

反质子物理

李杨国

(汕头大学 汕头 515063)

摘要 本文介绍反质子与核子和与原子核碰撞后各种物理现象. 它与核子的散射获得的位势是吸引势和吸收型, 与核的光学势是强吸收型. $\bar{p}p$ 湮没后产生众多的介子和重子, 以及在高能下 $\bar{p}p$ 湮没产生奇特性粒子、带粲的介子、重子. 并探索获得混杂子、在核中存在反质子、其它新粒子的可能性.

关键词 反质子, 介子, 重子, 奇特粒子, 湮没, 介子交换势, 光学势.

1 引言

用反质子作为探针, 轰击核子或原子核的研究, 近十年来有长足的发展^[1]. 1983年, 西欧核子研究中心(CERN)建成反质子贮存环装置LEAR. 它是获得强流和高分辨率的反质子束流装置, 从而使反质子物理的研究进入一个新阶段. 不单由反质子与核子碰撞后发生的各式各样过程, 用之从事研究重子素、质子偶素和 $\bar{p}p$ 的散射现象, 它们的共振态和束缚态, 以及 $\bar{p}p$ 湮没后产生的各类粒子, 而且由于其分辨率小于原子核的能级距离, 反质子与原子核的散射进入到可以区分不同末态道的过程, 如弹性道和确定末态的非弹性道等. 人们还对反质子与核作用可能出现的各种现象十分关注, 如 \bar{p} 被核吸收的现象; 核中是否存在反质子, 如存在则反质子能级有什么特点. LEAR的束流动量在0.06~2GeV/c能区, 分辨率 $\Delta P/P < 10^{-3}$. 美国费米国家加速器实验室(FNAL)建成了反质子存储器, 它也是获得强流、高分辨率反质子束流的仪器, 并且能区处于动量2~9GeV/c, 正好与LEAR的能区相互补充, 可把反质子物理的研究提高到高能端^[2]. 高能的反质子与核子或与原子核的碰撞, 将会有奇特的现象出现, 如具有奇特性的介子对、重子对的产生; 带粲的介子、重子的寻找. 多夸克介子, 甚至包含有胶子的混杂子($\bar{q}qq$)的寻找都需要高能量下的反质子束流

才有可能. 这些粒子对强相互作用的标准模型理论—量子色动力学(QCD)的检验有独特的作用. 1991年10月, 西欧核子中心在苏黎世大学召开专门讨论建造更高能量的反质子贮存环装置SuperLEAR^[3], 并决定于1992年末动工. 它的流强和分辨率都不低于LEAR, 但能区却为动量2~15GeV/c, 期望1996年底出束. 可以相信, 该装置的建成将为研究带有重夸克(如c夸克)的介子、重子, 甚至是带粲素的核开拓新天地.

除CERN和FNAL这两处强流反质子装置外, 布鲁克海文国家实验室(BNL)和日本的KEK也有反质子束流. 但他们的流强低千倍至万倍, 分辨率也极差, 能量也低于FNAL. 加拿大的K介子工厂KAON如能建成, 它将提供更高能量(~20GeV/c)的强流反质子束流. 这些大实验室是当前从事反质子物理研究的实验基地.

2 正、反质子的相互作用势

相互作用始终是物理学研究的基础. 在反质子动量低于1GeV/c的能区, 正、反质子的位势可从分析 \bar{p} -p散射(包括电荷交换 $\bar{p}p \rightarrow \bar{n}n$)实验获得. 这些实验结果可由介子交换理论及适当地考虑湮没势而形成的光学势所描述. 介子交换理论的位势来自单介子交换和双 π 介子交换, 而双 π 介子交换可相当于单 ρ 介子交换. 因

此,这个位势主要来自各种单介子交换势.理论上可以通过核子-核子(N-N)的介子交换势与 G 宇称变换导出^[4,5].若 N-N 介子交换势为

$$V_{NN}(r) = \sum_i V_i(r) \quad (1)$$

则反核子-核子的介子交换势为

$$V_{\bar{N}N}(r) = \sum_i (-1)^{G_i} V_i(r) \quad (2)$$

其中 i 为介子态, G_i 为该介子的 G 宇称. 它有

$$G_i = \begin{cases} -1 & \text{对 } \pi \quad \omega \quad \delta \\ +1 & \text{对 } \eta \quad \rho \quad \epsilon \end{cases} \text{ 介子} \quad (3)$$

由于 π, ω 介子是奇 G 宇称性,使得正、反核子的介子交换势为吸引势.特别在近核心处,它有极强的吸引力.与 V_{NN} 势存在一极强的排斥心形成极鲜明的对照.现普遍使用的 $V_{NN}(r)$ 是巴黎势(P)^[6]和 Dover-Richard(DR)势^[4].

