

高能物理的新进展

郑志鹏 郁宏

(中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

本文描述了近年来高能物理实验、理论的进展。实验表明不存在第四种轻中微子, Z^0 质量、宽度、强耦合常数 α_s 等的精确测量结果, 进一步支持了标准模型。标准模型获得了巨大成功, 同时它本身也在不断发展。新的加速器的建成以及更大加速器的建设计划, 给高能物理的发展带来了新的希望。

自 1983 年传递弱作用的中间玻色子 W^\pm 和 Z^0 发现以后, 高能物理没有再出现“轰动”的效应。人们致力寻找的标准模型理论预言的 top 夸克和 Higgs 等新粒子没有找到。一些大的加速器如 TRISTAN, LEP 和 TEVATRON 等相继问世, 获得了一大批实验结果。这些结果都证实、丰富、完善了以电弱统一理论和以量子色动力学为基础的“标准模型”理论。理论本身获得了不少发展。

下面, 介绍一下近些年来, 特别是近一年来高能物理实验和理论方面取得的主要进展。

一、加速器实验

1. Z^0 物理

西欧 LEP 和美国 SLC 正、负电子对撞机能量达到 Z^0 共振范围, 可以产生大量的 Z^0 , 为研究 Z^0 及其衰变特性提供了重要的信息。

(1) 只存在三种轻中微子

西欧联合核子中心的 LEP 正、负电子对撞机上的四个探测器和美国斯坦福直线加速器中心的 SLC 直线正、负电子对撞机上的 MARK II 探测器于 1989 年相继宣布, 宇宙中只有三种轻中微子, 不可能存在第四种, 这项结果是从 $e^+e^- \rightarrow Z^0 \rightarrow$ 强子的截面的精细测量中获得的。实验得到 Z^0 质量谱的总宽度, 确定了 Z^0 衰变到中微子的宽度, 推算出中微子的种类为: $N_\nu = 2.89 \pm 0.10$ (LEP 1990 年 8 月的平均结果)。这是一个非常重要的结果, 不但对高能物理而且对天文学、宇宙学都有深远意义, 大家知道, 迄今夸克、轻子和媒介子为构成宇宙物质的

最小单元。目前已发现的轻子和夸克具有某种对称性, 它们都可以排列成三代:

$$\begin{array}{ccc} \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix} & \text{轻子} \\ \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} t? \\ b \end{pmatrix} & \text{夸克} \end{array}$$

第一代 第二代 第三代

上面一行是三种轻子与相应的中微子组成三代, 下面一行是六种夸克组成三代。虽然 t(top) 夸克至今尚未发现, 但许多实验都支持基本粒子“三代”的理论。当然, 人们不禁要问, 基本粒子就只有三代吗? 可不可能有第四代、第五代……? 前些年, 许多实验都在寻找第四代的轻子和夸克, 而且有的实验表明似乎存在第四代夸克 (b')。对 Z^0 粒子衰变宽度测量的分析给出, 自然界应只存在三代轻中微子。有可能自然界只有三代费米子, 也有可能还存在第四代费米子, 这一代费米子中的中微子的质量必须足够重 (如 $> 22.5 \text{ GeV}$)。图 1 给出 LEP 上的 L3 实验得到的三种中微子的实验结果。

(2) Z^0 的质量 (m)、宽度 (Γ) 和 $\sin^2\theta_w$ (θ_w 为温伯格角) 的精确测量

Z^0 是 1983 年在西欧联合核子中心正、反质子对撞机上发现的, 以后几年才积累了几百个 Z^0 事例, 给出 m_{Z^0} 为 $92 \pm 2 \text{ GeV}$, $\Gamma_{Z^0} < 5 \text{ GeV}$, 精度很差。

LEP 从 1989 年秋开始运行, 到 1990 年 8 月以前, 它的四个探测器 (ALEPH, DELPHI, L3 和 OPAL) 总共积累了 43 万个 Z^0 事例, 给出如下结果:

