

# 深入探索微观世界

## ——高能物理学的进展和未来

叶志涛

### (一) 探索微观世界的最前沿

人类对微观世界的探索已经经历了几个层次。三十年代初,人们认识到宇宙万物是由原子构成的,而原子是由电子和原子核组成的。电子和原子核通过电磁力相互作用构成原子。1932年发现了中子,从而认识到原子核是由质子和中子组成的。质子和中子通过强相互作用构成原子核。此后,又发现从一种原子核到另一种原子核的变化,是由弱相互作用所引起的,再加上引力相互作用,宇宙间存在着四种相互作用,它们支配着宇宙万物的变化和基本性质,而宇宙万物则是由电子、质子、中子这些“基本”粒子组成的……。六十年代,“基本”粒子已经达到上百种,人们逐渐认识到这些“基本”粒子并不基本,而是具有内部结构的。现在“基本”粒子这一名称已不适用,人们已经认识到“基本”粒子是由更基本的层子组成,层子又由什么组成?人们揭开一面又一面微观世界的帷幕,真是“庭院深深深几许,帘幕无重数”。回顾人们对微观世界认识的层次发展可见,对微观世界的探索包括两个方面:探索微观世界的物质结构;探索微观世界的物理规律。高能物理学就是探索微观物理世界的最前沿的科学。

对于众多的粒子,根据它们的性质可以分为三类:强子、轻子和媒介子。强子是参与强相互作用粒子的总称,质子、中子、超子、 $J/\psi$ 、 $\Upsilon$ 等都属于这类,此类粒子最多,占了粒子种类的绝大部分。它们都是由层子或层子和反层子构成。轻子类,这类粒子仅参与弱相互作用和电磁相互作用,不参与强相互作用,它们有电子、电子型中微子、 $\mu$ 子、 $\mu$ 型中微子、 $\tau$ 轻子、 $\tau$ 型中微子以及这些粒子的反粒子;媒介子,它们传递相互作用,如光子传递电磁相互作用,新近发现的中间玻色子 $W^\pm$ 和 $Z^0$ 传递弱相互作用。光子在实验上早已确认,然而 $W^\pm$ 和 $Z^0$ 虽然早在三十年代就作为假设提出,直至1983年初才为实验所证实,这一发现是人们探索物质奥秘的重要里程碑。至今传递强相互作用的媒介子,早先认为是强子类中的介子族,如 $\pi$ 介子、 $\rho$ 介子等,然而强子是由层子构成的,那么强相互作用必然由层子间相互作用决定,实验上发现的三喷注现象表明传递层子间相互作用的媒介子是胶子。

这样,层子(u、d、s、c、b以及它们的反粒子),轻子(e、 $\nu_e$ 、 $\mu$ 、 $\nu_\mu$ 、 $\tau$ 、 $\nu_\tau$ 以及它们的反粒子)和媒介子( $\gamma$ 、 $W^\pm$ 、 $Z^0$ 以及胶子)应是处于同一层次的粒子,它们是