\bar{N} -N 碰撞,会发生湮没.但应是在近距离的短程区($r < 1fm$).因此,在这区域内必需考虑虚位势.这个虚位势是唯象地由分析实验结果引入.巴黎势的虚位势是一个能量、自旋及同位旋依赖性的,有四个可调系数.而 DR 虚位势却引入一个自旋、同位旋无关的吸引势,并取 Wood-Saxon 型,其强度 W_0 在 GeV 的量级.这样,人们获得一个能描述正、反核子的光学势.

$$U = V_{NN} + iW_{NN} \quad (4)$$

这个位势在分析 \bar{p} -p 弹性散射微分截面 $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 、总截面 σ_T 和吸收截面 σ_{abs} 是相当成功的^[7].微分截面在全角度内部都能符合实验.由于它是强吸引势,使得散射波比起 N-N 散射更集中于中心部.因而将有更多的分波起作用.即使很低能量的正、反核子散射,除 S 分波外, P 波甚至 D 波还相当的强.这与 N-N 散射在低能时,角分布为各向同性是极不相同的.这一位势在分析 $\bar{p}p \rightarrow \bar{n}n$ 反应微分截面时也是相当成功的,如小角度有强峰,及随后一个小平坦区,都能被这位势所解释.

但这一位势在解释 $\bar{p}p$ 弹性散射的极化度 $P(\theta)$ 或 $\bar{p}p \rightarrow \bar{n}n$ 的极化度 $P(\theta)$ 却吻合欠佳^[7],只能给出一个大致的趋势.特别在后半球,与实验的偏离较大.极化的实验,使人们认识到当前理论的局限性,特别是核心区短距离处作用的贡

献.无容置疑,在解释这类现象时,需考虑夸克层次的各种相互作用.反质子物理的现象将会使人们深入到夸克层次的研究.

3 反质子-原子核的光学势

LEAR 建成之后,在反质子动量 300 ~ 600GeV/c 能区间作了一批弹性散射和低能级的非弹性散射的微分截面测量^[8].测量从轻核、中重核到重核的双幻数核,如 ¹²C、¹⁶O、⁴⁰Ca 和 ²⁰⁸Pb 等核的 $d\sigma/d\Omega$,以及少量的极化度 $P(\theta)$.这对了解反质子与原子核的相互作用是很重要的.它显示了在低能与中能区,反质子与核的衍射花纹极不同于质子与原子核的散射花纹.反质子与核的散射出现强烈的绕射花纹.图 1 列出同一能量下质子和反质子与 ¹²C 核散射花纹的比较.这一现象在 \bar{p} -p 与 p-p 弹性散射时同样存在.180MeV 的 pp 弹性散射角分布几乎是各向同性的,即以 S 波为主.而同样能量下 \bar{p} -p 弹性散射却出现朝前峰.这些现象揭示了如上节提及的 \bar{p} -p 相互作用具有强吸引和吸收的特点.当它拓广运用到与核多体相互作用时,必有相似的特点,即反质子与核的作用势将是强吸收性.理论上获得反质子与核中的核子在散射过程中发生多次碰撞,即使在低能量的情况也如此.用 Glauber 多次散射理论分析 46MeV 的 \bar{p} -核的 $d\sigma/d\Omega$ 时,能与实验吻合.而同样低能量,对 p-核的 $d\sigma/d\Omega$,Glauber 理论早已不适用了.

模型理论方面,首要之事是寻找能描写 \bar{p} -核弹性散射的光学势.现在无论从微观上还是唯象上都有满意的结果.作者曾基于多次散射理论,用反质子与核子的 t 矩阵和冲量近似,导出反质子-核的光学势^[9]

$$U^{(opt)} = V_N(r) + iW_N(r) \quad (5)$$

这一光学势的特点是强吸收性,即虚部强度 W_0 强于实部强度 V_0 约 3 至 5 倍.其数值在一个广阔的能区(100~1000MeV),约在 140MeV 附近.它在分析已有弹性散射的 $d\sigma/d\Omega$ 时是成功的,用它作为扭曲波在冲量近似下描写非弹性过程也是成功的^[9].从它还可以了解到尽管反质子

与核的多次碰撞不能忽视,但强吸收的特点使得碰撞主要发生在核的表层中.

\bar{p} -原子核的散射极化度 $P(\theta)$ 的测量也有一些结果. 这反映光学势不仅是中心势,也应包括自旋-轨道耦合势. 目前,只有一点定性的讨论.