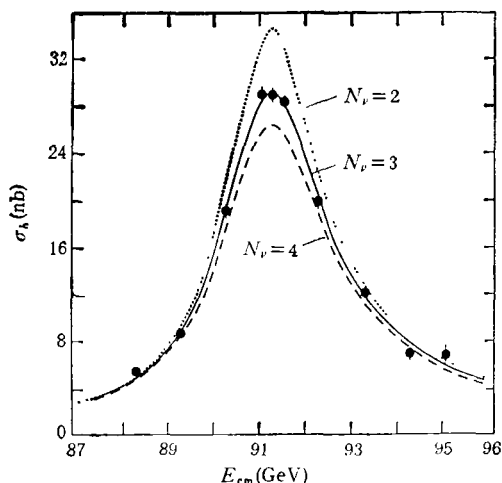


图1 L3 给出的三代中微子的实验结果

$$m_{Z^0} = 91.177 \pm 0.031 \text{ GeV},$$

$$\Gamma_{Z^0} = 2.496 \pm 0.016 \text{ GeV},$$

$$\sin^2 \theta_w = 0.2304 \pm 0.0021.$$

以上皆为在 LEP 上得到的平均结果,与电弱统一模型符合得很好。

(3) 强耦合常数 α_s 的测量

Z^0 共振区提供了测量喷注的多重性来确定

α_s 的极好机会,其原因是: (a) 强子截面大; (b) 在高质心系能量下,强子化效应小,喷注更准直; (c) 初态的硬光子辐射大大地被压低了。

LEP 的四个探测器在 Z^0 共振区测量了喷注的多重性,得到的平均 α_s 为 0.120 ± 0.012 。这与微扰量子色动力学 (QCD) 的预言符合得很好。理论和实验都表明 α_s 值随着能量的增加而指数下降(图 2)。

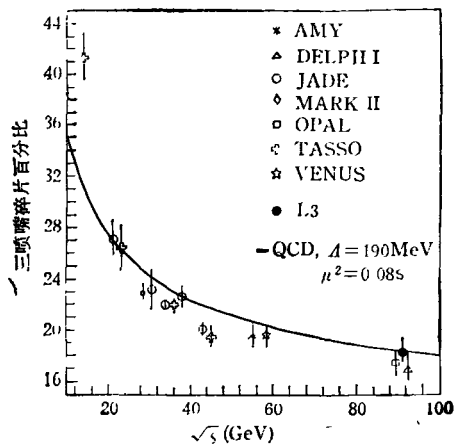


图2 α_s 随能量的关系

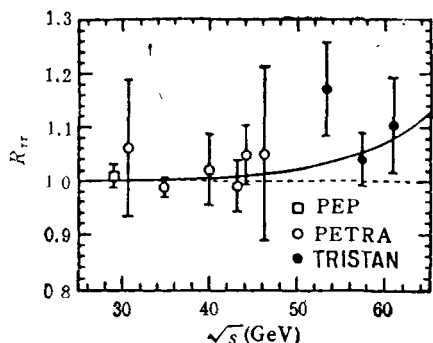
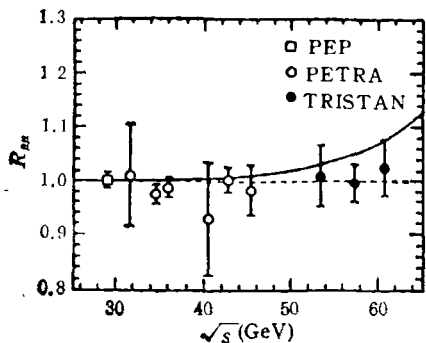
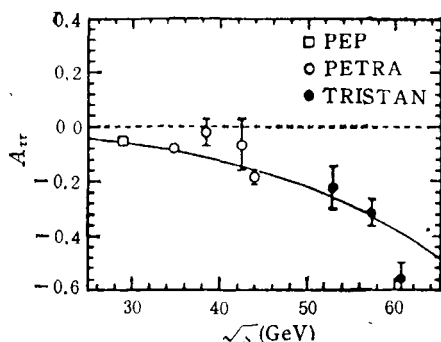
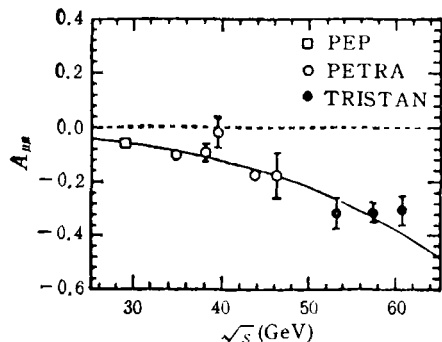