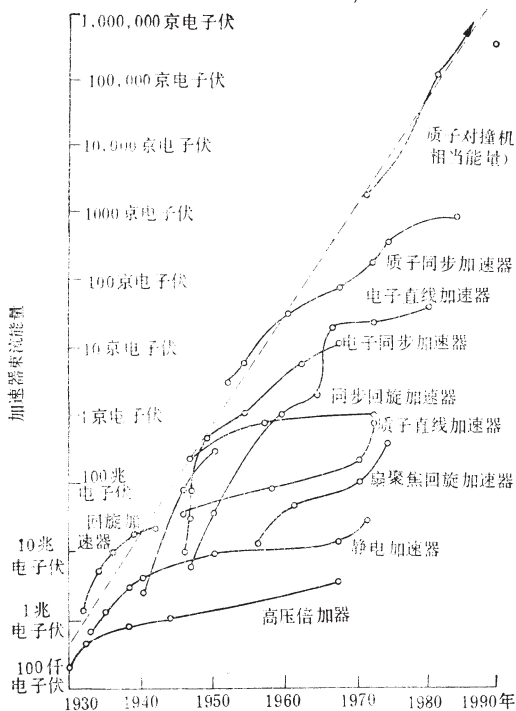
(目前认识范围内)组成物质的最小单元。至今,在现有加速器能量范围内还未有直接的实验表明它们具有内部结构,从理论上将它们处理为点粒子,这正像原子物理这一层次将原子核处理为点粒子一样。此外,实验事实还表明每一种层子具有三种不同的颜色,因此,连同反层子应有三十种,轻子有十二种,媒介子有四种,加上八种胶子,媒介子也有十二种。这些最小单元就是目前微观世界所探讨的对象。近来,实验上有迹象表明胶球(由胶子构成的束缚态)可能存在,有待实验进一步证实。此外,理论上还预言了许多粒子,如磁单极子、黑格斯粒子、轴子等。去年,斯坦福大学一实验宣称发现了磁单极子,尚未确认。今年,在SLAC发现了一个粒子,质量在2.2GeV左右,寿命很长,有人提出它可能是黑格斯粒子。人们正在设计进一步的实验去寻找它们。当前,高能物理学就是要研究微观世界中这些最小单元的性质以及如何结合又如何转化的相互作用规律。

### (二) 探索微观世界的实验工程

自1932年建成第一台加速器以来,加速器就成为人类探索微观世界奥秘的主要工具。半个世纪以来,随着探索微观世界层次的深入,加速器的能量越来越高,规模越来越大。平均每隔七年加速器的能量就提高十倍,实际上加速器的能量随时间的关系实现了指数增长(见图)。现在加速器的能量已比第一台加速器能量增加了几十万倍。

世界上加速器发展的总趋向是提高能量、提高亮度,并建造各种类型对撞机。对撞机是提高能量的最有效的手段。以西欧中心ISR为例,每个质子束的能量为30 GeV,两个质子束对撞后质心能量为60 GeV。相当于固定靶的能量为2000 GeV质子加速器的效能。对撞机充分利用束流进行反应,效率很高,而固定靶加速器,当束流打击靶时,仅有一小部分参与反应,相当大的部分浪费掉了。因此,人们正以极大的兴趣发展各种对撞机。

随着人们对微观世界探索的深入,加速器能量越来越高,实验规模也就越来越大。有时一个实验组人数可达百余人。如最近在西欧中心的超级质子同步加速器上发现中间玻色子 $W^\pm$ 、 $Z^0$ ,有两个实验组进行同类实验。其中UAI组就有来自12个国家的126名科学家参加。另外,实验的技术发展也很快,各种探测设



备有了飞跃的发展。如西欧中心正在建造的 ALEPH 探测谱仪（将工作在 LEP 上），它高 10 米，宽 9 米，长 10 米，采用超导磁场，场强达 1 万 5 千高斯。谱仪由顶点探测器、内径迹室、中心漂移室、电磁量能器、强子量能器和  $\mu$  探测器组成。每个单元探测器都是十分严密精致，如强子量能器由铁、流光管组成，流光管总数可达 13 万 8 千根，可见其结构之庞大复杂了。

### (三) 我国高能物理学的发展

以前，我国没有自己的高能物理实验中心，高能物理的发展只能限于理论研究和宇宙线研究，并取得了很好的成绩。如 1965 年至 1966 年提出的层子模型理论和宇宙线高山实验室发现的稀有事例在国际上都是具有影响的成果。目前，我国正在建造一台能量为 2.2GeV 的正负电子对撞机，称为北京正负电子对撞机 (BEPC)，这标志着我国高能物理学发展的新起点。

正在研制的这台正、负电子对撞机每束能量为 2.2GeV，相当于一台 19000GeV 的电子加速器产生的电子束轰击静止靶。它由三个主要部分组成：注入器、束流运输线及储存环、探测器。北京正负电子对撞机比起国际上大型加速器来讲还是小型的，直线加速器和储存环总共大约 400 米长，而正在设计建造的 LEP 正负电子束流分别为 50 GeV，其储存环周长达 27 公里。在我国具体情况下不可能在能量和规模上与发达

