

研究简报

D 介子与  $\Sigma_c^+$  重子寿命的宇宙线数据

赵树松 彭守礼

(中国科学院高能物理研究所) (云南大学)

摘要

本文提出一个证认宇宙线中新X粒子的分析原则：筛比较法。对目前全部已知乳胶室事例进行了判定。其中结果有D介子和  $\Sigma_c^+$  重子的平均寿命和质量， $\tau(D^+) = 5.8 \times 10^{-13}$  秒， $\tau(D^0) = 2.0 \times 10^{-13}$  秒， $\tau(\Sigma_c^+) \simeq 2.4 \times 10^{-14}$  秒。支持  $\Delta I = 1$  的选择规则。

高能 ( $\geq 10^4 \text{GeV}$ ) 宇宙线中产生的新粒子即X粒子<sup>[1]</sup>，其寿命为  $10^{-14} - 10^{-12}$  秒，质量为  $1.5 - 3.5 \text{GeV}/c^2$ 。这是些什么粒子，至今尚未定论，因为在分析宇宙线实验结果时找不到证认X粒子的可靠原则。普遍认为X粒子可能是粲(charm)粒子。另一方面，加速器数据<sup>[2]</sup>已给出D, F介子的质量，几个衰变道的分支比，其寿命还不清楚。我们用筛比较法能够判定出宇宙线事例中粒子的同位旋，衰变道，从而确定了粲粒子的寿命，在一定程度上补充了现有加速器数据。同时宇宙线数据提供了  $\Sigma_c^+$  及  $\Xi_c^+$  重子存在的证据，至于它们的详细性质则是今后更高能量加速器的研究课题。

筛比较法是用加速器数据去判定宇宙线事例。筛比较法的原则是：

1. 强子-强子碰撞产生新粒子的截面相同。FNAL-400GeV/c 质子束-精密乳胶室实验表明X粒子成对产生的截面<sup>[3]</sup>  $\sigma_{X\bar{X}}$  与核子-铍核实验产生  $\psi''(3770) \rightarrow D\bar{D}$  的截面在误差范围内相同

$$\sigma_{X\bar{X}} = \sigma_{D\bar{D}} = \sigma_{D^0\bar{D}^0} + \sigma_{D^+\bar{D}^-}$$

实际上，X粒子成对产生的截面为<sup>[3]</sup>： $\sigma_{X\bar{X}}/\sigma_T(pp) = (1-2) \times 10^{-3}$ ，而测量  $D\bar{D}$  成对产生截面的有四个实验<sup>[4]</sup>： $\sigma_{D\bar{D}} \leq 25 \mu\text{b}$ ， $\sigma_{D\bar{D}} = 30 \mu\text{b}$ ， $\sigma_{D\bar{D}} = 290^{+130}_{-90} \mu\text{b}$ ， $\sigma_{D\bar{D}} = 100 - 400 \mu\text{b}$ 。

2. 认定  $D^+\bar{D}^0$  介子是同位旋  $I=1/2$  的双态， $D^+$  介子  $I_3=1/2$ ， $D^0$  介子  $I_3=-1/2$ ，F介子  $I=0$ ，归纳目前加速器已积累的数据<sup>[2]</sup>得到粲粒子弱作用衰变的选择规则为：

粲数： $|\Delta C| = 1$ ，奇异数： $|\Delta S| = 1$ ，同位旋： $|\Delta I_3| = 1 \rightarrow |\Delta I| = 1$  (非轻子衰变)。

3. 成对产生的新粒子的电荷数及衰变道与经验选择规则相符合，且衰变产物具有较大的横动量 ( $P_\perp = 400 - 1000 \text{MeV}/c$ )。

4. 对同类弱衰变粒子, 衰变总宽度-质量比  $\Gamma/M$  的数量级相同. 在普通强子中  $J^P = 0^-$  介子弱衰变  $\Gamma/M \simeq 10^{-16}$ ,  $J^P = \frac{1}{2}^+$  重子  $\Gamma/M \simeq 10^{-15}$ . 对于弱衰变的 X 粒子  $\Gamma/M \simeq 10^{-12}$ . 零因次量  $\Gamma/M$  标志相互作用的性质. 这个原则使我们能够将“云南”事例中的粒子, 印度 Kolar 金矿中发现的粒子排除开去, 因为它们的宽度-质量比  $\Gamma/M \sim 10^{-19}$ .

