

对轻子和层子谱的一点推测

东方晓 周咸建 黄涛 薛丕友

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文对轻子和层子谱作了一些推测,得到一些有兴趣的结果:若轻子只有四代,那末下一个轻子的质量大约是 4.2 GeV,若轻子有五代,那么第四代的轻子的质量大约是 5.6 GeV.对于层子来讲,当味道数只有 6 时,由 $(i\bar{i})$ 构成的介子质量大约是 15GeV,当味道数是 8 时,由 $(i\bar{i})$ 构成的介子的质量大约是 23GeV.

随着实验的发展,发现了新粒子 J/ψ 、 Υ 和重轻子 τ ,这预示着带有新“味道”的层子数目和轻子数目在增加.很自然地要进行轻子和层子谱的研究.

存在着一些理论和实验表明,轻子的种类和层子的种类应该是有限的.在量子色动力学理论中,为了使得渐近自由不被破坏,从而保证 QCD 预言的 Scaling 破坏与目前实验相符,层子的“味道”数目不应大于 16^[1].如果假定各类中微子的质量为零,它们与中间玻色子的耦合都相同,那么像 $e^+e^- \rightarrow \gamma\nu\bar{\nu}$ 这类产生正反中微子对的反应截面应与中微子种类数 N_ν 成线性关系^[2].因为如果中微子种类数是无限的,那么上述反应截面应为无穷大,这显然与实验矛盾.另外宇宙大爆炸标准模型到目前为止,看来与实验是不矛盾的.这个模型要求中微子种类数和氦的丰度之间有一定关系.因为在宇宙中氦的丰度(按质量)似乎 $\leq 29\%$,这意味着轻子种类数目不超过 7 种^[3].当丰度 $\leq 26\%$ 时,轻子种类数目为 3 到 4 种^[4].值得指出,自 1897 年发现电子后,直至 1975 年发现 τ 轻子,总共发现了 3 种带电轻子(如加上相应的反粒子和中微子,共 12 种).它们的增长速度比强子慢的多,这一切都使我们设想世界上轻子种类可能是有限的.

考虑到层子和轻子之间有着某种对称性^[5],以及消除 Adler 反常需要,层子与轻子电荷满足

$$\sum_i Q_i(\text{层子}) + \sum_i Q_i(\text{轻子}) = 0$$

因此,轻子种类有限,可能意味着层子的种类(味道)也是有限的.

先来看轻子类,已发现的带电的轻子质量由下表给出:

轻子	e	μ	τ
质量(MeV)	0.5110034 ± 0.0000014	105.65946 ± 0.00024	1807 ± 20

由上表看出,

$$\frac{m_\mu}{m_e} = 206.77, \frac{m_\tau}{m_\mu} = 17.10$$

轻子质量的增长倍数近似地以 $\frac{1}{10}$ 下降。最简单的外推, $\frac{m_4}{m_\tau} \sim 1.7$, 也就是说第四代轻子质量 $\sim 3\text{GeV}$ 。从 $e^+ + e^-$ 过程中实验上所测得的 R 值来看, 目前并没有迹象表明在 3GeV 处存在重轻子。当然, 存在两种可能性: 一种是轻子就是三代, 到 τ 为止; 另一种可能性是下一代轻子质量远大于 3GeV 。我们假定存在下一代轻子, 利用 e, μ, τ 的质量外推它的质量, 这种外推有很多可能的途径¹⁾, 现假定轻子的质量谱符合一个三次多项式, 即

$$m_n = m_1 c^{n-1} a^{\frac{1}{2}(n-1)(n-2)} b^{\frac{1}{3}(n-1)(n-2)(n-3)} \quad (1)$$

或

$$\begin{aligned} \lg m_n = \lg m_1 + (n-1) \lg c + \frac{1}{2}(n-1)(n-2) \lg a \\ + \frac{1}{3}(n-1)(n-2)(n-3) \lg b. \end{aligned} \quad (2)$$

