面,只能是显示一下人们的智慧和力量,而不会给出任何物理上的成就。因此,随着加速器的出现,探测器技术也不断发展,气泡室就是由于高能加速器的发展,应时而生的一种径迹探测器。

高能探测器可以分计数器探测器和径迹探测器两大类。气泡室是继云室、核乳胶之后的又一径迹探测器。它既是靶又是探测器,可用来拍摄有极为清晰的作用顶点并可永久保留的立体图象,有很好的空间分辨率;工作频率又可以和加速器很好匹配,进行大面积快速扫描,有较好的时间分辨率。

气泡室为什么能有效地探测加速器出来的高能带电粒子,它是怎样工作的,它的历史、现状和前景怎样,这里简单地作一介绍。

### 气泡室的原理

我们知道,水加热时会发生汽化。这种汽化不仅在液面,还会在内部进行,有一些气泡不断出现,并升到液面。当温度升到 $100^{\circ}\text{C}$ 时,这种汽化剧烈地进行,水就沸腾了。这种沸腾是在一个大气压下发生的。如果我们加大压力,那么水在 $100^{\circ}\text{C}$ 时也不会沸腾。当压力突然降到饱和蒸汽压以下时(如对 $100^{\circ}\text{C}$ 的水,压力下降到一个大气压以下),液体就处于一种过热状态,如果局部地方热量集中,就很容易以此为中心生成气泡,液体不断向气泡蒸发加大气泡,从而引起沸腾。

气泡室就是根据这个普通原理设计的。在容器内充以一定温度和压力的某种液体,然后使容器突然膨

胀,降低压力,液体就处于过热状态。这时如果带电粒子穿过液体,在粒子经过的途中,引起液体电离,就形成一些汽化“核”。以这些“核”为中心,形成一串胚胎气泡,胚胎气泡长到肉眼可见的大小时,把它们拍照下来,就是我们所要的粒子径迹照片。粒子径迹是由一串气泡组成,这就是气泡室名称的由来。

气泡室的设计就是要选择适当的温度和压力,使胚胎气泡长大为可见气泡,而整个液体又不会沸腾,在这几毫秒的灵敏时间内,进行闪光照相,清晰的粒子径迹就成了永久保留的照片了。

### 气泡室的发展

1952年格莱塞发明了气泡室。他制作的第一个泡室只充了大拇指那么多的乙醚液体。这是一个小玻璃容器。以后又出现了金属容器泡室。1954年,第一个液氢泡室诞生,这对利用泡室进行“基本”粒子的研究极其重要。氢泡室的工作液体是液氢,氢的原子核就是质子,因此氢泡室提供的“作用靶”是纯质子,比其他工作液体有利。其他工作液体成分复杂,“作用靶”是复杂的原子核。鉴于各种“基本”粒子与质子的相互作用是高能物理的重要研究课题,所以入射粒子可以直接与质子作用的氢泡室就成了较为理想的高能探测器了。

1959年第一个大的氢泡室——72吋氢泡室在美国伯克莱建成,并成功地进行了物理工作。以后又相继出现了欧洲核子研究中心2米氢泡室和美国布鲁克海文国立实验室80吋氢泡室。它们被称为第二代泡室。

六十年代是泡室的全盛时期。世界各个高能物理实验室都建造了泡室,用泡室做的物理工作约占全部高能实验工作的70%。泡室照出的几千万张照片分散到世界各个高能物理实验室和大学进行分析和研究。

泡室的技术经不断改进和革新之后,又出现了第三代的低温大泡室。这种泡室不仅体积大,而且采用鱼眼光学系统和超导磁体等新技术。例如美国阿贡国立实验室的12呎氢泡室、布鲁克海文国立实验室的7呎氢泡室(见封3)、费米国立实验室的15呎氢泡室以

