

# 高能物理的现状和未来

杜 东 生

按照伟大领袖毛主席的哲学思想,世界是无限的。宇宙从大的方面来看是无限的。宇宙从小的方面来看也是无限的。物质是无限可分的。

宏观方面的无限性是天文学的研究课题。微观方面的无限性是高能物理的研究课题。从微观物理发展的历史来看,对原子内部结构及其规律的研究产生了原子物理学,对原子核内部结构及其规律的研究产生了原子核物理学,对“基本”粒子内部结构及其规律的研究产生了高能物理学。高能物理是研究物质构造的前沿学科。那么,人类目前对物质内部构造及其运动转化规律的认识处于什么阶段,未来的发展趋势又怎么样呢?下面简单地谈谈对这几个问题的看法。

## (一) 我们对物质内部结构无限层次的认识目前所处的阶段

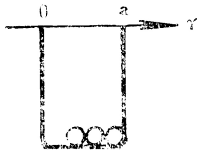
认识矛盾首先要弄清矛盾的诸方面,还要认识矛盾诸方面相互斗争和相互转化的规律。弄清物质构造的更深一个层次,这是弄清矛盾诸方面的问题。而弄清相互作用力的性质及其遵从的规律则是矛盾诸方相互斗争和相互转化的问题。当然这两个问题是紧密联系的。

我们已经知道原子是可分的,它由原子核和电子构成。原子核也是可分的,它由质子、中子构成。质子、中子是否可分呢?近代的实验给了肯定的回答。五十年代当人们用高能电子(约十亿电子伏)轰击质子时,发现质子的电荷和磁矩不是点电荷和点磁矩,而是分布在半径为  $0.8 \times 10^{-13}$  厘米(约十万亿分之一厘米)的空间范围内。中子的

磁矩也有类似情况。这说明核子不是点核子,而是有结构的。六十年代初期进一步的研究表明,如果认为质子、中子、介子等所有参与强相互作用的粒子(简称强子)都是由三种层子及其反粒子构成的话,则当时发现的一百多种“基本”粒子(除轻子、光子以外)可利用  $SU_3$  群论方法算出一组一组强子的质量之间的关系和强子的组成。并且与实验观测的质量谱符合得相当好。这有点类似于原子核能谱,只是能级间距相差很大罢了。到此为止,人们对质子、中子、介子等结构的认识又进了一步,即强子是由三种层子及其反粒子构成的。虽然层子还没打出来,但层子存在的猜测与实验一致,因而是合理的。那么层子为什么至今未打出来呢?一种猜测认为层子质量很重,现在加速器能量还不足以打出单个层子来。而且在低能量的实验中  $SU_3$  对称性较好,说明在强子静止时,其中的层子的速度很小,由此可导出层子质量很大的结论。另一方面,一九六八年人们用 200 亿电子伏的电子轰击核子时,发现质子内有许多小颗粒状的电荷分布,并且只有假定这些颗粒状电荷的质量轻和处于准自由状态时,才能解释实验曲线。那么层子到底是轻还是重?低能的实验和高能的实验似乎有矛盾。实际上,如果假定层子间有超强相互作用,这

作用力很强,使层子结合成强子时层子质量几乎消光。再假定超强作用位势是平底的深位阱,则在底部层子可看成准自由的,且有效质量很轻。但这种情况只有波长短(即高能)的粒子流才能探到。由于位阱深,要把层子打出来是困难的。这种图象定性地可把上面的矛盾解决。当然这只是猜测。真正弄清楚还有待实验及理论的进一步研究。

一九七四年,丁肇中小组在美国布鲁海文 33Gev 质子加速器上利用反应  $P + Be \rightarrow e^+ e^- + X$  发现了新的超重的介子  $J(3.1)$ 。差不多同时,在其它实验室的正负电子对撞机上也发现了  $J$  粒子及  $\psi'$  粒子等长寿命的重介子。它们质量比质子重三倍以上,寿命却比通常的介子如  $\rho$  介子长近 1000 倍。仅仅用过去的三种层子及反层子不能解释新发现的重介子的质量及寿命。因此,这一重要的发现表明,一定还存在着新的内部自由度。一九七五年以来又发现了质量为 4.1、4.4、3.5 Gev 等的许多重介子。它们的寿命要短一些。此后出现了各种各样的理论,有的引入一个带新的量子数(粲数)的层子,有的引入更多的带新的量子数的层子来解释这些新的重介子的产生、衰变。但所有这些理论模型都不能完全解释目前的实验事实。因此层子到底有几种目前仍不能定下来。最近在实验中发现了  $K\pi$  共振态,其质量为 1.87 Gev, 实验分析表明它不是  $K$  介子激发态,而是带新的量子数的介子。这就进一步证实了新的种类的层子一定存在。也就是说,在强子内部存在着新的矛盾方面,这方