其中 n 是代的数目, $m_1 = m_e, m_2 = m_\mu, m_3 = m_\tau$ 。这里有四个参数 m_1, c, a, b 。从 m_e, m_μ, m_τ 的质量可以定出三个参数

$$\begin{aligned} m_1 &= m_e \\ c &= \frac{m_2}{m_1} = \frac{m_\mu}{m_e} = 206.77 \end{aligned} \quad (3)$$

$$a = \frac{m_1 m_3}{m_2^2} = \frac{m_e m_\tau}{m_\mu^2} = 0.083$$

因此

$$\begin{aligned} \lg c &= 2.3155 \\ \lg a &= -1.0824 \end{aligned} \quad (4)$$

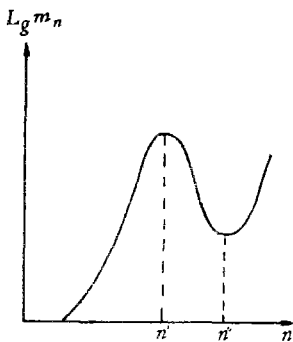


图 1

剩下的问题是如何确定 b 值? 对于一个三次曲线, 为了使得下一代质量比 m_τ 大, b 应大于 1, 当 $b > 1$ 时, 一般地讲质量随 n 的关系一开始是单调上升到极大值, 然后下降, 到达极小值后再上升, 如果我们假定一个质量只能对应一个 n , 那么很自然地将只取一开始上升到极大值这一段曲线(见图)。为了确定 b 值, 本文假定曲线的极大值位置 n' 正相应于最后一代轻子的位置 n_{\max} , 这一条件使得对于一定的 n_{\max} , 就唯一地确定了 b 值, 例如²⁾:

$$\begin{aligned} \lg b &= 0.11 \quad \text{当 } n_{\max} = 4 \\ \lg b &= 0.17 \quad \text{当 } n_{\max} = 5 \end{aligned} \quad (5)$$

那么, 由方程(1)以及在上述假定下, 轻子的代数只可能取到 5。

由式(3)和式(5)给出的参量值, 很容易地从方程(1)得到轻子谱的质量:

1) 本工作完成同时, 见到 Bjorken 的予印本^[6], 用二次曲线外推, 讨论了类似问题。

2) 当 $b = 1$ 时, 方程(1)退化为二次曲线, 这时极大值位置 $n_{\max} = 3.6$, 按照上述假定, 不可能有第四代轻子, 这里不予讨论, 因此, 如果存在下一代轻子, 必须有 $\lg b > 0$ 。

$$m_4 = m_{\tau'} = 4.2\text{GeV} \quad \text{当 } n_{\max} = 4, \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} m_4 &= m_{\tau'} = 5.6\text{GeV} \\ m_5 &= m_{\tau''} = 6.9\text{GeV} \end{aligned} \right\} \text{当 } n_{\max} = 5 \quad (7)$$

这些结果是否正确有待实验的考验,目前的实验结果并不排除这些可能性。

由于层子与轻子具有一定的对称性,我们猜想层子的质量公式很可能遵从方程(1)的形式,类似地也可以用来讨论层子的质量。实验上至今还没有发现层子,存在各种方式定义层子的质量,但对于重层子 m_c 、 m_b 来讲分歧不大,这里取等效质量:

$$\begin{aligned} m_c &\sim 1.5\text{GeV} \\ m_b &\sim 4.5\text{GeV} \end{aligned} \quad (8)$$

对于奇异层子来讲,各种不同取法仅差二倍左右,这里取:

$$m_s \sim 0.5\text{GeV} \quad (9)$$

由式(8)和式(9),人们曾猜想层子质量之间可能是按 3^n 次方规律在增加,实验上 ϕ 、 J 、 Y 基本上是按 3^n 次方规律增加。但是这种增长速度太快,例如按 3^n 规律,下几个重介子将是 27GeV 、 81GeV 、 243GeV ... ,而且层子数目也是无穷的。本文从轻子质量讨论得到启发,猜想层子数目也可能是有限的,从式(8)和(9)的数值,并不能唯一地确定是按 3^n 次方规律增加,很可能是与轻子类似,按方程(11)的方式增加。从(8)式和(9)式可以定出参量:

$$\begin{aligned} m_1 &= m_{\tau} = 0.5\text{GeV} \\ c &= \frac{m_2}{m_1} = \frac{m_c}{m_s} = 3 \\ a &= \frac{m_1 m_3}{m_2^2} = \frac{m_s \cdot m_b}{m_c^2} = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

