

# 标子的产生与探测

钟朝武  
(南开大学)

## 摘 要

本文对 pp 和 p $\bar{p}$  对撞中标子的产生截面进行了计算;并讨论了标子的探测。

## 一、引 言

文献[1]关于自发破缺的理论预言:在 Weinberg-Salam 模型基础上,标子(Scalon)的质量很可能在 10GeV 左右。这里根据 Drell-Yan 的机制<sup>[2]</sup>,采用 Field-Feynman<sup>[3]</sup>关于夸克的分布函数,对于 pp 对撞, p $\bar{p}$  对撞产生标子的截面进行了计算。并对标子的探测进行了讨论。

我国正在设计建造大型加速器。用即将建成的加速器来产生并探测标子,将是有意義的实验之一。

## 二、标子的产生

在部份子模型中,在高能情况,根据 Drell-Yan 的机制,可以把质子质子对撞产生标子 S 的过程

$$p + p \rightarrow S + X \quad (1)$$

看成基本过程  $u + \bar{u} \rightarrow S$ ,  $d + \bar{d} \rightarrow S$ ,  $s + \bar{s} \rightarrow S$  的叠加。

采用文献[3]的分布函数

$$u(x) = (1-x)^3 \{ 161.579 - 177.909 \sqrt{x} + (225.327 - 230.510 \sqrt{x})(2x-1) \\ + (70.699 - 52.427 \sqrt{x}) \cos [2 \cos^{-1}(2x-1)] + (6.781 - 1.371 \sqrt{x}) \\ \cos [3 \cos^{-1}(2x-1)] \} / x,$$

$$\bar{u}(x) = 0.17(1-x)^{10}/x;$$

$$d(x) = (1-x)^4 \{ -3.175 + 5.607 \sqrt{x} + (-2.937 + \\ 2.634 \sqrt{x})(2x-1) + (1.082 - 2.288 \sqrt{x}) \\ \cos [2 \cos^{-1}(2x-1)] + (0.674 - 0.247 \sqrt{x}) \\ \cos [3 \cos^{-1}(2x-1)] \} / x;$$

$$\bar{d}(x) = 0.17(1-x)^2/x;$$

$$S(x) = 0.10(1-x)^8/x;$$

$$\bar{S}(x) = 0.10(1-x)^8/x$$

以  $M$  表标子的质量, 文献 [1] 估计  $M \simeq 10\text{GeV}$ , 标子场与费米场的耦合系数  $g_{SNN} = m_N/\langle\phi\rangle$  式中  $m_N$  表费米子质量,  $\langle\phi\rangle = 247\text{GeV}$ . 以  $x$  表质心系中所产生的标子所具有的质子动量的分数, 则微分截面

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{\pi}{2M^2} H(\tau, x), \tag{2}$$

$$H(\tau, x) = \frac{x_1 x_2}{(x^2 + 4\tau)^{1/2}} W(x_1, x_2), \tag{3}$$

$$\begin{aligned} W(x_1, x_2) = & \frac{1}{3} \left\{ \frac{m_u^2}{\langle\phi\rangle^2} [u(x_1)\bar{u}(x_2) + \bar{u}(x_1)u(x_2)] \right. \\ & + \frac{m_d^2}{\langle\phi\rangle^2} [d(x_1)\bar{d}(x_2) + \bar{d}(x_1)d(x_2)] \\ & \left. + \frac{m_s^2}{\langle\phi\rangle^2} [S(x_1)\bar{S}(x_2) + \bar{S}(x_1)S(x_2)] \right\}, \tag{4} \end{aligned}$$

式中

$$x_1 = \frac{1}{2} [(x^2 + 4\tau)^{1/2} + x], \tag{5}$$

$$x_2 = \frac{1}{2} [(x^2 + 4\tau)^{1/2} - x], \tag{6}$$

$$\tau = M^2/S, \tag{7}$$

以上式中的  $m_u, m_d, m_s$  表夸克的质量,  $S = (p_1 + p_2)^2$ ;  $p_1, p_2$  为对撞质子的动量.