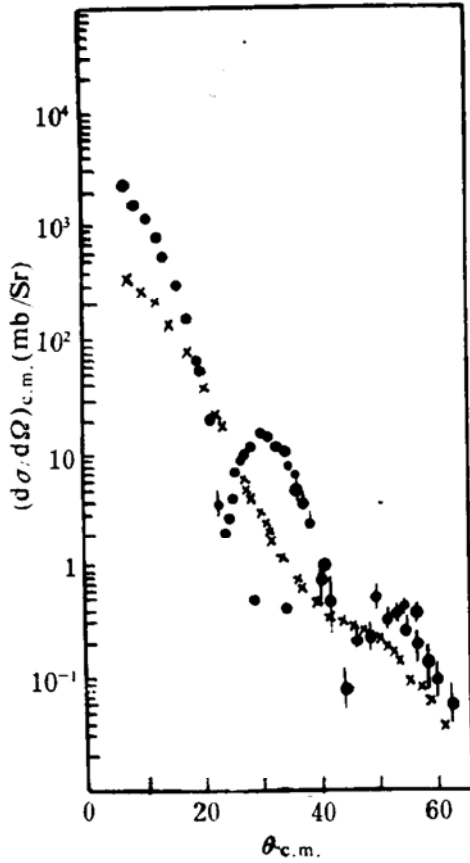


图 1 × 为质子- ^{12}C 弹性散射微分截面, $E=182.8\text{MeV}$.
 • 为反质子- ^{12}C 弹性散射微分截面, $E=179\text{MeV}$

4 $\bar{p}p$ 湮没

\bar{p} 与 p 在近距离时会发生湮没. \bar{p} 与核的作用,实验也发现吸收截面极大,即 \bar{p} 在核里很快地被吸收,即在核里也发生 $\bar{p}p$ 湮没现象. $\bar{p}p$ 的湮没截面在各个能量下比弹性散射截面几乎是大二倍以上. 因此,不能把湮没简单地用一个黑球模型来解释. 研究 $\bar{p}p$ 湮没有其特殊的意义,因为正、反质子湮没过程的实验是提供研究强子化物理过程实验的基础. 在低能区,湮没过程伴随着介子对、多介子和重子对的产生. 随着能量的增高,将产生质量更重的介子、重子,以及带有奇特性的介子或粒子^[10,11]. 发生湮没的机

制,至今也未有一个完整的理论模型. 在低能时,在发生 $\bar{p}p$ 湮没的区域中,能量密度高达 $1\sim 2\text{GeV}/\text{fm}^3$. 这样,它有可能强子化为几个介子. 当前理论上致力于夸克模型来了解 $\bar{p}p$ 湮没后转化为二或三个介子或重子的现象. 从夸克模型, $\bar{p}p$ 湮没可以认为是正、反质子在近距离的相互作用下,发生正、反夸克对湮没,以及伴随各种可能的夸克交换,新的夸克对产生等过程,从而形成各式各样的新粒子. 因此,研究 $\bar{p}p$ 湮没后的各种末态道,将是研究夸克层次的相互作用的重要依据. 甚至是探讨胶子是否存在的重要线索. 下面介绍 $\bar{p}p$ 湮没的一些事例.

表 1 $\bar{p}p$ 湮没后到达各介子态的 S 和 P 波分支比

	S	P
K^+K^-	$1.08 \pm 0.05 \cdot 10^{-3}$	$2.87 \pm 0.51 \cdot 10^{-4}$
$K^0\bar{K}^0$	$8.3 \pm 0.5 \cdot 10^{-4}$	$8.8 \pm 2.3 \cdot 10^{-5}$
$\pi^+\pi^-$	$3.19 \pm 0.20 \cdot 10^{-3}$	$4.81 \pm 0.49 \cdot 10^{-3}$
$\rho^\pm\pi^\mp$	$3.21 \pm 0.42 \cdot 10^{-2}$	$1.50 \pm 0.20 \cdot 10^{-2}$
$\rho^0\pi^0$	$1.56 \pm 0.21 \cdot 10^{-2}$	$0.40 \pm 0.09 \cdot 10^{-2}$
$f_2\pi^0$	$3.9 \pm 1.1 \cdot 10^{-3}$	$1.83 \pm 0.23 \cdot 10^{-2}$
$\pi^+\pi^-\pi^0$	$6.6 \pm 0.8 \cdot 10^{-2}$	$4.5 \pm 0.6 \cdot 10^{-2}$
$\eta\pi^+\pi^-$	$1.37 \pm 0.15 \cdot 10^{-2}$	$3.35 \pm 0.84 \cdot 10^{-3}$
$\eta'\pi^+\pi^-$	$3.46 \pm 0.67 \cdot 10^{-3}$	$0.61 \pm 0.33 \cdot 10^{-3}$
$\omega\pi^+\pi^-$	$2.69 \pm 0.60 \cdot 10^{-2}$	$9.03 \pm 4.76 \cdot 10^{-3}$
$\eta\rho$	$3.29 \pm 0.90 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \pm 5.3 \cdot 10^{-4}$
$f_2\eta$	$1.5 \pm 1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \pm 0.5 \cdot 10^{-3}$
$\eta'\rho$	$1.81 \pm 0.44 \cdot 10^{-3}$	$\sim 3 \cdot 10^{-4}$
$\pi^+\pi^-\omega$	$6.51 \pm 0.68 \cdot 10^{-2}$	$7.05 \pm 1.05 \cdot 10^{-2}$
$\rho\omega$	$1.91 \pm 0.73 \cdot 10^{-2}$	$6.38 \pm 1.28 \cdot 10^{-2}$
$\pi^\pm b\bar{f}$	$0.83 \pm 0.12 \cdot 10^{-12}$	$0.67 \pm 0.18 \cdot 10^{-2}$
$\varphi\pi^0$	$4.0 \pm 0.9 \cdot 10^{-4}$	$\leq 2 \cdot 10^{-5}$
$\varphi\pi^+\pi^-$	$5.3 \pm 1.1 \cdot 10^{-4}$	$7.4 \pm 1.6 \cdot 10^{-4}$
$\varphi\rho$	$3.7 \pm 0.8 \cdot 10^{-4}$	$4.3 \pm 1.2 \cdot 10^{-4}$
$\varphi\omega$	$5.3 \pm 2.2 \cdot 10^{-4}$	$2.9 \pm 1.4 \cdot 10^{-4}$
$\varphi\eta$	$5.5 \pm 9.2 \cdot 10^{-4}$	$3.5 \pm 3.7 \cdot 10^{-4}$

