

# $\bar{p}^+$ $^{12}\text{C}$ 和 $\bar{p}^+$ $^{16}\text{O}$ 弹性散射研究\*

## Elastic Scattering of $\bar{p}^+$ $^{12}\text{C}$ and $\bar{p}^+$ $^{16}\text{O}$

顾运厅

Gu Yunting

(广西大学物理系, 南宁市西乡塘路 10号, 530004)

(Dept. of Physics, Guangxi Univ., 10 Xixiangtanglu, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**摘要** 在 Glauber多重散射理论近似下, 采用反对称核波函数, 使用一种唯象的  $\bar{N}N$ 湮灭势, 对 180 MeV 的  $\bar{p}^+$  在  $^{12}\text{C}$ 和  $^{16}\text{O}$ 上的弹性散射微分截面进行了计算. 结果表明: 这种势模型与实验吻合得很好.

**关键词** 反质子 弹性散射 湮灭 微分截面 Glauber理论

中图法分类号 O571.418

**Abstract** The differential cross section in elastic scattering of 180 MeV antiproton by  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  is calculated by means of Glauber's multiple scattering theory with antisymmetric wave function. A phenomenological  $\bar{N}N$  annihilation potential is studied in this framework. The results indicate that this  $\bar{N}N$  annihilation potential model is in line with the experimental data.

**Key words** antiproton, elastic scattering, annihilation, differential cross section, Glauber theory

湮灭是  $\bar{N}N$ 相互作用的最显著特征,对  $\bar{N}N$ 湮灭有很多描述<sup>[1]</sup>: 唯象势模型和微观夸克-反夸克模型. 文献 [1] 已经指出, 吸收势似乎支配弹性散射. 对于  $\bar{p}p$ 散射, 用纯吸收势, 人们就能很好地拟合弹性散射总截面和角分布. 文献 [1] 提出了 3种模型势:

$$\text{I. 中心形式: } W(r) = \frac{W_0}{[1 + \exp(ar)]^2};$$

$$\text{II. 周边模型: } W(r) = W_0 \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \exp(-a^2(r - r_0)^2);$$

$$\text{III. 周边模型: } W(r) = W_0(ar)^2 \exp(-a^2r^2) + W_1 2(ar)^2 \exp(-2a^2r^2).$$

文献 [1] 给出的各种参数见表 1

表 1 3种模型的参数

Table 1 Parameter of three models

模型 Model	$W_0$ (GeV)	$W_1$ (GeV)	$a$ ( $\text{fm}^{-1}$ )	$r_0$ (fm)
I	13.85	-	4.9	-
II	0.317	-	2.5	0.584
III	0.331	2.729	1.5	-

我们曾用模型势II 来研究 180 MeV 的  $\bar{p}^+$   $^{12}\text{C}$ 和  $\bar{p}^+$   $^{16}\text{O}$ 弹性散射<sup>[2]</sup>, 计算结果表明文献 [1] 给出的势参数与  $\bar{p}$ -核弹性散射的实验数据符合得不理想, 偏差太大. 但如果把文献 [1] 给出的势参数看作可调参数, 研究发现, 适当地选取势参数值, 可得到与  $\bar{p}$ -核弹性散射的实验数据符合得很好的理论计算结果<sup>[3]</sup>. 模型势III的情况也类似, 文献 [4] 对模型III做了细致的研究. 目前, 我们对核力还不是十分清楚, 在这种情况下对表达核子间相互作用的各种势模型进行深入细致的研究具有重要的理论意义. 它可以为我们提供核子间相互作用的更多的信息, 让我们更好地了解核子间的相互作用机制. 本研究的目的是通过 180 MeV 的  $\bar{p}^+$   $^{12}\text{C}$ 和  $\bar{p}^+$   $^{16}\text{O}$ 弹性散射对文献 [1] 提出的模型势I 做深入细致的研究, 观察微分截面对各个势参数的敏感程度, 找出一组与实验符合得较好的势参数. 本文在 Glauber多重散射理论近似下, 采用反对称的核波函数, 使用唯象的  $\bar{N}N$ 湮灭势I, 对 180 MeV 的反质子  $\bar{p}^+$   $^{12}\text{C}$ 和  $\bar{p}^+$   $^{16}\text{O}$ 弹性散射微分截面进行了计算, 并与实验进行了比较.