图3 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-, \tau^+\tau^-$ 的前后不对称性分布

2. Z^0 以下的 e^+e^- 物理

正、负电子对撞机 TRISTAN (日本), PETRA (西德) 和 PEP (美国) 在十几到六十几 GeV 范围得到许多有趣的物理结果。

(1) 弱电统一理论参数的测试

通过 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-, \tau^+\tau^-, c\bar{c}, b\bar{b}$ 的前后不对称性的测量, 对弱电统一理论的各种参数进行了测试, 实验结果与标准模型理论符合得很好。例如, $m_Z = 91.1\text{GeV}, \Gamma_Z = 2.5\text{GeV}, \sin^2\theta_W = 0.23\dots$ 。图 3、图 4 和图 5 分别给出 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-, \tau^+\tau^-, e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$ 和 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的前后不对称性实验数据和标准模型预言的比较。

(2) 对 QCD 的检验

(a) QCD 截断 (cutoff) 参数 $\Lambda_{\overline{\text{MS}}}$ 的测量
通常有三种方法可得到 $\Lambda_{\overline{\text{MS}}}$:

i. 从 R 值($e^+e^- \rightarrow$ 强子截面与 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ 截面之比值)计算出。该方法灵敏度不高, 但优点是与强子化模型无关。拟合中需要引入弱电

耦合参数。AMY 探测组得到 $\Lambda_{\overline{\text{MS}}} = 380_{-190}^{+240}\text{MeV}$ 。

ii. 从能量-能量关联的不对称性求得。该方法十分灵敏, 但结果与强子化模型有关。

TOPAZ 探测组得到 $\Lambda_{\overline{\text{MS}}} = 290_{-78}^{+104}\text{MeV}$ 。

iii. 从多喷注分析求得。VENUS 探测组从三喷注的分析得到 $\Lambda_{\overline{\text{MS}}} = 254_{-47}^{+55} \pm 56\text{MeV}$ 。

以上所得结果的统计误差和系统误差都较大, 有待进一步提高, 但大体上说来与 QCD 理论是符合的。

(b) α_s 对味道的依赖

TASSO 探测组分别测出 $c\bar{c}$ 事例和 $b\bar{b}$ 事例相应的强作用耦合常数 α_s 值 [$\alpha_s(c), \alpha_s(b)$] 以及所有包括 $c\bar{c}$ 和 $b\bar{b}$ 事例相应的 α_s 值 [α_s (所有)], 其比值如下:

$$\frac{\alpha_s(c)}{\alpha_s(\text{所有})} = 0.91 \pm 0.38 \pm 0.15,$$

$$\frac{\alpha_s(b)}{\alpha_s(\text{所有})} = 1.17 \pm 0.50 \pm 0.28.$$

这个结果符合预言的 α_s 与味道无关的理论。

(c) 强子四喷注角分布分析的实验数据 (AMY 组, VENUS 组) 支持 QCD 的非阿贝耳性质。

(d) AMY 组从三喷注的分析区别出胶子喷注和夸克喷注, 前者能量低, 分布宽, 他们的实验结果与 QCD 理论很好地符合。

3. b 夸克性质

(1) $B^0-\bar{B}^0$ 混合被 CLEO 探测组进一步确认, 他们得到混合参数 $r = 0.14 \pm 0.05$ 。ARGUS 探测组也给出新结果: $r = 0.21 \pm 0.06$, 与他们最早观察结果相符合, 但精度提高了。