这里产生标子的 Drell-Yan 机制示意如图 1. 根据(2)式得到标子产生的总截面

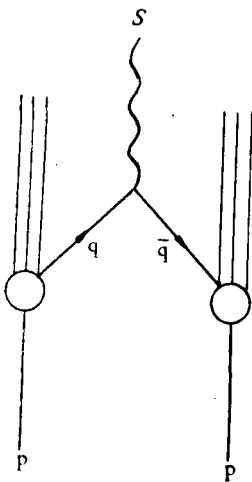


图 1

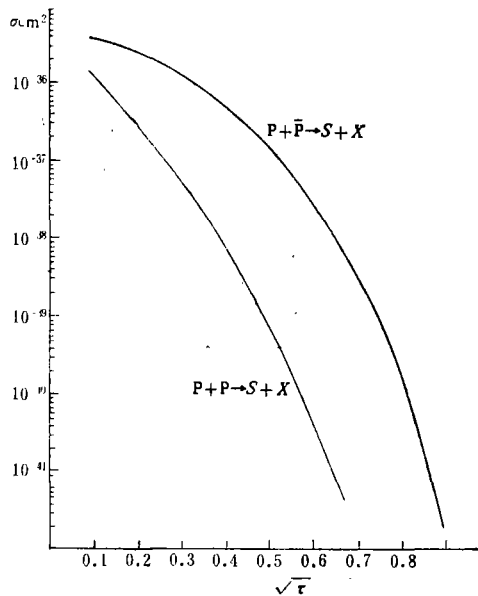


图 2

$$\sigma = \frac{\pi}{2M^2} \tau \int_{\tau/x}^1 \frac{dx}{x} W(x, \tau/x). \quad (8)^D$$

以估计值  $m_u = 0.3\text{GeV}$ ,  $m_d = 0.3\text{GeV}$ ,  $m_s = 0.5\text{GeV}$ , 由(8)式算得  $\sigma$  的结果, 示于图 2 中.

同样对质子反质子对撞产生标子的截面的计算结果也示于图 2 中, 从图中可以看出, 在同样能量对撞中,  $p\bar{p}$  对撞产生标子的截面, 比  $pp$  对撞产生标子的截面约大一个数量级. 显然能越高,  $\sqrt{\tau} = M/\sqrt{S}$  越小时,  $\sigma$  越大.

### 三、标子的性质

标子是不稳定的, 它可以衰变成轻子:

$$S \rightarrow e^+ + e^-$$

$$S \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

$$S \rightarrow \tau^+ + \tau^-$$

标子的特性是它与费米场的耦合系数与费米子的质量成正比. 这对标子的探测具有很重要的意义. 由于  $m_e = 0.511\text{MeV}$ ,  $m_\mu = 106\text{MeV}$ ,  $M_\tau = 1782\text{MeV}$ , 所以标子将主要衰变成一对  $\tau^+\tau^-$  轻子. 如果认为这些轻子的质量都比标子的质量小许多, 这样标子衰变成各轻子对的分支比约与轻子质量平方比一致. 这一特点是实验上探测标子的依据之一.

设想标子衰变成强子的机制如图 3 所示. 标子先衰变成一对夸克, 夸克再碎裂成强子. 以  $m_u = 0.3\text{GeV}$ ,  $m_d = 0.3\text{GeV}$ ,  $m_s = 0.5\text{GeV}$ ,  $m_c = 1.6\text{GeV}$ ,  $m_b = 4.8\text{GeV}$  来考虑. 如果标子的质量为  $M = 10\text{GeV}$  或略小一些, 则

$$S \rightarrow c + \bar{c} \rightarrow \text{强子}$$

将是主要的衰变道. 因此实验中出较多的 c 型强子也将是标子探测的依据之一.

由于标子的质量只是一个估计值, 如果标子的质量大于  $10\text{GeV}$  许多, b 型强子将可能成为标子的衰变产物. 出现较多的 b 型强子将为这时探测标子的依据.