4.1 介子的产生

介子的质量可以比质子还轻. 因此,在很低能量,甚至静止时, $\bar{p}p$ 也能发生湮没而产生介

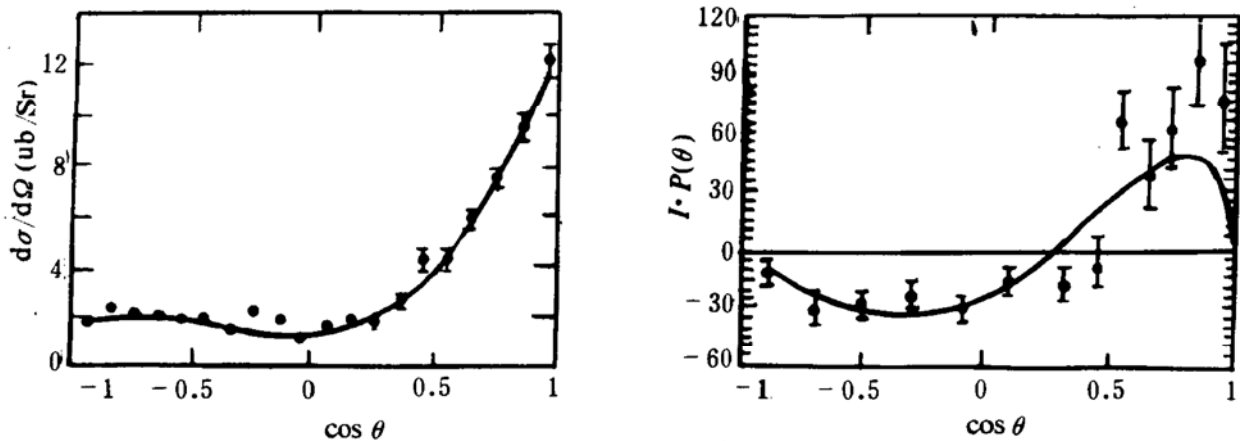


图 2 $\bar{p}p \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 的微分截面 $d\sigma/d\Omega$ 和极化度 $P(\theta)$. 实线是计算值. 反质子动量 $P_{\text{Lab}} = 1.548 \text{ GeV}/c$

子. 这个过程可以看成 $\bar{p}p$ 先形成原子, 再湮没, 随后产生介子. 表 1 给出实验所测得的部分低能量下 $\bar{p}p$ 湮没后产生介子谱的分支比值^[11]. 低能下的 $\bar{p}p$ 湮没中, 初态的角动量 $L=0$ 是主要的, 即 S 波的湮没. 但由于正、反质子相互作用是吸引势, 形成 $2p$ 态原子的机会很大, 这样也使 p 态的几率不小. 这众多的介子谱, 对于湮没机制的研究是很重要的.

从夸克模型看, $\bar{p}p$ 湮没后到不同的反应道将是对应于不同夸克对的湮没、交换和产生的过程. 如 $\bar{p}p \rightarrow \pi^+\pi^-$ 和 $\bar{p}p \rightarrow k^+k^-$ ^[12]. 此外, 用夸克模型还可计算出各个不同末态道的分支比值.