(2) 从 B^0 半轻子衰变中测出 CKM 矩阵元 V_{cb} 。ARGUS 组给出相应于 $B^0 \rightarrow D^{*1}\nu$, $B^0 \rightarrow D^{-1}\nu$ 和 $B^0 \rightarrow l\nu X$ 衰变道的 $|V_{cb}|$ 值分别为 0.046 ± 0.009 , 0.042 ± 0.008 和 0.046 ± 0.005 。

(3) B^+ 与 B^0 寿命之比为

$$\frac{\tau_{B^+}}{\tau_{B^0}} = \frac{B_r(B^+ \rightarrow D^{*1}\nu)}{B_r(B^0 \rightarrow D^{*1}\nu)}$$

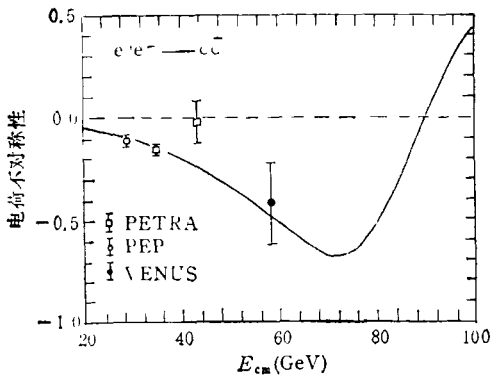


图 4 $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$ 前后不对称性分布

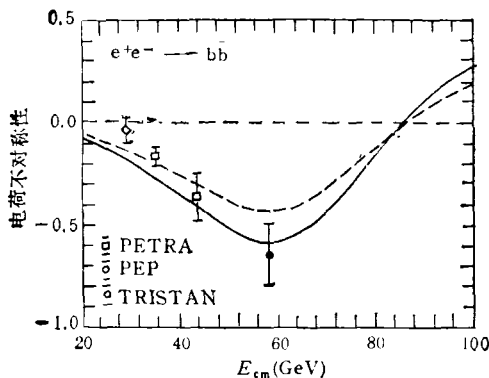


图 5 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 前后不对称性分布

$$= \begin{cases} 0.89 \pm 0.19 \pm 0.13 & \text{(CLEO 组)}, \\ 1.00 \pm 0.23 \pm 0.14 & \text{(ARGUS 组)}, \end{cases}$$

看来比值接近于 1。

(4) CLEO 组在 B 衰变的轻子谱的端点附近找到了无粲 (charmless) B 衰变的证据。

4. c 夸克和 J/ψ 性质

(1) CKM 矩阵元 V_{cd} 和 V_{cs} 比值的测量有如下结果:

MARK III 实验组通过 $D^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$ 和 $D^0 \rightarrow k^- e^+ \nu_e$ 的比较, 得到

$$\left| \frac{V_{cd}}{V_{cs}} \right| = 0.057^{+0.038}_{-0.015} \pm 0.005.$$

(2) D 的半轻子衰变和强衰变特性实验上有了进展, CLEO 组给出 $D^0 \rightarrow k^+ k^-$ 和 $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 的分支比比值为

$$\frac{B_r(D^0 \rightarrow k^+ k^-)}{B_r(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)} = 2.22 \pm 0.036 \pm 0.30,$$

这在理论上是十分令人感兴趣的。

(3) $D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+$ 的分支比测定为

$$B_r(D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+) = \begin{cases} (3.0 \pm 1.2)\% & \text{(ARGUS 组)}, \\ (3.1 \pm 0.6^{+0.9}_{-0.6} \pm 0.6\%) & \text{(CLEO 组)}. \end{cases}$$

(4) MARK III 组给出 $D_s^+ \rightarrow \eta \pi^+$ 和 $D_s^+ \rightarrow \eta' \pi^+$ 相对于 $D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+$ 分支比为

$$\frac{B_r(D_s^+ \rightarrow \eta \pi^+)}{B_r(D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+)} < 2.5,$$

$$\frac{B_r(D_s^+ \rightarrow \eta' \pi^+)}{B_r(D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+)} < 1.9.$$