估计标子的寿命小于  $10^{-16}$  秒, 所以标子的探测只能依据标子的性质, 探测其衰变产物的质和量.

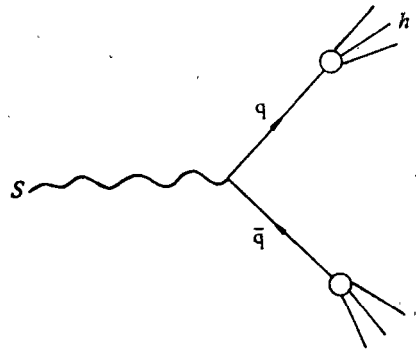


图 3

### 四、讨 论

有些文件, 如[4], 设想 Higgs 粒子只有一个, 并且 Higgs 粒子与费米场的耦合系数

1) (8)式中积分的上下限由变量变换  $Y = x_1x_2$ ,  $x = x_1$  和有关  $dx_1dx_2$  的重积分算得. 或由物理图象和  $x_1x_2 = \tau$  得  $x_2 = 1$  时,  $x_1 = \tau$  为最小(下限).

和文献[1]中的标子一样。因此这里的计算和讨论也适用于这种 Higgs 粒子。

计算中夸克的质量是重要参数。根据重子谱的估计值  $m_u = 0.3\text{GeV}$ ,  $m_d = 0.3\text{GeV}$ ,  $m_s = 0.5\text{GeV}$ 。但是根据介子谱则估计值为  $m_u = 0.1\text{GeV}$ ,  $m_d = 0.1\text{GeV}$ ,  $m_s = 0.3\text{GeV}$ 。由于目前还没有了解到统一的、可靠的夸克质量的参数,因此这里的计算结果的不确定性,主要来自夸克质量的不能很好确定。如果选用后一组参数,标子的产生截面将减小九倍左右。

从计算过程中知道,价夸克  $u$  和  $d$  对标子产生截面的贡献占 95% 以上。 $s$  夸克的贡献只占 3% 左右。

计算中略去了可能存在的海中  $c$  夸克的贡献。根据文献[5]中的估计, $c$  和  $\bar{c}$  的分布函数的系数比已考虑的  $s$  和  $\bar{s}$  夸克的分布函数的系数小一个数量级。即  $c$  夸克是很少的。 $c$  夸克的质量则比  $s$  夸克的大。可以根据这两个因素估计  $c$  夸克对标子产生截面的影响,不会比  $s$  夸克的影响大。即略去海中的  $c$  夸克,不会很大地影响所得的结果。

由于电磁作用的存在,并且其效果比标子的约大上千倍。所以标子的产生与探测将是比较困难的。但是标子具有明确的罗仑兹不变质量。例如由标子衰变产生的一对  $\mu^+$   $\mu^-$  粒子将具有这个特点。另一方面标子的自旋是零,其衰变产物的总自旋也应为零。这些特点将有助于区别标子衰变产物与电磁作用产物。如果标子质量在 10 GeV 左右, $\gamma$  共振的干扰将进一步增加探测标子的困难。

Higgs 粒子的存在是自发破缺理论是否反映客观自然的重要问题之一。因此,产生并探测这类粒子是有意义的。

### 参 考 文 献

- [1] E. Gildener and S. Weinberg, *Phys. Rev.*, **D13** (1976), 3333.
- [2] S. D. Drell and T. M. Yan, *Annals of Physics*, **66** (1971), 572.
- [3] R. D. Field and R. P. Feynman, *Phys. Rev.*, **D15** (1977), 2590.
- [4] J. C. Taylor: *Gauge theories of weak interactions*. 1976 (Cambridge University Press, London).
- [5] 郁宏、李炳安: *物理学报*, **26** (1977), 367.

## PRODUCTION AND DETECTION OF THE SCALON

ZHONG CHAO-WU

(Nankai University)

### ABSTRACT

The production cross section for the scalon in  $pp$  and  $p\bar{p}$  collisions is estimated, and the detection of the scalon is discussed.