目前, 精密乳胶室是寿命介于  $10^{-14}$ — $10^{-12}$  秒的粒子的唯一探测器. 应用上述筛选比较法原则对全部乳胶室发现的事例进行筛选. 首先筛选  $D\bar{D}$  介子成对产生的事例, 第一步挑出干净的两体产生事例, 第二步用原则 1—4 去逐个比较各事例的衰变道. 6B-23

表 1

事例	L (厘米)	作用能量 (TeV)	产生的 特征	衰 变 方 式		质量 (GeV/c <sup>2</sup> )	寿命 ( $\times 10^{-13}$ 秒)
				(实验)	(判定)		
6B-23	1.38 4.88	10	成对	$\pi^0 + K^\pm$ 或 $\pi^0 + \Sigma^\pm$ $\chi^\pm + \chi^0$	$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma^\pm \rightarrow \Sigma^\pm \pi^0 \\ D^- \rightarrow K^0 \pi^- \end{array} \right.$	3.50	0.42 ~15
T 星	7.30 2.50	20	成对	$\pi^0 + ?$ $\pi^0 + ?$	$\left\{ \begin{array}{l} D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0 \\ \bar{D}^0 \rightarrow K^0 \pi^0 \end{array} \right.$		0.1—1.0 0.2—3.0
ST-2	7.63 1.00 8.90 8.40	25	多道 协同	$X^\pm + \chi^0 + \eta^0$ ]级   $\rightarrow \chi^\pm + \chi^0$ ]联 $\chi^\pm + \chi^0$ $\chi^0 + \pi^0$	$\left\{ \begin{array}{l} \Xi_c^\pm \rightarrow \Sigma^\pm \bar{K}^0 \eta^0 \\ \quad \quad \quad \rightarrow \Lambda^0 \pi^\pm \\ D^- \rightarrow K^0 \pi^- \\ \bar{D}^0 \rightarrow K^0 \pi^0 \end{array} \right.$	2—3	20 <56 ~7 6
11C-34	1.10 0.063 1.10 6.14 1.18 1.60 1.60	20	多道 协同 成对	$X^\pm + \chi^0$ ]级   $\rightarrow \chi^\pm + \chi^0$ ]联 $\chi^0 + \pi^0$ $\chi^0 + \pi^0$ $\gamma + \chi^\pm + \chi^0(?)$ $\chi^\pm + \chi^0$ $\chi^\pm + \chi^0$	$\left\{ \begin{array}{l} \Xi_c^\pm \rightarrow \Sigma^\pm K^0 \\ \quad \quad \quad \rightarrow \Lambda^0 \pi^\pm \\ \bar{D}^0 \rightarrow K^0 \pi^0 \\ \bar{D}^0 \rightarrow K^0 \pi^0 \\ D^\pm \rightarrow \bar{K}^0(K^0)\pi^\pm \\ D^\mp \rightarrow K^0(\bar{K}^0)\pi^\pm \end{array} \right.$	>2	0.4 0.05 1.2 1.4 ~5 ~10 ~10
6a-1PL	0.79 6.10 0.27	20	成对	$\chi^\pm + \chi^\pm + \chi^\mp + \chi^0$ 作用   $\rightarrow \chi^\pm + \chi^0$	$\left\{ \begin{array}{l} D^\pm \rightarrow \bar{K}^0(K^0)\pi^\pm \pi^\pm \pi^\mp \\ D^\mp \rightarrow K^0(\bar{K}^0)\pi^\mp \end{array} \right.$	>1.5	~4 <18 ~1
BEC-II	3.04 6.34	10	成对	$\pi^\pm + \eta^0$ 或 $\Sigma^\pm + \eta^0$ 或 $\pi^0 + K^\pm$ 或 $\pi^0 + \Sigma^\pm$	$\left\{ \begin{array}{l} F^- \rightarrow \eta \pi^- \\ A_c^\pm \rightarrow \Sigma^\pm \pi^0 \end{array} \right.$	$1.50 \pm 0.38$ $2.10 \pm 0.53$	5.1 3.4
AJ-20*	0.890	0.205	不成对	$K^0 + \chi^\pm$	$\left\{ \begin{array}{l} X^\pm \rightarrow K^0 K^\pm \\ K^0 K^- \end{array} \right.$	1.3—1.7	13—17
AJ-21*	5.600	0.205	不成对	$\chi^\pm + \chi^\mp$	$X^0 \rightarrow K^+ K^-$	$1.53 \pm 0.16$	0.998
$V^0 - X^0$ *		0.400	成对	$e + \chi^\pm + ?$ $\pi^0 + ?$	$\left\{ \begin{array}{l} D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ e^- \\ \bar{D}^0 \rightarrow K^0 \pi^0 \end{array} \right.$	1.6—2.0 0.9—1.5	0.35 <14

\* 加速器-精密乳胶室实验.