(5) 粲粒子研究 (包括对撞机和固定靶实验) 也有进展, 到目前为止 Λ_c^+ , Σ_c^{++} , Σ_c^0 , Ξ_c^+ , Ξ_c^0 已经被确认, Λ_c^+ 的衰变特性已被进一步了解, Σ_c^+ , Ω_c 在实验上有初步证据证明其存在, 但还需要进一步确认。

(6) J/ψ 的辐射衰变研究提供了寻找胶子球态的极好机会。目前, 对几个可能的胶子球态如 $1/\eta(1440)$ 和 $\theta/f_2(1720)$ 的特性仍有许多不清楚的地方, MARK III 组对它们的研究近期有了一些进展。过去认为 $1/\eta(1440)$ 和 $\theta/f_2(1720)$ 的自旋宇称分别为 0^{-+} 和 2^{++} , 而

现在看来 $1/\eta(1430)$ 共振峰中除了 0^{-+} 成分, 还有 1^{++} 的成分; $\theta/f_2(1720)$ 共振峰中似乎以 0^{++} 分量为主。

(7) $\xi(2230)$ 粒子是否存在仍是一个谜。

(8) 由于探测器 MARK III 和 DM 2 已停止运行, 在这个能区范围, 只有我国的北京正、负电子对撞机 (BEPC) 上的北京谱仪 (BES) 在工作, 同时由于 BEPC 的亮度高, BES 测量性能较好, 而且 BES 已收集到 600 万个 J/ψ 事例, 获得了初步的物理结果, 因此国际高能物理界期待 BES 在 J/ψ、粲粒子和 τ 粒子等研究方面获得有意义的结果。

5. 新粒子的寻找

(1) TOP 夸克

自从 1974 年发现 J/ψ, 1977 年发现 γ, 证实了第四个 (c)、第五个 (b) 夸克的存在以后, 人们深信不疑存在第六个——TOP 夸克, 并积极在实验中寻找。几个大加速器相继运行, 几乎第一个目标就是瞄准它, 可是到目前为止尚未找到, 只给出 TOP 夸克质量的下限:

$$m_{top} > 45 \text{ GeV} \quad \text{(LEP 组)},$$

$$m_{top} > 89 \text{ GeV} \quad \text{(CDF 组)}.$$

按标准模型拟合, 几个实验的平均值为

$$m_{top} = 137 \pm 40 \text{ GeV}.$$

(2) Higgs 粒子

按电弱统一模型, 为赋予 W^\pm , Z^0 以质量, 对对称性自发破缺起关键作用的 Higgs 粒子是一定存在的, 但至今没有发现。

LEP 探测器上的四个组排除了从 0 至 40 GeV 左右质量范围内存在中性 Higgs (H^0), 这说明 Higgs 的质量可能很大。

(3) 第四代的粒子和轻子激发态

第四代的夸克 (b') 及重轻子 (L^\pm), 重中微子 (L^0) 和轻子激发态 ($L^{*\pm}$) 都没有发现, LEP 组给出其质量下限都在四十几个 GeV。

(4) 超对称粒子

超对称理论预言存在“超对称粒子”, 即它们的自旋与现存的粒子不同 (费米子 → 玻色子, 玻色子 → 费米子), 如超对称 e, μ, τ, ν, γ, W, Z... 分别记为 \tilde{e} , $\tilde{\mu}$, $\tilde{\tau}$, $\tilde{\nu}$, $\tilde{\gamma}$, \tilde{W} , \tilde{Z} ...。迄今

实验上一个都没找到。给出质量下限在 30—45GeV 之间。

二、非加速器实验

1. 1980 年,在苏联的 ITEP 上实验者通过氚的 β 衰变谱末端的精细测量提出,电子中微子质量不为零,并给出其质量范围为 $14 < m_{\nu_e} < 46\text{eV}$,到 1987 年,他们仍坚持这一结论,并给出接近的新结果: $17 < m_{\nu_e} < 40\text{GeV}$ 。

近年来,东京大学的 INS、苏黎世和 Los Alamos 等实验室给出更低的电子中微子质量上限,其中 Los Alamos 实验室 1990 年的结果为 $m_{\nu_e} < 9.4\text{eV}$,否定了苏联的结果。