及欧洲核子研究中心3.7米氢泡室。这些泡室的技术复杂、规模庞大，其中制冷系统就象个小化工厂。3.7米氢泡室的大厅高达二十多米，十分壮观(见照片)。

## 气 泡 室 的 贡 献

用泡室可以进行强相互作用、弱相互作用及电磁相互作用等方面的高能物理研究工作。

在强相互作用方面，1958年至1965年，发现了28种共振态，其中大多数都是用泡室发现的。同时也对共振态的量子数、衰变方式和分支比等进行了广泛的研究。

例如1960年，用美国伯克莱实验室的6.2GeV质子加速器产生的1.15GeV/C的纯 $K^-$ 束照射伯克莱的15吋氢泡室，发现了共振态 $Y^*(1385)$ 。1961年用1.6GeV/C反质子束照射伯克莱的72吋氢泡室，发现 $\omega$ 介子。1963年发现 $Y^*(1520)$ 并测定了它的自旋——宇称。

泡室也用来发现寿命比共振态长得多的新粒子。例如1959年，我国著名物理学家王淦昌领导的小组，曾用联合所的24升丙烷泡室，在8GeV/C的 $\pi^-$ 束中首先发现了反西格马负超子( $\bar{\Sigma}^-$ )。

布鲁克海文国立实验室从1963年开始用5GeV/C $K^-$ 介子束照射80吋氢泡室。到1964年共得100,000张照片， $K^-$ 径迹总长达 $10^6$ 呎。1964年1月得到一张照片，发现了 $\Omega^-$ 超子。从这个例子也可看出高能实验物理工作的艰巨性和细致性。

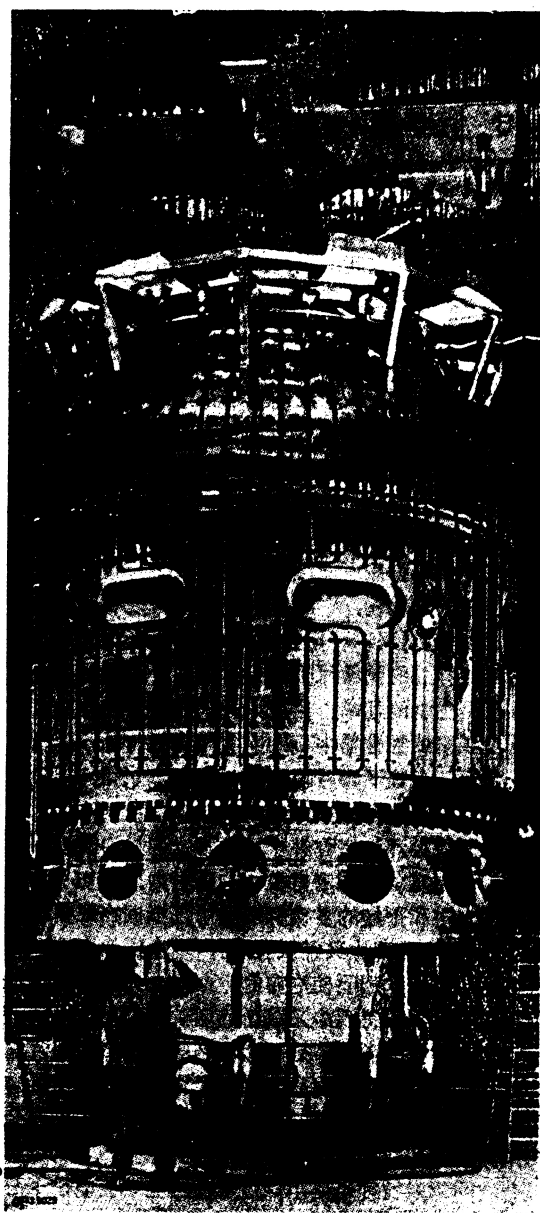
此外，还有一些工作，例如研究串级共振态 $\eta'$ (衰变成共振态 $\eta$ 和 $\pi$ 介子)和各种超子性质等等，就只能利用泡室来做。

泡室在弱相互作用领域也做了大量的工作。主要是了解奇异粒子的衰变性质，如研究 $\Sigma^+$ 超子的衰变。特别应该提到的是用泡室进行中微子的研究。

太阳、其它天体以及高能相互作用中都有大量中微子存在，但是因为它只参与弱相互作用，可以穿透很厚物质而不发生作用，所以想要捕获和研究它们极为困难。近年来，人们利用高能加速器产生 $\pi^+$ ， $K^+$ ，这些粒子会衰变产生中微子。 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ ， $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ 。当束流经过大量屏蔽体时，各种粒子都被吸收，唯独中微子畅通无阻。让从屏蔽体出来的中微子束流向泡室，就能很好地研究神奇而难得的中微子相互作用事例了。对中微子的研究可以发现很多新现象，如前不久发现的弱作用中性流就是光辉的例子。

