

“基本粒子”的实验研究概览*

张文裕

(中国科学院 100049)

提要

这篇总结性文章论述了最近四、五年来“基本粒子”实验研究的发展情况。全文着重讨论了强相互作用粒子的发展情况,关于弱相互作用问题则谈得不多。其主要原因是:在强相互作用粒子方面,近年来实验上发现了大量的粒子共振态,以致使粒子总数由30种剧增到100种左右,而且,有关的理论方面也相应地取得了成功的发展——由强相互作用对称性提出的 $SU(3)$ 分类方案。正是这些新发展,使得对所谓基本粒子(至少对强相互作用粒子来说)是有结构的、是可分的看法在近年来更加明确了。本文总结和讨论了最近四、五年来较重要的七组实验——四组关于强相互作用问题,三组关于弱相互作用问题,并且,集中地讨论了强相互作用粒子在最近几年来的发展情况,1960年前后的统计对比以及粒子分类的物理意义等,这些为讨论 $SU(3)$ 和Regge轨迹分类方案准备了有利的物理条件。在讨论 $SU(3)$ 和Regge轨迹分类方案时,本文只着重讨论了这两个方案(特别是 $SU(3)$)的物理背景和设想、方案的数学基础、理论结果及其与实验的比较。通过和实验比较,Regge轨迹方案就显出了远不如 $SU(3)$ 方案,这个事实和Regge极理论所出现的严重问题(参看第二章第3节)当然是分不开的。希望通过这篇文章能向读者介绍“基本粒子”在这几年中的发展概况,在现阶段解决或摸清了哪些问题,以及今后实验工作的可能方向。

*本文节选自《物理学报》第21卷第11期,发表时间:1965年11月。

纲要

一、引言

二、1961年以来一些较重要的实验

A. 强相互作用

1. 核子、超子和介子共振态的发现
2. Ω 粒子的发现
3. 衍射峰的缩减和Regge极理论的确实性
4. 高能下 pp 和 πp 的向前弹性散射

B. 弱相互作用

5. 两种中微子, ν_e, ν_μ 的实验证明
6. 中间玻色子的寻找——质量小于1.8 BeV的中间玻色子不存在
7. $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ 的实验和 CP 守恒的矛盾
8. 小结

三、1961年以来强相互作用粒子的研究概况

1. 1960年以前粒子物理的概况和人们对粒子的看法

2. 四种作用力的一般性质、相对强度和研究近况

- (1) 强相互作用力
- (2) 电磁相互作用力
- (3) 弱相互作用力

3. 1961年以后我们对重子共振现象的一些工作

- (1) 共振态的能级图和跃迁图

- (2)级联跃迁过程的运动学计算
 - (3)在 πp 作用实验中 Δ 超子动量分布的分析
 - (4)关于次级粒子总能量 ω 的工作
4. 1960年以来强相互作用粒子的发展,统计和分类的意义

四、强相互作用粒子的分类。 $SU(3)$ 和Regge轨迹的物理基础

- 1.编号、正名和排列
- 2. $SU(3)$ 或八度法(Eight—fold Way)分类法
 - (1)八度法的物理背景和设想
 - (2)八度法的数学基础和结果
 - (3)和实验进一步比较
- 3.Regge轨迹分类法
 - (1)Regge轨迹的定义
 - (2)电磁相互作用——氢原子的Regge轨迹
 - (3)强相互作用的Regge轨迹
 - (4)Regge轨迹分类法的考验
 - (5)介子族Regge轨迹的坡度

五、结论

- 1.弱相互作用方面的问题
 - (1)奇异粒子的稀有衰变
 - (2) μ 介子中微子 ν_μ 和核子的作用
 - 2.强相互作用方面的问题
 - (1)高能(10 BeV以上)散射
 - (2)共振态的继续研究
 - (3)双重子共振态($A=2$)
 - (4) $\frac{1}{3}e, \frac{2}{3}e$ 粒子(Quarks)的寻找
-

结论

我们现在简单地总结一下以上所讨论过的问题并指出今后研究工作的可能方向。我们主要是从物理的实验观点出发来总结和讨论这些问题。有不少问题在文中已经很明确提出过,在这里我们

就不多讨论了。

1.弱相互作用方面的问题

(1)奇异粒子的稀有衰变

通过稀有衰变的研究,可以深入探讨已知规律的确实性,例如上面所谈过的 $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ 致使 CP 守恒发生了问题。对于 π 和 μ 粒子的稀有衰变已有了不少研究,也得出了一定的结论,但是奇异粒子稀有衰变的工作却做得很少,主要原因是这些粒子在产生时比 π 和 μ 介子要少得很多。要使实验结果有意义,稀有衰变事例的统计必须足够高,但这首先要靠产生足够多的奇异粒子,最好多到使电子学方法配合径迹室(如火花室)都可以用来探测稀有衰变事例。低能(几个BeV)—强流(10^{12-14} 粒子/秒)加速器或高能(几十个BeV)—普通流(10^{9-11} 粒子/秒)加速器可以满足这个要求。