双 β 衰变寿命测量推算出电子中微子质量上限在 1—6eV 之间(与模型有关)。

2. 双 β 衰变是一个十分活跃的领域,仍然没有找到无中微子的双 β 衰变的实验证据。最近有几个实验将其寿命的下限往前推进了一大步。美国的 UCSB 组已将 ${}^{76}\text{Ge}$ 的无中微子双 β 衰变寿命下限推至 2.4×10^{24} 年。我国由中国科学院高能物理研究所和中国科学院理论物理研究所组成的合作组将 ${}^{48}\text{Ca}$ 的寿命推至 1.14×10^{22} 年,比先前的实验推进了约一个量级。

UCI, ITEP/YePI 等实验组给出了 ${}^{82}\text{Se}$ 和 ${}^{76}\text{Ge}$ 以及 ${}^{100}\text{Mo}$ 的伴随两个中微子发射的双 β 衰变的证据,并给出其相应的寿命值。

3. 太阳中微子亏损继续被实验证实。Homestake 实验组利用 615 t 重的 C_2Cl_4 观察反应 ${}^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-$, 得到平均俘获率为 2.3 ± 0.3 太阳中微子单位,比按标准模型计算的值 7.9 ± 0.6 要小许多。

4 质子衰变的实验越做越大,IBM, Kamiokande 实验组已把质子衰变的下限推到 1×10^{32} 年,已超过最小 SU(5) 大统一理论预言的值。

5. 第五种力是否存在尚无强而有力的证据,目前几个新的实验倾向于否定其存在的结论。

6. 其他的诸如磁单极子的存在、中微子振

荡、中子振荡等尚无确切的实验证据。

三、理论部分

粒子物理理论方面的发展经历了初创(1945—1960)、辉煌发展(1960—1975)、巩固和探索(1975—1990)三个阶段。量子电动力学(QED)的完成,从强子的 $SU(3)_c$ 群分类的成功到量子色动力学(QCD)的建立,从弱相互作用宇称不守恒的发现、普适弱作用 V-A 理论的建立到电弱统一理论的确立,无一不是以标准模型的巨大成功而达到了高峰。

量子非阿贝耳规范场论是当前粒子物理基本理论的基础,电弱和强相互作用的标准模型就是基于 $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ 群的非阿贝耳规范理论。其中,电弱对称性 $SU(2)_L \times U(1)_Y$ 在费米标度 $\nu \simeq 250\text{GeV}$ 处自发破缺为 $U(1)_{EM}$,在低于 ν 的能量区域,仅保留色对称性和电磁对称性。

在标准模型中,夸克和轻子处于完全对应的位置。它们都有三代,并且已得到了 LEP 组和 SLC 组最新实验结果的确证,这是近二年来粒子物理的最重要的实验结果。

标准模型经受了一系列的实验检验,取得了很大成功,但是许多关键问题如 t 夸克、Higgs 的存在尚未得到实验证实。标准模型包含多达 20 个参数:三个耦合常数 g_s, g, g' ; KM 矩阵中的三个混合角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 和一个相角 δ ; 六种夸克和三种带电轻子的质量; Higgs 场的真空期待值 ν 和自作用耦合常数 λ ; 量子色动力学中的标度参数 Λ ; 规范不变 θ 真空的 θ 角。因此它不是一个基本理论。这些参数中,一小部分来自规范场部分,大部分则来自 Higgs 场部分。要减少与规范场有关的参数,就必须探索物理现象内部是否隐藏着更大的对称性;要减少与 Higgs 场有关的参数,就必须弄清楚 Higgs 场的实质以及对称性自发破缺的机制。这是探索更新、更深的粒子物理基本规律之必然。

规范场的三次和四次耦合项也因为实验条件的限制而没有加以检验。从理论本身讲,除

了对称性破缺的机制我们不知道之外,就弱相互作用而言,三个老问题仍然存在:

(1) 关于弱作用的自旋结构,为什么费米子的左手部分是规范二重态而右手部分是规范单态?