满足原则 1、3、4, 但其中有一支  $X^+ \rightarrow x^+\pi^0$  的衰变道, 设  $X^+ = D^+$ , 当  $x^+ = K^+$  时  $\Delta I_3 = 0$ , 又  $x^+ = \pi^+$  时  $\Delta I_3 = 1/2$  都违反原则 2, 因此被排除. 同理 BEC-II 也被排除. 如此继续筛选的结果, 6a-19L 是  $D^-D^+$  成对产生, T 星及  $V^0 - X^0$  是  $\bar{D}^0D^0$  成对产生. 然后再从多道协同产生事例中去筛选  $\bar{D}D$  对, 等等. 干净的两体成对产生事例中无  $\bar{F}F$  对.  $F^\pm$  介子出现在协同产生事例 BEC-II 中. BEC-II 的另一支不是 D, F 介子, 由电荷-量子数关系  $Q = I_3 + (c + s)/2$  应为  $\Lambda_c^+$  重子. 多次反复筛选的结果列于表 1 第五列中. 在判定衰变道及量子数后, 按指数律求出 D 介子的平均寿命, 由于事例数较少, 统计性差. 从加速器和宇宙线数据的共同结果列于表 2. 由经验选择规则确定  $\Sigma_c^+$  重子的理由是: (i) 由事例衰变道定出 X 粒子的质量大, 寿命长, (ii) 级联衰变的中间粒子是 X 粒子, (iii) 多道事例中粲数总和为零, ST-2 满足这个条件, 11C-34 中衰变道  $X^\pm \rightarrow \gamma + x^\pm + x^0$  可疑.

表 2

名称	$I[J^P]$	粲数 c	质量 (MeV/c <sup>2</sup> )	平均寿命(秒)	
D <sup>+</sup>	1/2[0 <sup>-</sup> ]	+1	1865*	$5.8 \times 10^{-13}$	$\frac{\Gamma(D^+)}{\Gamma(D^0)} \approx 0.35$
D <sup>0</sup>	1/2[0 <sup>-</sup> ]	+1	1860*	$2.0 \times 10^{-13}$	
F <sup>+</sup>	0[0 <sup>-</sup> ]	+1	2040*	$\sim 5.1 \times 10^{-13}$	
$\Sigma_c^+$	1[1/2 <sup>+</sup> ]	+1	2900 ±900	$\sim 2.4 \times 10^{-14}$	
$\Lambda_c^+$	0[1/2 <sup>+</sup> ]	+1	2260*	$\sim 3.4 \times 10^{-12}$	
$\Sigma_c^+$	1/2[1/2 <sup>+</sup> ]	+2	~3000	$\sim 2 \times 10^{-12}$	
* $\pi_c^\pm$	1[0 <sup>-</sup> ]	0	1530* ±160	$\sim 10^{-12}$ *	可能
* $\pi_c^0$	1[0 <sup>-</sup> ]	0	1530* ±160	$\sim 10^{-12}$ *	可能

\* 加速器数据.

— 估计的量子数.

由 FNAL-205GeV/c 质子束照射精密乳胶室获得的 AJ-20 及 AJ-21 事例中, X 粒子不是成对产生的<sup>[5]</sup>, 其产生截面,  $\Gamma/M$ , 大横动量都与其它 X 粒子一样, 可能是粲数  $C = 0, I = 1$  的粒子  $\pi_c^{\pm 0}$  的候选者.

如果今后得到更多的 X 粒子的事例, 则继续用筛比较法做判定, 而且数据的积累使我们有可能对粲重子的性质进行统计性的研究.

## 讨 论

1. 在筛选的过程中实际上用的是  $|\Delta I_3| = 1$  的选择规则, 但是  $\Delta I = 1$  的规则对 D

介子的非轻子宽度比有一个严格的上限<sup>[6]</sup>:

$$0 \leq [\Gamma_h(D^+)/\Gamma_h(D^0)] \leq 3.$$

宇宙线数据  $\Gamma_h(D^0)/\Gamma_h(D^+) \simeq 0.35$ , 支持  $\Delta I = 1$  的选择规则.