面的研究是今后的重要课题。

对光子(传递电磁作用的实体)和轻子(电子、 $\mu$ 子、中微子及其反粒子)目前实验上还未发现确切表明它们有内部结构的现象,还有待于进行能量更高、精确度更高的实验。

总之,我们现在对轻子、光子的结构还一无所知。对强子(即质子、中子、介子、超子等)结构知道了一些。但究竟层子有几种,它们的性质怎样还都不清楚。为什么低能下层子表现出很重,束缚很强,而高能下却是表现为很轻,且可看成准自由状态。这些问题都有待于今后的进一步研究。

## (二) 我们对物质间相互作用及力学规律的认识所处的阶段。

认识物质间相互作用及物质内部运动所遵从的力学规律就是认识物质内部矛盾诸方面互相斗争和互相转化的规律。只有把相互作用及力学规律弄清才算真正掌握了物质内部结构的规律性。例如:人类对原子的认识,如果只知道原子是由原子核与电子构成的,还不能算真正了解了原子。只有同时弄清了原子核与电子间的相互作用力——电磁力和电子运动所遵从的力学规律量子力学,才算真正了解了原子的内部构造。事实上,人类正是把原子的组成、相互作用及力学规律联系起来都认识了,才把原子结构弄清的。

到目前为止,实验上已经确认了的有四种基本相互作用:

	相对强度
强相互作用	1
电磁相互作用	$10^{-2}$
弱相互作用	$10^{-10}$
重力相互作用	$10^{-40}$

现在,我们对电磁作用了解的最清楚。实验表明,即使深入到 $10^{-15}$ 厘米的小距离,现代电磁理论仍然是对的。电磁作用存在于一切带电、带磁粒子之间。且光子(光)是传递电磁力的媒介物。对重力相

互作用历史上认识的最早,目前存在的各种重力理论大同小异,且都能与天文观测的数据基本相符。要区分这些理论需要进一步的天文观测实验。然而,由于重力很弱,在物质的微观结构方面的作用可以忽略掉。对于弱相互作用,低能过程我们已有较好的现象性理论,但不能满意地解释非轻子衰变。对弱作用的机制,对于高能下的弱作用形式现在还都不清楚。但有一点是肯定的,现在低能下的现象性理论在高能下肯定要修改,不然就破坏了几率守恒这个原理。对强相互作用,我们了解的更少了。我们只是总结出一些定性的规律,如核子间作用力短程性、饱和性(一核子只与它附近的几个核子有作用力)。甚至可以给出一些现象性的位阱描述。在高能过程中,发现这种力有减弱的趋势。但与前面三种作用力不同,对强作用力我们到现在为止还写不出真正能付诸计算的有物理意义的力的形式。只是可以有一些参数很多的现象性理论。可见对强作用力还处于非常初步的认识阶段。按照层子模型的观点,层子间除上述各种作用力外,还存在着超强作用力,这种力把层子束缚在一起构成质子、中子、介子等,超强作用力比强作用力约强100倍以上,也具有饱和性。但在目前的能量范围内还显露不出来。当然这是一种猜测,到底如何,需要实验加以进一步研究。到目前为止,总的讲,我们对重力和电磁力有了较好的了解。对弱作用力有低能下的现象性理论,高能弱作用还一无所知,对弱作用的机制也不清楚。对强作用只有一些定性的认识和初步的现象性理论。对超强作用还一点知识也没有。

对于力学规律,十九世纪以前出现的古典力学只适于描写低速宏观现象。二十世纪初出现的相对论力学适用于描写高速宏观现象。而量子力学只适于低速微观现象。此后出现了量子电动力学,它把量子力学和相对论力学结合起来,并加

以发展。量子电动力学是目前我们已有的高能电子、光子所遵从的力学规律,并且我们至今没有发现这个力学规律不对。人们曾经按照量子电动力学的理论形式,建立量子场论,用来描述强相互作用的现象,没有得到什么成就。到底层子之间有无新的相互作用,到底层子是否完全服从量子场论或另外的新的力学规律,现在都还不清楚。需要在实践中进一步探索。

## (三) 需要回答的最重要的问题

根据前面的分析,高能物理研究需要回答的最重要的问题有如下几个方面:

(1) 层子到底有几种? 如何把层子打出来?