(2) μ 介子中微子 ν_μ 和核子 N 的作用

上面提过要研究弱相互作用力最好利用轻子来进行工作,因为轻子对强相互作用完全没有反应,所以分析由弱作用引起的反应的实验就简单得多。其实中微子是更好更简单的,因为它不带电,所以连电磁相互作用都没有。但是中微子的产生和作用的截面都很小(在1 BeV $\sim 10^{-38}$ cm²),又由于加速器产生的中微子的能量是连续谱(由28 BeV质子所产生的 ν_μ 能谱是 $\sim 2-11$ BeV),因而在高能部分强度很低。由于这些原因和能量守恒问题。目前最高能量(~ 30 BeV)的加速器也只能告诉我们中间玻色子若存在的话,它的质量应大于1.8 BeV/ c^2 。所以要寻找质量大于1.8 BeV/ c^2 的中间玻色子,就需要更高能量的加速器。更高能量的加速器对于研究其他由中微子所引起的反应也是很有利的。其实利用宇宙中微子初步来进行这些研究是很值得认真考虑的,因为这方面的问题(包括中间玻色子的寻找)只是在探索阶段,离需要大量统计的阶段还较远。

2.强相互作用方面的问题

(1)高能(10 BeV)以上散射

首先,比较粒子—粒子和相应的粒子—反粒子(例如 pp 和 $p\bar{p}$)的作用总截面与入射能量的关系将是有意义的。我们要看:当入射能量增高时,这两个截面是否互相接近而又趋向一常量(初步实验结果是如此);当能量再增加时,它们的行为又是怎么样。其次观测和分析个别弹性大角度散射振幅,看它们在很高能量下是否会变为很简单,这时它们的行为应充分反映强相互作用场的结构。最后,对第二章第4节所讨论的高能小角度弹性散射的 α 值进一步进行实验也是有益的。第一和第三方面都是可以验证色散关系理论的较好实验。

(2) 共振态的继续研究

一方面对已知的共振态(大多在 $M < 2000$ MeV)准确测定它们的自旋、宇称、全宽度和不同孔道衰变的分支比等是很重要的,因为这些量将导致得到定量和确实的规律(参看第四章第3节 $SU(3)$)。我们知道,全宽度是衡量共振态寿命的,根据实验,一个共振态平均可以飞行约10费米(即 10×10^{-13} 厘米),然后才衰变。现在我们要问:一个指定的共振态的全宽度是否与产生它的碰撞粒子的性质有关系(例如 πp 和 $n p$ 等),是否与入射能量有关系等问题。这些问题的研究对强相互作用场的性质(结构)可能提供很有用的资料。另一方面,寻找新的共振态,特别是高质量 M (重子方面 > 2000 MeV)和高角动量 J (2或3)的共振态也是很重要的,它们存在与否关系到 $SU(3)$ 特别是 Regge 轨迹分类法的确实性。

(3) 双重子共振态($A=2$)

根据 $SU(3)$, 双重子共振态如果存在的话,应和氦核属于反10重表示(即 $[\bar{10}]$ 表示,参看表16)^[41]。我们已将这个题目列入1965年计划,但是进展很慢。由于看到 $A p$ 弹性散射的反常迹象和反氦核的

发现,所以双重子共振态研究工作的进行也许是颇有意义的。

(4) $\frac{1}{3}e, \frac{2}{3}e$ 粒子(Quarks)的寻找^[43,42,39]

按 $SU(3)$ 的3重表示,盖尔曼建议,可能有同位旋双重态带电荷($-\frac{1}{3}e$)和($+\frac{2}{3}e$)的粒子和同位旋单一态带电荷($-\frac{1}{3}e$)的粒子存在。此外,带整数电荷的重粒子也可能存在。一年多来,在33 BeV质子AGS加速器和28 BeV质子加速器上都做了实验,曾经试图寻找这些粒子的产生,但都没有确实的结果^[42]可以证明它们的存在。由实验估计,如果存在的话,它们产生截面应小于 10^{-34} cm², 或对同时产生的 μ 介子来说小于五万分之一。假设它们是通过电磁作用成对产生,那么根据实验,质量小于2 BeV的这种粒子是不存在的。较近的实验总结,看[43]的第二篇。显然,如要寻找质量大于2 BeV的这种粒子则需要能量更高的加速器。和中微子实验的情况相似,在目前阶段利用宇宙线试图寻找这种粒子也是很合理的,因为离开需要大量统计的阶段还很远,目前假如能找到一两个很可靠的事例,就可以说明(或解决)现阶段所提出的问题。在这一类问题上,宇宙线的超高能量所引起的效果很可能可以抵偿它的极弱强度的缺点。

这个时期,有机会与不少高能实验和理论同志在一起工作,他们在工作上的积极性和在物理思想上的活跃性对我有很大鼓舞和启发,由于他们的促进使我对许多问题有了较深刻的了解和体会;在本文的写作和整理过程中,得到有关同志的帮助,特向这两方面的同志表示衷心感谢。

最后,文中定有不少不正确或甚至错误的地方,请读者批评指正。