2. 由标准的粲层子模型, 卡比玻允许 (Cabbibo favoured) 的弱衰变 ( $c \rightarrow s$ ) 率可估计如下:

$$\Gamma(D) = 3 \times \frac{G^2 m_c^5}{192\pi^3} \cos^4 \theta_c \left[ 1 - 8 \left( \frac{m_s}{m_c} \right)^2 \right] / \left[ \frac{1}{4} \sin^2 2\theta_c \right]$$

这里  $\theta_c$  是卡比玻角, 粲层子质量  $m_c = 1500 \text{ MeV}/c^2$ ,  $s$  层子  $m_s = 150 \text{ MeV}/c^2$ , 因子“3”是色自由度的贡献, 像 K 介子一样已考虑了因子  $\left[ \frac{1}{4} \sin^2 2\theta_c \right]$  的加强. 估计的数值  $\Gamma(D) = 3 \times 10^{13} \text{ 秒}^{-1}$ ,  $\tau^{(H)}(D) \simeq 3 \times 10^{-14} \text{ 秒}$ . 与实验数据相差一个数量级. 可见, 粲介子的弱作用性质有特殊之处, 尚待进一步研究.

本文仅只考虑了宇宙线 X 粒子事例中带粲数的粒子, 在宇宙线能量很高的情况下会产生带底 ( $b$ ) 顶 ( $t$ ) 层子量子数的新粒子, 目前已找到的七个事例 (包括我国于 1972 年发现的“云南”事例) 是可能的候选者, 其中的新粒子质量  $M = 5-20 \text{ GeV}/c^2$ , 对这类新粒子事例, 我们将在另一篇文章中分别讨论<sup>[7]</sup>.

本工作曾同张子贤、伍经元两同志进行了有益的讨论, 丁林恺、刘永钺、袁余奎、谭有恒、况浩怀等同志给予了许多帮助和支持, 在此一并表示感谢.

校后附记<sup>9</sup>

今年 8 月日本京都国际宇宙线会议上 H. Fuchi 等报告, 在  $400 \text{ GeV}/c$  质子-精密乳剂室实验中找到两个事例 EM-25, W1-319 (16th ICRC Vol. 6 (1979) 106). 若进一步用本文的筛比较法判定的结果应是: EM-25 是  $D^0 \bar{D}^0$  成对产生事例, W1-319 也是  $\bar{D}^0 D^0$  成对产生, 这恰恰与 H. Fuchi 等的实验结果符合. 由此佐证筛比较法的原则是可靠的, 其结果将是可信的.

### 参 考 文 献

- [1] K. Niu, Proc. 19th Int. Conf. High Energy Physics, **B10**(1978), 447, Tokyo, H. Fuchi et al., 宇宙线研究, **23**(1978), 3.
- [2] C. Brieman et al., *Phys. Lett.*, **75B**(1978), 1.
- [3] H. Fuchi et al., 15th Int. Cosmic Ray Conf., **7**(1977) 376.
- [4] L. Baum et al., *Phys. Lett.*, **77B**(1978), 337.
- [5] K. Hoshino et al., 14th Int. Cosmic Ray Conf. **7**(1975), 2448.
- [6] M. Peshkin et al., *Nucl. Phys.*, **B122**(1977), 144; A. Pais et al., *Phys. Rev.*, **D15**(1977), 2529.
- [7] 赵树松、彭守礼, 粲粒子与高能宇宙线中的新粒子, (待发表).

1) 1979 年 12 月 19 日附记.

## COSMIC RAY'S DATA OF MEAN LIVES OF D MESONS AND $\Sigma_c^+$ BARYON

ZHAO SHU-SONG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

PENG SHOU-LI

(Yunnan University)

### ABSTRACT

A sieve-comparison method is proposed according to the accelerator's data of charmed particles to identify the properties of the X-particles observed in high energy cosmic ray interactions. The principles of the sieve-comparison method are as follows:

1. The cross section  $\sigma_{X\bar{X}}$  of these X-particles produced in pair should be approximately equal to the cross section  $\sigma_{D\bar{D}}$  of D meson produced in pair.

2. The empirical selection rules of the decay in weak interaction from the experiments using accelerators should be suitable to these X-particles: charmed number  $|\Delta c| = 1$ , strangeness  $\Delta s = \Delta c = 1$ , isospin  $|\Delta I_3| = 1 \rightarrow |\Delta I| = 1$ , (nonlepton).

3. The charge and the decay channel should be in coincidence with the empirical selection rule,  $Q = I_3 + \frac{B+C}{2}$  for each X particle and its transverse momentum should be large ( $P_{\perp} = 400-1000\text{MeV}/c$ ).

4. For the same kind of the particles, their width-mass ratio ( $\Gamma/M$ ) should be of the same order of magnitude.

All the X particles observed so far in emulsion chambers have been analyzed according to this method, it is found that they are possibly D,  $\bar{D}$ ,  $\Sigma_c^+$ ,  $\Lambda_c^+$ ,  $\Xi_c^+$  (see table I). Inversely, we may estimate the mean lives and masses of new charmed particles observed in accelerator's experiments according to cosmic ray's data. The results are shown in table II.