4.2 重子对的产生

在重子族中, p 是质量最轻的重子. 在静止能量或低能情况下不可能有重子对产生. 因此 $\bar{p}p \rightarrow \bar{n}n$ 过程, 把它包含在研究 \bar{N} 与 N 相互作用中含有同位旋的分量中, 称为 $\bar{p}p$ 的电荷交换过程, 其它的重子总是带有奇异数. 因此重子对的产生, 总是涉及奇异性粒子对的产生. LEAR 对产生 $\bar{\Lambda}\Lambda$ 超子对有系统的研究. Λ 是最轻的奇异数为 -1 的重子. 反应道的阈能是 $1435 \text{ MeV}/c$.

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{\Lambda}\Lambda \rightarrow \bar{p}p\pi^+\pi^- \quad (6)$$

即 $\Lambda(\bar{\Lambda})$ 随后衰变为 $p\pi^- (\bar{p}\pi^+)$. 测量了各个能量下的角分布和极化度 $P(\theta)$. 它的反应截面过了阈能之后上升很快, 到了 $1650 \text{ MeV}/c$ 时约为 $1100 \mu\text{b}$ ^[13].

由于 $\bar{\Lambda}\Lambda$ 是带奇异性粒子, 因此重子对的产生是研究奇异夸克对 $\bar{s}s$ 产生机制的重要过程.

从夸克模型看, 至少有一对价夸克湮没后产生 $\bar{s}s$ 夸克对, 即 $\bar{q}q \rightarrow \bar{s}s$ 过程. 理论上, 夸克模型认为 3S_0 - 和 3P_0 - 态的贡献是最主要的, 称它是标量和矢量的贡献. 如果详细考虑 $\bar{p}p$ 和 $\bar{\Lambda}\Lambda$ 的扭曲波, 以及正、反质子, 正反 Λ 超子的夸克内部结构, 理论上低阶图计算能很好地符合阈能以上的实验角分布和极化度 $P(\theta)$, 图 2 是一个例子.

重子对产生的其它道还有 $\bar{\Sigma}\Sigma^-$ 、 $\bar{\Lambda}\Sigma^0$ 等. 实验上 $\bar{p}p \rightarrow \bar{\Lambda}\Sigma^0$ 和 $\bar{\Lambda}\Lambda$ 的角分布很相似, 都有一个朝前峰, 截面比值约为 $\sigma(\bar{\Lambda}\Sigma^0)/\sigma(\bar{\Lambda}\Lambda) \approx 0.29 \pm 0.02$, 这些都能从夸克模型得到解释. 当前, 人们正在用高于 2 GeV 的反质子束流, 由 $\bar{p}p$ 湮没寻找更多更重的奇异性的正反重子, 即扩大到寻找 $\bar{p}p \rightarrow \bar{Y}Y$. 过程. Y . 是 Σ^- 、 Σ^0 、 Σ^{*-} 、 Σ^{*0} 、 Σ^{*+} 和 Ω^- 等重子. 这些是研究夸克模型、胶子交换性质很重要的实验数据. 对于更高能量下的重子对产生, 涉及粲夸克的产生.

4.3 多夸克介子态的产生

在反质子能量低于 2 GeV 以下, 由 $\bar{p}p$ 湮没后产生的介子态中, 有相当一部分是两个正、反夸克对 \bar{q}^2q^2 或多个夸克介子态. 它不属于正、反夸克 $\bar{q}q$ 的标准介子态, 称之为奇特介子, 如 $\bar{p}p$ 湮没, 在末态产生 3π 介子的实验. 由达立兹图分析, 发现 $f_2(1270)$ 、 $f_2(1565)$ 、和 $f_2(1810)$ 等态便是 \bar{q}^2q^2 的介子态^[14], 即在 $\bar{p}p \rightarrow f_2\pi \rightarrow 3\pi$ 的反应过程中, 从 $M(\pi^+\pi^-)$ 的不变质量谱中获得双夸克对介子. 又如 $E(1420)$ 介子的发现, 是 $\bar{p}p$ 湮没后, 衰变为 $(K^{\pm}K_s\pi^{\mp})\pi^+\pi^-$, 从 $M(K^0K^{\pm}\pi^{\mp})$ 的

不变质量谱的分析中寻到的, 见图 3.