(2) 关于弱作用对味道的依赖, KM 矩阵的实质是什么?“代”结构是什么原因造成的,为什么代与代之间相比,相互作用极相似而质量差别却那么大?

(3) 弱作用的耦合常数 g 和 e 同量级($g \simeq 2e$),为什么弱作用这么弱?这是能量等级问题。

除此之外,再加上中微子质量、中微子振荡问题,以及是否存在新的相互作用(如“第五种力”)和质子能否衰变等等问题,促使我们考虑,我们虽然肯定了标准模型,但是没有理由不试图冲破标准模型的框架,去作各种新的探索。例如,将原来最小标准模型的规范群扩充为左、右对称的电弱统一模型 $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_Y$; 多于一个 Higgs 二重态的可能性;将 Higgs 粒子看作人工色费米子的结合态,甚至把 W^\pm, Z^0 粒子也作为有内部结构的粒子;把强相互作用和电弱相互作用统一起来,从而把夸克和轻子联系起来,自然消去规范反常以及自然解决电荷量子化问题的大统一理论(虽然主要由于质子衰变实验结果否定了最小 $SU(5)$ 模型,以及能量等级问题等等,现在已逐渐被冷落。但它开辟了理论家们寻求统一理论的方向);超对称、超引力以及超弦理论(曾经吸引了相当大一部分粒子物理理论家的兴趣,在数学结构上也有不少进展,但关于超对称、超引力理论所预言的超对称伴随粒子,至今在实验上没有发现它们的踪迹,再加上引力不可重整化的基本困难,使得它们的吸引力逐渐减弱;而超弦理论尽管从观念上作出了革命性的变革,用一维弦代替点粒子,从而可以期望没有发散困难,但至今超弦理论家们没有能力推出严格的理论公式,对于如何构成低能下的现实模型从而用实验去检验它也没有办法,因而这一、二年来超弦热已呈降温趋势)。

物理

作为强相互作用动力学理论的量子色动力学,与电弱统一理论相比,由于非微扰效应的复杂性,在实验检验方面仍有较大程度上的不确定性。格点规范方法仍是最可信赖的,但由于非常大的计算量,要作出准确而精密的预言仍有不少困难。近年来,由于 1987 年极高能重离子碰撞设备(在 CERN 和 BNL)的投入使用,关于一种可能的解除色禁闭的状态——夸克、胶子等离子体(QGP)——的讨论,引起了相当多粒子物理学家和核物理学家的关注。“WISGUR”理论(Insgur 和 Wise 最先提出的)——重味物理理论中,重味夸克的质量 M_c, M_b, M_t 取无穷大时的极限 QCD 理论,与模型无关,并具有新的自旋对称性和味道对称性,使理论的预言大为简化,并且具有极限的修正项可能被分类的特性, Bjorken 在 25 届国际高能物理会议上的报告,使相当多的粒子物理学家感兴趣。

近年来,凝聚态物理的发展,某些新的思想、概念、方法给粒子物理理论家以启发。在凝聚态物理和粒子物理交叉点上,(2+1)维场论模型被提出来,它有可能解释高温超导现象,同时把费米子和玻色子纳入一个统一的框架。当然,这一模型还远未能在实验上得到检验。

总之,从 1975—1990 年,标准模型经受住了实验的检验,得到巩固;同时人们也在不断探索,标准模型仍继续要突破、要发展。

粒子物理要进一步发展,实验上的突破性进展仍是第一位的,要冲出标准模型适用的范围,更系统、更全面、更精密地检验标准模型才能有所突破、有所发现。高能量、高亮度的加速器以及相应的探测设备是实现这一目标的有力工具。到本世纪末,随着 SSC(超高能、超导对撞机)的建成,预期我们将能了解电弱作用的破缺机制,有可能找到超对称伴随粒子以及得到基础费米子内部结构的线索;而 ϕ, τ -粲和 B 工厂的建成,开展精细测量以及稀有过程的研究,发现新粒子、新现象,亦将使我们微观物质世界的了解更加深入。