这里数 n 不是代的数目,而是 $m_s = m_1$, $m_c = m_2$, $m_b = m_3$, $m_t = m_4$, $m_{b'} = m_5$, $m_{\tau'} = m_6$, ... 即是 $N + 2$, N 是味数。

$$\left(\begin{array}{c} u \\ d \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} c \\ s \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} t \\ b \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} t' \\ b' \end{array} \right), \dots$$

如果再考虑到 u 、 d 的质量, b 参数就可以完全确定,然而由于对 m_u 和 m_d 的定义不同,差别很大。这里采取像讨论轻子质量相类似的方法来确定 b 值。

$$\left. \begin{aligned} \lg b &= -0.1301 \quad \text{当 } n = 4 \quad (\text{或 } N = 6) \\ \lg b &= -0.0305 \quad \text{当 } n = 6 \quad (\text{或 } N = 8) \\ \lg b &= -0.0134 \quad \text{当 } n = 8 \quad (\text{或 } N = 10) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

由式(10)和(11)定出的参量可以得到层子的质量谱:

$$m_t = 7.4\text{GeV} \quad \text{当 } N = 6 \quad (\text{或 } n = 4) \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} m_t &= 11.7\text{GeV} \\ m_{b'} &= 23.1\text{GeV} \\ m_{\tau'} &= 29.8\text{GeV} \end{aligned} \right\} \text{当 } N = 8 \quad (\text{或 } n = 6) \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} m_t = 12.7\text{GeV} \\ m_{b'} = 32\text{GeV} \\ m_{t'} = 66\text{GeV} \\ m_{b''} = 106\text{GeV} \\ m_{t''} = 127\text{GeV} \end{array} \right\} \text{当 } N = 10 \text{ (或 } n = 8) \quad (14)$$

如果按流代数计算的比值:

$$\frac{m_d}{m_s} \approx \frac{1}{20}, \quad \frac{m_d}{m_u} \approx 1.8$$

类似于轻子情况,也可以定义按代数的质量规律,即

$$\left(\begin{array}{c} u \\ d \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} c \\ s \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} t \\ b \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} t' \\ b' \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} t'' \\ b'' \end{array} \right)$$

代数 $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

那么,由 m_d, m_s, m_b 的质量可以作类似的讨论,这时 $m_{b'} = 10 \sim 20\text{GeV}$.

本文只是从已有的轻子、层子的质量,在一定的假定下,对轻子和层子的质量谱作了一些猜测性的讨论.如果宇宙大爆炸模型是正确的,若轻子代数是4,那末第四代轻子的质量大约是4.2GeV,若轻子代数是5,那末第四代轻子的质量约为5.6GeV.这个结果将很快可以在实验中考验.

参 考 文 献

- [1] H. D. Politzer, *Phys. Rev. Lett.*, **30**(1973), 1346. D. H. Gross and F. Wilczek, *Phys. Rev. Lett.*, **30**(1973), 1343.
- [2] E. Ma and J. Okada, *Phys. Rev. Lett.*, **41**(1978), 287.
- [3] G. Steigman et al., *Phys. Lett.*, **66B**(1977), 202.
- [4] S. Weinberg, X IX International Conference on High Energy Physics, Tokyo (1978).
- [5] H. Harari, *Physics Reports.*, **42C**(1978), 238.
- [6] D. Bjorken, SLAC-pub., 2195(1978).

SOME CONJECTURES ON LEPAONIC AND STRATONIC SPECTRA

DONG FANG-XIAO ZHOU XIAN-JIAN HUANG TAO XUE PEI-YOU
(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this note the spectra of leptons and stratons are conjectured and some interesting results are obtained: If the number of the generations of leptons are four, then the next lepton mass is about 4.2 GeV, and if the number of the leptons are five, then the fourth lepton mass is about 5.6 GeV. For stratons, if the number of flavour is six, then the mass of the meson with ($t \bar{t}$) as a bound state is about 15 GeV, and if the number of flavour is eight, then it is about 23 GeV.