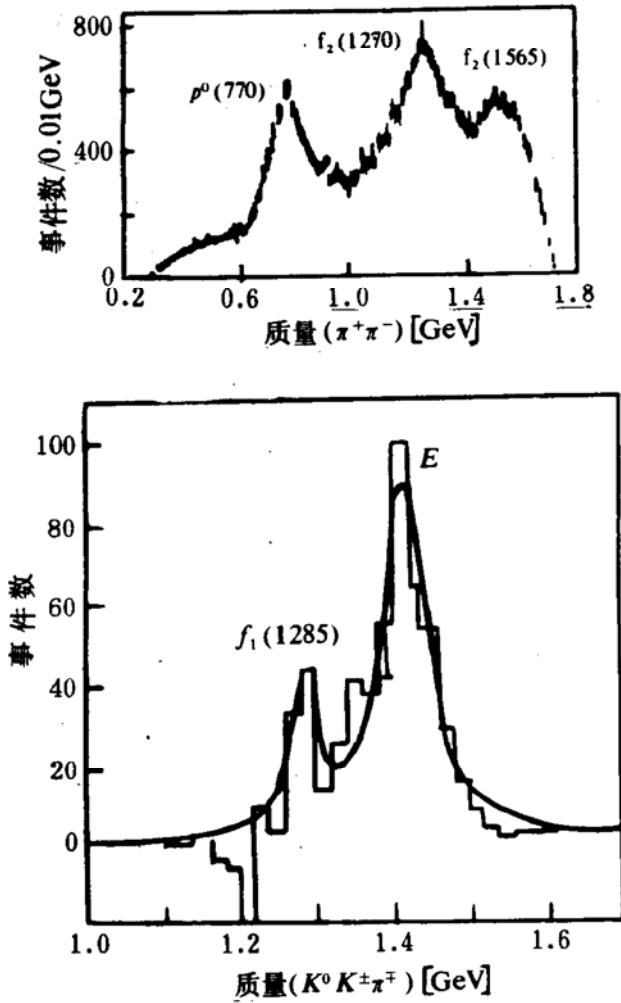


图 3 $\bar{p}p$ 湮没过程的 $\pi^+\pi^-$ 和 $K^0K^+\pi^-$ 不变质量分布图

最近, 在 LEAR 的高能端, 从测量喷射的实

验中发现 ϕ 介子, 它的衰变形式是

$$\bar{p}p \rightarrow \phi\phi \rightarrow 4K \quad (7)$$

$\phi\phi$ 产生的阈能是 866.6 MeV. 当质心系能量为 2.25 GeV 时, 测得截面为 $\sim 0.2 \sim 2 \mu\text{b}$. 由于 ϕ 衰变为 K 介子对, 所以 ϕ 介子是具有 $\bar{s}s$ 奇异夸克对的奇特介子.

5 粲素粒子谱的寻找

高能正、负电子对湮没从而发现 J/ψ 粒子, 是夸克模型的重大突破, 发现了重夸克的粲夸克 c . 使人们认识到可以用费米子区分其特性. ν_e, μ^-, s 和 c 正好构成第二代费米子. 在能量低于 3 GeV 的能区中, 虽然 $\bar{p}p$ 湮没后产生了各式各样的粒子谱, 然而, 它们只含有 u, d, s 夸克及其反夸克所组成的粒子. 高能的正、反质子发生湮没, 由于质子的能量比电子约大二千倍, 在获得含粲夸克 c 的粒子中必能有其独特的作用, 并将成为九十年代的热门课题.

5.1 粲介子谱和混杂子的寻找

最近, 在美国费米国家实验室的高能量反质子束流中, E760 实验组获得一群由 $\bar{c}c$ 组成的重介子谱, 见表 2. 这些实验是通过分析共振态的衰变 γ 光谱或粒子态的激发函数而得到的, 见图 4. 这个过程是

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{c}c \rightarrow \text{末态} \quad (8)$$