北京正负电子对撞机(BEPC)和北京谱仪

(BES)是目前在 J/ψ 、粲粒子和 τ 轻子能区开展物理工作的很好的实验工具。我国科学家确认了在 J/ψ 衰变中产生的新粒子态(胶子球、混合态、四夸克态等)并对它们性质进行了研究,在粲物理及 τ 轻子物理研究方面,也做了过细工作并取得进展,引起国际高能物理界的关注。

四、未来高能物理计划

1.美国的正、反质子对撞机 Tevatron 质心系能量已达 1.8TeV (10^{12}eV),在这个对撞机上很有希望找到 top 夸克。

2.德国的电子、质子对撞机 HERA 将于 1991 年开始运行,其电子、质子束能量分别为 30GeV 和 820GeV ,设计亮度为 $1.5 \times 10^{31}\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对这么高能电子-质子对撞,人们期待着有意义的物理结果。

3.西欧的 LEP 在 1994 年前后将使用超导高频腔,质心能量可望提高到 200GeV ,可以产生大量的 W 对,将提供一个十分有趣的研究领域。

4.美国正考虑一个雄心勃勃的计划:在本世纪末建造一台周长 87km 、质心能量为 40TeV 的质子-质子超导对撞机(SSC)和相应的探测装置,耗资约 80 亿美元。目前已选点在得克萨斯州,并开始设计与预制研究并设法筹

集到足够的经费。

5.西欧也在筹划利用 LEP 的隧道建造一台质心能量为 16TeV 的质子-质子超导对撞机(LHC),耗资约 14 亿美元,预计在 1998 年建成。

6.美国准备在 Brookhaven 国家实验室建造一台相对论性重离子对撞机(RHIC),预计将重离子加速到 $100-200\text{GeV}/\text{核子}$,为研究夸克、胶子等离子体状况及其他新现象提供了有利的工具。预计在 1998 年前后建成。

7.美国、西欧、苏联都在考虑建立不同能区的高亮度正负电子对撞机,即所谓“ φ 工厂”、“ τ -粲工厂”、“B 工厂”等,其亮度都要比现有的大一百倍左右,可以产生大量的 φ , τ , 粲粒子和 B。由于技术上的难度,经费问题尚未解决,这些计划尚在审议之中。

高能物理的发展与其他学科的发展一样,虽然不能随时给出激动人心的消息,但总是在稳步前进,使人们对微观世界的了解更深入一步。高能物理正准备一次大规模的进军,挑战与机遇并存。

中国的北京正负电子对撞机和北京谱仪虽然从能量上无法与 LEP 等相比,但由于能区选择得好,亮度高,仍然有希望获得国际关注的物理结果。

(上接第 399 页)

核和核子中的夸克;(4)核的味物理;(5)极端条件下的核;(6)碰撞核的动力学和热力学;(7)核物质的禁闭和非禁闭相;(8)基本相互作用的精确检验;(9)核物理和宇宙。

3.核物理研究的领域正在不断扩大,原来一些由高能物理研究的领域现在都归到核物理研究范围里来了。QCD 理论已为大家所接受。研究夸克-胶子等离子体问题引起众多研究者的兴趣。现在有一批实验设备正在建造中,可以提到的有:CEBAF(连续电子束加速器装置),原设计为 4GeV ,现在估计可以做到 6GeV ,

1993 年建成;计划中的加拿大的 TRIUMF 是一个 30GeV , $100\mu\text{A}$, 占空因子为 10% 的质子加速器,拟 1990—1995 年建成,投资为 470 百万美金,由美国、加拿大、日本和德国等联合投资;美国的 BNL 的相对论重离子对撞机 RHIC 的申请已被通过,投资 400 百万美金,拟于 1997 年建成。另外,还有德国 GSI 的 SIS-ESR,美国密西根州立大学的 $K=1200$ 重离子加速器,荷兰 KVI 和法国 Orsay 合作在建的 $K=600$ 的重离子加速器等等。这些设备的投入运行将对核物理的研究提供极为有利的手段。