研究中微子常用重液泡室。重液的主要特点是密度大，因而辐射长度短。辐射长度是指在核场中运动的电子，由于发射光子，能量减少到 $1/e$ 时走的距离。辐射长度短就意味着能在一定体积的泡室内更有效地探测 $\gamma$ 光子及电子对产生。

带径迹灵敏靶的大型低温泡室也适于研究中微



子。目前已成了世界各大泡室的主要研究课题。

## 气 泡 室 的 展 望

随着高能物理的发展，在研究强相互作用时，有时需要比目前最大泡室照的片子还大一个数量级的高统计实验。而过去某些泡室一年照的片子，分散给许多单位联合分析，十年尚分析不完。因此，如何处理泡室照片成了一个突出的矛盾。另外，随着加速器能量的增加，仅用泡室来分辨粒子有困难。高能量粒子大部分是朝前的，在泡室内径迹曲率极小，无法测量粒子的动量；而且当粒子能量大于1GeV时，就不容易根据气泡密度来分辨各种粒子。

鉴于上述原因,出现了新型混合泡室——泡室和电子学探测器的复杂组合。在这种混合系统中,泡室作为顶点探测器,保留了有清晰作用顶点和永久图片等优点。另外在束流进入泡室前(称为泡室上游)和次级粒子从泡室出来以后(称为泡室下游)安放了许多其它的探测器。如多丝室、漂移室、契伦柯夫计数器以及磁铁等等。用这些探测器确定进入泡室的粒子及从泡室出来的粒子的空间位置、角度、动量和速度。一般泡室下游要更复杂些。还可确定粒子的多重态,对事例作在线处理或离机分析。

混合系统有两种:触发型和非触发型。前者是在泡室下游探测器选择了我们需要的事例时才闪光照相,后者是每次膨胀都照相,而下游把信息贮存在磁带里以备后用。

在触发型混合系统中,为了与计数器联用,必须提高泡室的膨胀速率,这就出现了快循环泡室。快循环泡室是指每秒膨胀十次以上的泡室,这种泡室的下游系统可以选择触发。它最适于用在脉冲频率高的电子直线加速器上(用于一般加速器时,对束流要进行适当改装),这样总的灵敏时间大大增加了,因而提高了有价值事例出现的几率。目前,最大的快循环泡室是美国斯坦福直线加速器中心的40吋氢泡室,每秒膨胀12次。最近还新建了15吋氢泡室,它是第一个电磁驱动、超导磁体的快循环泡室。该泡室每秒膨胀40次。

由于快循环泡室弥补了不可触发选择的缺陷,因此它对泡室实验工作者有极大的吸引力。再加上混合系统在上游和下游的各类探测器可以根据物理要求灵活布局,泡室的照片又经触发选择,不会因太多而积压数年无法分析。因而使泡室的生命力大大增加。泡室在高能实验物理行列中又以新的面貌出现。

泡室的另一项改革是前面提到的径迹灵敏靶。这是在氢氟混合液中间放一个盛有纯氢或氘的透明容器。泡室膨胀时,两种液体同时灵敏,相互作用顶点会清楚地出现在纯氢容器里。由于氟的辐射长度小,氢氟混合液的辐射长度也变小,这对探测光子及电子十分有效。近年来,为了更好地进行高能中微子的研究,在带径迹灵敏靶的低温大泡室下游,再加上许多电子学探测器,形成更复杂的混合系统,使泡室技术日臻完善。

泡室具有作用顶点清晰,空间分辨率高,可以选择工作液体等一系列优点,因而在高能物理研究中占有重要的地位。今天,世界许多著名大泡室在探索微观物质结构的征途上各显神通;新出现的变化万千的混合泡室也初露头角。过去几个著名的大型泡室,如欧洲核子研究中心2米氢泡室,在照了四千万张照片,做了六百多项物理工作后已经拆除;伯克莱72吋氢泡室也早已停止了工作,现只做为一个展览品供人们参观和学习。它们都出色地完成了历史任务。它们在高能物理实验上所起的重要作用,人们却不会忘记的。