实验可以获得这类 $\bar{c}c$ 介子谱的位置和宽度. c

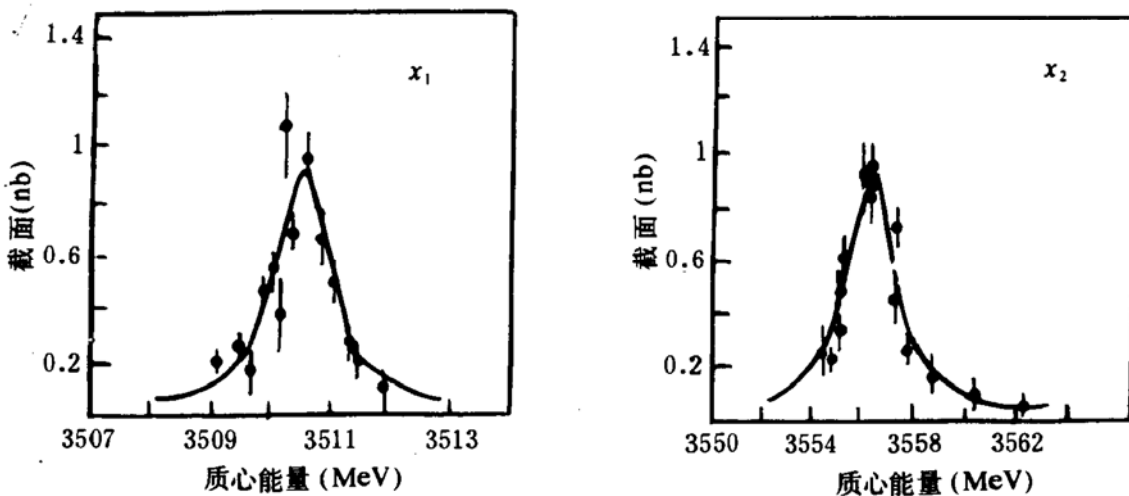


图 4 $\bar{p}p$ 湮没后 $\bar{c}c$ 介子态 x_1, x_2 的激发函数

夸克和 b 夸克的发现,以及 t 夸克的预言,在粒子物理上是一个重要里程碑,它标志夸克模型达到完整的阶段.但是,由 c 夸克构成的介子有多少?有什么特点?仍是粒子谱学家努力探索的问题.

表 2 从 $\bar{p}p$ 湮没测得的 $\bar{c}c$ 介子态的数值

$\bar{c}c$ 介子态	质量 (MeV/c ²)	宽度 (keV)
J/ψ	3096.88 ± 0.06	
χ_1	3510.53 ± 0.12	880 ± 110
χ_2	3556.12 ± 0.12	1980 ± 170
ψ'	3686.0	317 ± 50
$\chi_2 - \chi_1$	45.62 ± 0.08	

$\bar{p}p$ 湮没而获得 $\bar{c}c$ 介子,从夸克模型角度需要 $\bar{p}p$ 中的价夸克全部湮没掉,再由胶子交换而产生 $\bar{c}c$ 夸克对,这些 $\bar{c}c$ 束缚态,具有确定的 J^{PC} 值.如 ψ, ψ' 为 1^{--} 态. χ 为 J^{++} ($J=0, 1, 2$) 态.由于 C 对称,而决定从 $\bar{p}p \rightarrow \bar{c}c$ 态转换过程中胶子应有的数目. C 为偶时,要求胶子数是偶数; C 为奇时要求胶子数为奇.由此,人们推论在高能量下的正、反质子碰撞中可以存在夸克和胶子的混杂子结构. $\bar{p}p$ 湮没后可能的末态会是

$$\bar{p}p \rightarrow M + (\bar{q}qg) + (Mgg) \quad (9)$$

M 是介子,即存在介子与胶子或夸克与胶子的混杂子.这对于粒子物理学家探索胶子、胶球的存在及其性质,将是很重要的依据.

5.2 带粲夸克重子的寻找

带粲夸克的重子 cqq 可以有 15 个基态^[9],目前只确认了 Λ_c^+ ,还有四个 ($\Sigma_c^{++}, \Sigma_c^0, \Sigma_c^-, \Sigma_c^+$) 似乎被发现了.当反质子能量在 4GeV 以上,便可能产生粲重子,即

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{Y}_c Y_c \quad (10)$$

其中, Y_c 可以是 $\Lambda_c, \Sigma_c, \Xi_c$ 和 Ω_c 等.这些重子的夸克组成是 $\Lambda_c^+ [(ud)_{s=0}c], \Sigma_c^0 (ddc), \Sigma_c^+ [(ud)_{s=1}c], \Sigma_c^{++} (uuc), \Xi_c^0 [(ds)_{s=0}c], \Xi_c^+ [(us)_{s=0}c]$ 和 $\Omega_c (ssc)$.表 3 给出了 $\bar{p}p$ 湮没后产生粲重子对时所需要的反质子阈能的动量 P_L 及其质心系总能 \sqrt{s} .从表看出,产生这些粲重子反质子最低动量也得 12GeV/c.而要产生 Ω_c

得超过 14GeV/c,已在费米实验室的反质子动量之外.因此,有待于在 SuperLEAR 或 K 介子工厂来发现它们.理论上,对这些道可能存在的大小,从夸克模型也有一些估算,如

$$\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{\Lambda}_c \Lambda_c) \approx 8 \sim 20 \text{nb} \quad (11)$$

$$(P_L = 15 \text{GeV})$$

表 3 带粲重子对产生的阈能和质心总能

产生道	\sqrt{s} (GeV)	P_L (阈的动量, GeV/c)
$\Sigma_c^+ \Sigma_c^-$	4.19	11.9
$\Sigma_c^0 \Sigma_c^0$	4.93	12.0
$\Sigma_c^+ \Sigma_c^+$	5.03	12.5
$\Sigma_c^+ \Sigma_c^+$	5.12	13.0
$\Sigma_c^+ \Sigma_c^+$	5.13	13.1
$\Sigma_c^+ \Sigma_c^+$	5.22	13.5
$\Sigma_c^+ \Sigma_c^+$	5.33	14.1
$\Omega_c \Omega_c^-$	5.33	14.1

人们甚至期望观察到多粲夸克的重子,如 $\Xi_{cc}^+ (dcc), \Xi_{cc}^{++} (ucc), \Omega_{cc}^+ (scc)$ 等.