### 1 弹性散射振幅

在 Glauber近似下, 高能强子与 A-粒子系统的弹

性散射振幅是:

$$F_{ii}(\vec{q}) = \frac{ik}{2Q} \int_0^{\infty} e^{i\vec{q}\cdot\vec{b}} d^2b < J_i | 1 - \prod_{j=1}^A [1 - \Gamma_j(\vec{b} - \vec{s}_j)] | J_i > . \quad (1)$$

考虑泡里原理的要求, 我们使用 Slater行列式

$$| J_i > = | J_{SD} > = \frac{1}{A!} || J_m(\vec{r}_n) || \quad (2)$$

作为核的基态波函数<sup>[2]</sup>. 式中  $m$  是表征单粒子态的一组量子数,  $J_m(\vec{r}_n)$  是第  $n$  个核子的单粒子波函数

对  $\bar{N}N$ 湮灭的描述, 本文采用无自旋相互作用的纯吸收势<sup>[11]</sup>:

$$V(r) = -iW(r), \quad (3)$$

$$W(r) \text{ 采用势模型 I : } W(r) = \frac{W_0}{1 + \exp(ar)}. \quad (4)$$

式中的  $W_0$  和  $a$  在本文中为可调势参数. 文献 [1] 给出的参数值为

$$W_0 = 13.85 \text{ GeV}, a = 4.90 \text{ fm}^{-1}.$$

根据文献 [5], 剖面函数

$$\Gamma(b) = 1 - \exp[ix(b)], \quad (5)$$

其中与之对应的相移函数

$$x(b) = -\frac{1}{h^2} \int_{-\infty}^{+\infty} V(b + \hat{k}z) dz, \quad (6)$$

所以

$$\Gamma(\vec{b} - \vec{s}) = 1 - \exp[ix(\vec{b} - \vec{s})]. \quad (7)$$

由上述各方程, 经推导可得出  $\bar{p}$ -核弹性散射振幅为

$$F_{ii}(\vec{q}) = G(q), \quad (8)$$

$$G(q) = ik \int_0^{\infty} b db J_0(qb) [1 - g(b)], \quad (9)$$

$$g(b) = [V(b)]^4 + 6[V(b)]^2 [W(b)]^2 + [W(b)]^4, \quad (10)$$

这里  $V(b)$  和  $W(b)$  的表达式太冗繁, 它与湮灭势参数和谐振子参数有关, 并且对  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  的表达式不同, 这里不再列出. 由方程 (8), 弹性散射微分截面为

$$\frac{d\sigma^e}{dK} = |G(q)|^2. \quad (11)$$

## 2 结果和讨论

利用 (1) ~ (11) 式, 我们选取不同的湮灭势参数, 对 180 MeV 的  $\bar{p}$  在  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  上的弹性散射微分截面进行了计算, 计算结果见图 1, 图 2 我们主要研究了  $\bar{p}$  在  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  上的弹性散射微分截面对湮灭势各参数的敏感程度.

(i) 在图 1 中给出了参数  $a$  取不同值时 180 MeV 的  $\bar{p}$  在  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  上的弹性散射微分截面的理论计算结果和实验数据

其中实线对应的参数值为:  $a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ ,  $W_0 = 13.85 \text{ GeV}$ ; 点虚线对应的参数值为:  $a = 4.90$

$\text{fm}^{-1}$ ,  $W_0 = 13.85 \text{ GeV}$ ; 虚线对应的参数值为:  $a = 3.60 \text{ fm}^{-1}$ ,  $W_0 = 13.85 \text{ GeV}$ . 从图 1 可看出, 利用文献 [1] 给出的参数值算出的微分截面 (点虚线) 与实验结果明显不符. 同时也看到, 微分截面对参数  $a$  非常敏感,  $a$  值减小, 峰值升高, 峰和谷的位置向小角度方向移动. 适当地选取参数  $a$ , 可得到与实验符合得很好的结果. 当参数  $a$  在  $3.72 \text{ fm}^{-1}$  附近取值时, 理论计算结果与实验符合得比较好.