(2) 层子如何束缚起来构成强子(即质子、中子、介子、超子等)? 束缚力的性质怎样? 它是由什么东西传递的? 层子遵从什么样的力学规律?

应当指出,现在我们只是知道了强子的质量谱系或能级,这相当于已知道了原子光谱。与研究原子结构时的情况不同,至今我们还不知道层子间的作用力,也不知道层子服从什么样的力学规律。因此,距弄清强子内部结构的规律性还相差很远。

(3) 高能下弱作用的性质。弱作用、电磁作用统一描述的可能性及弱、电磁、强相互作用三者是不是也能统一。

根据理论的推测,在质心系能量达到1000 Gev以前低能弱作用理论的局限性一定会暴露出来。而在质心系能量达到100 Gev时则可寻找目前的弱、电统一理论所予言的中间玻色子 $W^\pm$ 、 $Z^0$ ,它们是传递作用力的媒介物。

(4) 是否存在新的重轻子?

目前轻子只有 $e$ 、 $\nu_e$ 、 $\mu$ 、 $\nu_\mu$ 四种(若加上其反粒子共八种),还谈不上轻子质量谱系。是否还存在新的类型的轻子? 这是一个与研究轻子结构有关的重要问题。

(5) 现在还不能予想到的新现象。

如高多重数末态,多 $\gamma$ 末态,大横动量多核心末态等超高能事例在宇宙线中已发现但还未弄清。还有许多我们想不到的重要的问题。世界是无穷无尽的,我们不可能现在就把未来的事都予言。有一点是肯定的,在新的能区一定会有新的东西。

以上就是我们下步需要研究的最重要的问题。

#### (四) 高能物理最近可能的进展

现在世界上已建成的能量较高的加速器有:

美国 FNAL 500 Gev 质子同步加速器,一九七九年能量可提高到 1000 Gev。

西欧中心 SPS 500 Gev 质子同步加速器,ISR  $2 \times 31$  Gev 质子交叉储存环。

一九八〇年左右即将建成的大加速器有:

西德 PETRA  $2 \times (5 - 19)$  Gev  $e^+e^-$  对撞机;

美国 PEP  $2 \times (5 - 18)$  Gev  $e^+e^-$  对撞机;

苏联 VEPP-4  $2 \times (5 - 7)$  Gev  $e^+e^-$  对撞机。

以上这些加速器折合成质心系总能量,均在 50 Gev 以下。在这个能量区域,前面提的五个问题可以不同程度地被触及,但不可能根本上解决这些问题。当然,也不能完全排除意料之外的重要发现的可能性。例如,新的重介子 J 或  $\phi$  粒子的发现就是大家所没有预料到的。

#### (五) 长远设想

高能物理的发展与下面五个因素有密切的关系。

(1) 一支用马列主义、毛泽东思想武装起来的能打硬仗的高能物理队伍。

(2) 加速器的能量、流强和束流种类。

(3) 探测技术和数据处理技

术。

队伍的好坏是我们能否在高能物理研究上赶超世界先进水平的决定性因素。只要我们有一支思想上、业务上都能打硬仗的队伍,就一定能冲破重重困难,做出第一流的工作,走在世界的前列。如果队伍不行,既建造不出好的设备,即使有了好的设备,也做不出好的工作。相反的,队伍强,可以弥补设备条件的不足。

加速器能量的高低也是一个很重要的因素。从人类探索物质结构的历史看,能量每提高一步,对物质结构的认识就深一个层次。如从研究原子到研究原子核,能量就提高了八十万倍。从研究原子核到研究“基本”粒子能量又提高一百倍以上。目前已有加速器的能量还不足以产生单个层子。由上可以看出,每当加速器能量提高一步,就会产生新的现象,对物质内部结构的研究就更深一步。这是很自然的,要探索物质在更小的空间范围内的结构,就需要探针(入射的子弹)有更短的波长,因而有更高的能量。到底加速器能量多高才合适呢?从物理上看,前面谈到在质心系能量 1000 Gev 弱相互作用的修改会彻底暴露出来。这个能量可用 500 Gev + 500 Gev 的对撞机实现,也可用 500000 Gev = 500 Tev 质子同步加速器来实现。但这种高能量的加速器从目前的技术条件看,实现的可能性不大。如果我们的目标是发现传递弱相互作用的媒介物——中间玻色子,则质心系的能量大约 100 Gev 就够了。这样的能量相当于建造 10000 Gev = 10 Tev 的质子同步加速器或 100 Gev + 100 Gev 的质子对撞机或正负电子对撞机。这样的加速器从目前的技术水平看有