带粲夸克的介子,重子或混杂子的寻找,正处于方兴未艾的阶段.

6 反质子与核的作用

反质子与原子核碰撞后各种现象的研究,正处在初步阶段. $A(\bar{p}, p)_i(A-1)$ 敲出反应,是人们期待的获得核中存在反质子束缚态或共振态的一类反应.理论上猜测,如果在核中存在着反质子束缚态,由于平均场是深位阱和吸收型,将会使低能级的结合能很大和能级宽度很宽,如几十 MeV,使得能级不易分辨. LEAR 的实验是测量 $A(\bar{p}, p)X$ 的遍举反应.靶核 A 取 $^{12}\text{C}, ^{63}\text{Cu}$ 和 ^{209}Bi 等核.目前的实验结果,由于必需扣除准自由敲出反应、统计蒸发的背景,实验数值还不足以说明在核中存在反质子束缚态,但也未有否定的证据.

最近,由于从 $\bar{p}p$ 中发现了带粲夸克的例子,人们以极大的兴趣在原子核中寻找带粲素的核束缚态,这需要高能量下的反质子束流. \bar{p}

在核中的 $\bar{p}p$ 湮没过程可以有 $\bar{p}A \rightarrow J/\psi(A-1)$. 人们已作了一些在核中存在 $\bar{c}c$ 粒子可能性的估算. 由于它不受泡里不相容的堵塞效应, 而且其存在纯是由于胶子交换力, 因此很可能存在 $\eta_c H^3$ 系统. 它的结合能约 19MeV, 可以从 $\bar{p}He \rightarrow \eta_c H^3$ 反应过程获得, 其中 $\eta_c \rightarrow \gamma\gamma$. 人们期待着 SuperLEAR 的建成, 以它的能量及流强, 有希望发现这样的系统.

7 结束语

反质子物理在近十年的发展中, 从低能到高能区, 展示了多采多姿的物理现象. 粒子物理的发展, 以及核物理的发展, 已使人们极关注核中非核子物质的结构, 如核中的反质子、夸克、胶子和核中的味物理等等. 使人们意识到在反质子与核的碰撞中, 对揭示物质结构的奥秘有其独特的方面. 在不同的能量下, $\bar{p}p$ 的湮没, 产生了各色各样的粒子, 有一些粒子, 正是人们在寻找的. 如果能获得更高能量的反质子, 如 50GeV/c, 将会发现底夸克 b 的介子, 如 $\bar{b}b$, 或带 b 的粒子. 甚至在核中发现有 b 夸克的核素. 对反质子物理的不断探索, 是深入认识物质世

界的一个重要方面.

参 考 文 献

- 1 Walcher Th. Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., 1988, 38: 67
- 2 Eiserstin R A. University of Illinois 1990, NPL-90-010
- 3 Amsler C, et al. CERN PPE/91-215
- 4 Myhrer F. Nucl. Phys., 1990, 508A: 513
- 5 Dover C B, Richard J M. Phys. Rev., 1980, 21C: 1466, 1982, 25C: 1952
- 6 Cote J, et al. Phys. Rev. Lett., 1982, 48: 1319
- 7 Bertini R, et al. Phys. Lett., 1989, 228B: 581
- 8 Garreta D, et al., Phys. Lett., 1984, 135B: 266; 139B: 464; 149B: 64; 1985, 151B: 437
- 9 李杨国.《高能物理与核物理》, 1988, 12: 501; 1993, 17 (汕头大学学报自然科学版), 1991, 6(2): 1
- 10 Chiba M, et al. Phys. Rev., 1988, 38D: 2022; 1989, 39D: 3227
- 11 Adiels L, et al. Z. Phys., 1987, 34C: 15; 35C: 15;
- 12 Alberg M A, et al. Nucl. Phys., 1990, 508A: 323. Phys. Rev., 1988, 38C: 1506
- 13 Barnes, et al. Phys. Lett., 1987, 198B: 279; 1989, 229B: 432; 1990, 246B: 273
- 14 May B. et al. Z. Phys., 1990, 46C: 205. Phys. Lett., 1989, 225B, 450

Antiproton physics

Li Yangguo

(Shantou University, Shantou 515063)

Abstract In this paper several physical phenomena of antiproton-nucleon and antiproton-nucleus collision are discussed. The potential obtained from p - N scattering is attraction and absorption type. The optical potential of nucleus is strong absorption type. The annihilation happens after $\bar{p}p$ collision and then produces many kinds of meson, hadron, even produce some exotic particle and charmonium at high energy $\bar{p}p$ annihilation. Possibilities to find hybrids, antiproton and other particles in nucleus are also explored.

Key Words antiproton, meson, hadron, exotic particle, annihilation, meson exchange potential, optical potential.