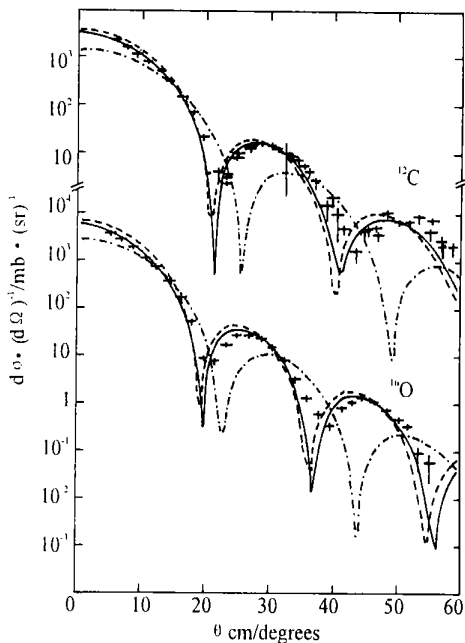


图 1 180 MeV 的  $\bar{p}$  在  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  上的弹性散射微分截面随  $a$  的变化,  $W_0 = 13.85 \text{ GeV}$

Fig. 1 The variation of the differential cross section in elastic scattering of 180 MeV  $\bar{p}$  by  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  with  $a, W_0 = 13.85 \text{ GeV}$ .

—  $a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ ; · · ·  $a = 4.90 \text{ fm}^{-1}$ ; - - -  $a = 3.60 \text{ fm}^{-1}$ ; + + + 实验值 + + + Experimental data.

(ii) 在图 2 中给出了参数  $W_0$  取不同值时 180 MeV 的  $\bar{p}$  在  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  上的弹性散射微分截面的理论计算结果和实验数据

其中实线对应的参数值为:  $a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ ,  $W_0 = 13.85 \text{ GeV}$ ; 点虚线对应的参数值为:  $a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ ,  $W_0 = 17.80 \text{ GeV}$ ; 虚线对应的参数值为:  $a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ ,  $W_0 = 9.90 \text{ GeV}$ . 计算结果表明, 参数  $W_0$  的值增大, 峰值升高, 峰和谷的位置向小角度方向移动. 变化趋势与 (i) 的情况相反, 且变化比 (i) 的情况平缓. 从 (4) 式也可得到这样的结论, 因为参数  $a$  在指数上, 所以微分截面对参数  $W_0$  不象对参数  $a$  那么敏感.  $W_0$  在 12.0~15.0 GeV 的范围内取值时, 理论计算结果与实验值有较满意的符合.

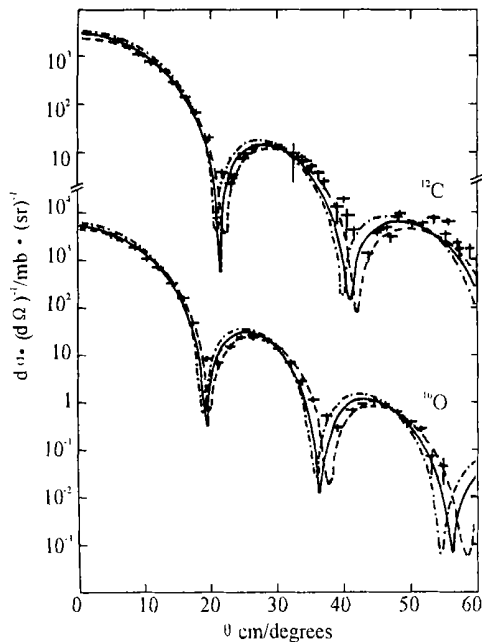


图 2 180 MeV 的  $\bar{p}$  在  $^{12}\text{C}$  和  $^{16}\text{O}$  上的弹性散射微分截面随  $W_0$  的变化,  $a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ 。

Fig. 2 The variation of the differential cross section in elastic scattering of 180 MeV  $\bar{p}$  by  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  with  $W_0, a = 3.72 \text{ fm}^{-1}$ .  
 —  $W_0 = 13.85 \text{ GeV}$ ; - - -  $W_0 = 17.80 \text{ GeV}$ ; - · -  $W_0 = 9.90 \text{ GeV}$ . + + + 实验值 + + + Experimental data.