实现的可能性。这就是为什么当前国际上在考虑建造这类加速器的原因。在 10Tev 的质子同步加速器和 100 Gev + 100 Gev 的对撞机上,可以研究  $W^\pm, Z^0$  中间玻色子的产生问题,可以研究弱作用的机制,至少可以观察到低能弱作用 V-A 理论的破坏效应。对前面讨论的五个重要问题都可以取得一定的知识。因此,质心系能量 100 Gev 是中期目标。那么再下一步能量应当多大?从上面的分析看,质心系能量达到 1000 Gev 时对弱作用的研究会比较清楚。这相当质子同步加速器 500 Tev (五百万亿电子伏)。在宇宙线观测中,近年来发现了一系列的新现象。如末态平均多重数  $\bar{n} \sim 100$  的事例,其入射粒子能量在 100 Tev - 1000 Tev, 另外也发现了  $10^{11} - 50$  Tev 的穿透性极强的电磁簇射,  $E > 100$  Tev 时穿透性迅速上升的级联强子及产生高横动量的多核心现象等。这些都表明,100 Tev - 500 Tev (质心系  $\sim 1000$  Gev) 可能出现重要的新现象是加速器能量的远期目标。当然,这些能量目标的划分不是绝对的,在没有做物理实验以前,要完全肯定是不可能的。但上述加速器能量目标的确定是基于我们以往的实践经验,因而它是合理的推测,是有参考价值的。我们可以把这几个能量的目标列成附表:

加速器流强的提高,使对一些物理现象的精密研究和对稀有事例的研究成为可能。有些事例只是在强流加速器出现后才发现。下面我们还要讲到这个问题。而束流种类的增多,使得我们可从不同的侧面来探索物质构造的奥秘。例如,质子同步加速器流比较强,可以获得多种次级粒子束,特别是高能中微子束和高能光子束。并且也可采用

附表

	质子同步加速器	质 心 能 量	$e^+e^-$ 对撞机能量
近期目标	1000 Gev	45 Gev	20 Gev + 20 Gev
中期目标	10000 Gev	140 Gev	100 Gev + 100 Gev
远期目标	500000 Gev	1000 Gev	500 Gev + 500 Gev

多种的靶子,这样,使研究的范围大大扩大。特别对电磁作用和弱作用现象是很有力的研究工具。质子与质子、质子与反质子对撞机的优点是质心系内能量高,适于研究产生阈很高的新现象、强产生机制和大横动量现象。但由于背景太大,实验结果难于分析,且加速器也难造。正负电子对撞机是研究电磁作用和弱作用的强有力的工具。特别是对中间玻色子的产生、强子的产生、重轻子的产生,重介子及量子电动力学等的研究有其独特的优点。因为背景小,实验做的很干净。其缺点是亮度小,加速器难做。对电子与质子对撞机,它适于研究强相互作用在类空区域小距离的行为,研究核子的内部构造以及电子和强子间的弱相互作用。例如,核子电荷磁矩分布的形状因子,核子内部电荷的

颗粒状结构等极其重要的发现都是在  $e-p$  碰撞实验中发现的。近来,为了做大动量转移的深度非弹性实验, $e-p$  碰撞又向  $\mu-p$  碰撞的研究方面发展。这一点应当引起我们足够的重视。

为了发挥新的高能加速器的潜力,我们必须发展新的探测技术和改进已有的探测技术。我们应当看到,现有的探测器,使 400 Gev 的质子同步加速器的使用已经受到限制。在超高能的物理实验中,现在的趋势是广泛采用集成电路的多丝正比室和漂移室,速度分辨率改进了的契伦科夫计数器,大型量热器和正在研究的穿越辐射探测器。而目前用得更多的是量热器。但量热器只能得到很少的知识,不可能做精密的实验。迫切需要研制新型的探

测器。相信我们的物理工作者会对此作出贡献。

目前,使用计算机的自动数据处理系统在高能物理实验中广泛采用。在很多情况下,实验做完了数据也处理好了,并且由计算机给出图表。由于高能物理实验需要采集大量的数据,因而数据处理技术也成了重要的环节。在发展我们的加速器的同时,这项技术也必须重视。

高能物理研究在我国才刚开步走,“千里之行,始于足下”,我们一定要做踏踏实实的工作,取得自己的实践经验。我们相信,有战无不胜的毛泽东思想的指引,有以华主席为首的党中央的正确领导,有全国社会主义大协作,我们有志气、有能力在不远的将来赶上和超过世界先进水平。