国家进行竞争，我们研究了国际情况，挑选在低能量国际上薄弱环节进行赶超。目前，国际上正致力于极高能量加速器的发展，在 4—6GeV 的能区内，国际上同类型的加速器亮度低，产生的事例数少。我们抓住这一薄弱环节建造一台高亮度的机器，这样我们就可以研究有关  $J/\psi$  粒子族、粲介子、 $\tau$  重轻子以及粲重子等方面的问题。由于正在研制的这台对撞机的亮度比现在在此能区工作的对撞机的亮度高，我们希望它能在上述物理问题中获得更精确和可靠的实验结果。此外，这台加速器所产生的同步辐射可以在物理、化学、生物、医学、固体材料等方面得到广泛的应用。

为了探测对撞机产生的高能反应，必须建造大型探测设备，这在技术上，耗资上往往相当或超过对撞机主体。我们正在建造的北京对撞机谱仪就是准备用在 2.2GeV 对撞机上的谱仪，它是一种通用谱仪，适用于多种实验。由中心漂移室、主漂移室、飞行时间计数器、簇射计数器、 $\mu$  子计数器等部分组成。这样一个探测系统可以探测碰撞后产生的粒子的种类、径迹、能量和动量。目前，北京正负电子对撞机和谱仪的各项预制研究工作正在进行，并取得了初步进展。

### (四) 展望未来

高能物理学是研究微观世界中物质结构和相互作用转化规律的科学，它是基础科学研究的主要领域，世界各国都在这个领域中展开激烈的竞争。1983 年在西欧中心 SPS 上发现的  $W^\pm$  和  $Z^0$  粒子就是竞争的结果。现在，美国、西欧中心和苏联、日本都在计划建造大型或超级加速器，期望作出更好的物理工作（参见本期徐建铭的《近几年高能加速器的发展概况与展望》）。

在发现  $W^\pm$ 、 $Z^0$  之后，下一个问题就是要证实黑格斯粒子是否存在。黑格斯粒子是规范理论中使  $W^\pm$ 、 $Z^0$  获得质量所需要的标量粒子，不管黑格斯粒子是否存在正，都必须找到规范粒子获得大质量的起源。量子色动力学是另一个有希望的规范理论，然而，仍然需要更多的实验验证，特别有兴趣的是寻找顶层子 ( $t$ ) 的实验，目前的实验只给出  $t$  层子质量的下限，即  $m_t > 22\text{GeV}$ ，很可能在 30GeV 以上。这样，正在筹建的几个大加速器都可能作为寻找顶层子的工具，从而发现 ( $t\bar{t}$ ) 家族以及含  $t$  层子的介子、重子谱。此外，还有寻找重轻子以及寻找胶球、黑格斯粒子、磁单极子和轴子等新粒子和新现象。

在层子和轻子这一阶层中，前面已证实成员达四、五十种之多，因此，科学家从理论上和实验上都抱有极大的兴趣探讨微观物理下一层次的问题。在目前加速器所允许的能源范围内并未发现层子和轻子具有内部结构，这就是说，它们的半径应小于  $10^{-15}$ — $10^{-16}$  厘米。

米。为了揭示微观世界的下一层次，人们需要建造更大的加速器进行物理实验研究。

此外，由于标准弱、电统一模型理论的成功，特别是最近  $W^\pm$  和  $Z^0$  的发现，人们还在试图探讨弱、电、强三种相互作用的统一问题。原来的最小  $SU(5)$  大统一理论正经受着质子衰变实验的考验，目前的实验结果表明有可能排除  $SU(5)$  大统一理论。从理论上讲，物理学家除了探讨弱、电、强三种相互作用的统一理论，还在探讨费米子和玻色子对称性的超对称理论，弱、电、强、引力四种相互作用统一的各种超对称性理论，超引力理论。这些理论都提出很多有趣的现象和新奇的粒子。当然，自然界有它自己的客观规律性，并不以那一种理论为准则，而且科学上也常常会出现许多意想不到的实验事实展现出崭新的自然规律，推动人们深入探讨微观世界的奥秘。