### 3 结论

本工作研究的模型势 I 是一个比较好的模型, 理论计算结果与实验数据符合得很好, 但如果考虑计算量等因素, 模型 II、III 更好一些, 也更便于研究自旋效应。

我们得到了一组与实验符合得较好的参数

$$a = 3.72 \text{ fm}^{-1}, W_0 = 13.85 \text{ GeV}$$

根据我们的计算结果推测, 各参数按下述范围取值可望获得与实验数据符合较好的计算结果:

$$a = 3.62 \sim 3.82 \text{ fm}^{-1}, W_0 = 12.00 \sim 15.00 \text{ GeV}.$$

最佳参数可望通过极大似然法或最小二乘法获得, 我们将在  $\bar{p}$ -核非弹性散射中采用这种方法对这 3 种模型势做进一步的研究。

对于该模型势采用不同于  $\bar{p}\bar{p}$  散射的参数值即可与  $\bar{p}$ - $^{12}\text{C}$ ,  $\bar{p}$ - $^{16}\text{O}$  弹性散射的实验数据相吻合, 这说明  $\bar{p}$ -核相互作用的本质与  $\bar{p}\bar{p}$  相互作用相同, 参数值的不同正反映了核内部的复杂性。

### 参考文献

- Green A M, Niskanen J A. Quarks and Nuclei ed. Weise W, Singapore World Scientific, 1984. 569.
- Tan Z Q, GU Y T, J Phys. G Nucl Part Phys, 1989, 15 1 699~ 1 707.
- 顾运厅, 冯禄燕. 在  $\bar{p}$ - $^{12}\text{C}$  弹性散射中对一种唯象的 NN 湮灭势的研究. 广西大学学报 (自然科学版), 1995, 20 (2): 163~ 168.
- 冯禄燕, 顾运厅.  $\bar{p}$ - $^{12}\text{C}$  弹性散射和一种周边湮灭势的研究, 广西物理, 1996, 17 (3): 8~ 11.
- Glauber R J. High-energy collision theory. In: Entin W E, Dunham L C ed. Lecture in Theoretical Physics. Vol 1. New York Interscience, 1959. 315.

(责任编辑: 黎贞崇)

## 农业生物多样性

农业生物多样性是以自然多样性为基础, 以人类的生存和发展需求为目的、以生产生活为动力的一个新科学概念, 由中国科学院西双版纳热带植物园郭辉军研究员于 1995 年创意地提出。

生物多样性分为自然生物多样性和农业生物多样性; 自然生物多样性在 30 亿~ 40 亿年前生命的出现就已存在, 而农业生物多样性是随着人类在 300 万年前出现才开始逐渐形成和发展, 是人类与自然相互作用的结果和人类文明的重要成就。有 4 个层次, 即作物品种遗传多样性 (种内多样性)、物种多样性 (包括半家化栽培、栽培种和受到管理的野生种)、农业生态系统多样性和农地景观多样性。

农户是农业生物多样保护和农业可持续发展的基本单元。农业生物多样性是一个社会与自然相互作用的区域综合体内人类文化多样性与自然生物多样性相互作用的结果, 与之相关的技术、文化、政策和物质信息流动是农业生物多样性的重要组成部分。

农业生物多样性的意义在于它是人类未来产业发展和资源开发最直接的战略种质资源库和国家生物安全的重要组成部分, 对人类的历史发展进程起到了重要的保障作用, 并将对人类未来的生存与可持续发展以及各种土地资源管理类型的合理、高效和可持续利用, 生态环境的有效保护做出重要贡献。

(据科学时报)