

高能 α 粒子与 ${}^4\text{He}$ 的弹性散射

何澄明

(贵州师范大学物理系 贵阳 550001)

李清润

(中国科学院高能物理所,北京 100039)

摘 要

应用 Glauber 核-核散射理论,在“刚体炮弹近似”下计算了高能 α 粒子在 ${}^4\text{He}$ 靶核上的弹性散射.结果显示,理论对于中等动量转移以下的实验结果给出令人满意的描述.

一、引 言

中高能核-核散射的研究是中高能核物理领域中一个重要的课题.但是与强子-核散射已存在大量的实验情况相比,对于中高能核-核散射的测量则少得多.而在入射能量变化方面,最为“完全”的要算是在三种不同入射动量($p_\alpha=4.32, 5.07, 7.0 \text{ GeV}/c$)下的 α 粒子在 ${}^4\text{He}$ 靶核上的弹性散射实验^[1,2].

Glauber 理论在描述中高能强子与核散射方面已被证明是相当成功的.这一理论可以直接地推广到核-核散射的情况.但是,由于展开项数太多而难以实际应用在核子数目稍多些的核系统上. Saclay 的第一个高能 α - ${}^4\text{He}$ 实验($p_\alpha=4.32, 5.07 \text{ GeV}/c$)完成后,很多研究者在 Glauber 理论框架下做某些近似对实验结果作理论分析^[3,4].其后 Viollier 等人^[5]在“刚体炮弹近似”^[6]下也对上面这一实验结果进行了计算.最近, Franco 等人^[7]做了一个包括 Glauber 全部展开项的计算,结果表明,除了在很小角度外,理论只能定性地描述实验.

本文中我们将应用 Glauber 理论在“刚体炮弹近似”下对入射动量为 $4.32, 5.07$ 和 $7.0 \text{ GeV}/c$ 的 α 粒子在 ${}^4\text{He}$ 靶上的弹性散射进行研究.但我们的做法和 Viollier 等人^[5]的不同.作为计算的基本输入量的 α -p 振幅, Viollier 等人是使用由 N-N 振幅通过 Glauber 理论计算得到的.这样得到的振幅描述 p- ${}^4\text{He}$ 的实验角分布并不好,在图 1 中我们展示的结果可以清楚地看出这一点.我们曾经给出一组覆盖整个中能区的 p- ${}^4\text{He}$ 的散射振幅,这些振幅能够非常好地给出 p- ${}^4\text{He}$ 的微分截面^[9].本文中我们将使用这组振幅作为基本输入量来计算现有实验数据可比较的 α - ${}^4\text{He}$ 弹性散射.这同时也是对于我们得到的这组 p-

• 国家自然科学基金资助.

本文 1992 年 4 月 11 日收到.

${}^4\text{He}$ 振幅的一次检验,这是本文的另一个目的.

二、理论公式和基本输入振幅

一个含有 A 个核子的入射原子核被一个包含 B 个核子的靶原子核弹性散射的 Glauber 振幅为

$$F_{AB}(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d^2b e^{iq \cdot b} \langle \psi | -A\psi_B | 1 - \prod_{i=1}^A \prod_{j=1}^B [1 - \Gamma(b + s_i - s'_j)] | \psi_A \psi_B \rangle, \quad (1)$$

其中 ψ_A, ψ_B 是入射核和靶核的基态波函数; s_i 和 s'_j 分别代表 A 中第 i 个核子和 B 中第 j 个核子在与入射方向垂直平面上的投影坐标, b 是两个原子核质心间的距离在同一平面上的投影. k 是入射动量, q 代表动量转移. $\Gamma(b)$ 是两个核子间的剖面函数,由核子-核子散射振幅 f_{NN} 决定:

$$\Gamma(b) = \frac{1}{2\pi i k_N} \int d^2q e^{-iq \cdot b} f_{NN}(q). \quad (2)$$

公式(1)其形式看起来很简单,但实际计算时却很复杂.当 A 和 B 变得稍微大些时,即使 f_{NN} 和 ψ_A, ψ_B 都取最简单的高斯型时,(1)式也因包括太多的展开项而难于计算.

为了简化计算,一种称为“刚体炮弹近似”(the rigid projectile approximation)的办法被使用^[6].这种近似的基本假定是:入射原子核被看成是一个整体参与散射过程.在这一近似下,原子核 A 被靶核 B 的散射振幅为

$$F_{AB}^{(R)}(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d^2b e^{-iq \cdot b} \langle \psi_B | 1 - \prod_{j=1}^B [1 - \Gamma_A(b - S'_j)] | \psi_B \rangle, \quad (3)$$

其中 Γ_A 是入射核 A 与靶核中一个核子间的剖面函数,由核 A 与一个核子间的散射振幅 f_{AN} 决定:

$$\Gamma_A(b) = \frac{1}{2\pi i k_A} \int d^2q e^{-iq \cdot b} f_{AN}(q). \quad (4)$$

如前面提到的,当计算 α 粒子被靶核散射时,Viollier 等人是由 $N-N$ 振幅通过 Glauber 公式的计算而得到 $f_{aN}(q)$ 振幅.然后再利用公式(3)和(4)得到 α 粒子被靶核的散射振幅.

我们在文献[9]中选取如下的一个参数化的振幅形式去代表一个核子和 ${}^4\text{He}$ 间的强作用振幅

$$f_{p\alpha}(q) = \frac{k_p \sigma_T}{4\pi} (\rho + i)(1 - q^2/t) e^{-\beta q^2/2}, \quad (5)$$

其中四个参数 $\rho, \beta, \text{Re } t$ 和 $\text{Im } t$ 由拟合 $p-{}^4\text{He}$ 的实验微分截面来确定.我们将使用这一振幅来计算 α 粒子被 ${}^4\text{He}$ 核的散射.

三、结果与讨论

在中高能区,现有的 $\alpha-{}^4\text{He}$ 弹性散射仅有 Saclay 的两组测量数据,即文献[1]中的 $p_s = 4.32$ 和 $5.07 \text{ GeV}/c$ 以及后来文献[2]中的 $p_s = 7.0 \text{ GeV}/c$ 一共三种入射能量下的实

验结果. 本文中, 我们介绍这三种情况的计算结果. 三种入射动量分别对应 α 粒子的入射能量为 1.96, 2.55 和 4.2 GeV. 与此对应的 p - ${}^4\text{He}$ 散射的质子能量分别为 0.5, 0.64 和 1.05 GeV. 其中 0.5 和 1.05 GeV 的 p - ${}^4\text{He}$ 振幅参数文献[9]已有, 而 0.64 GeV 的振幅参数文献[9]中没有, 由相邻数据进行内插得到.

靶核 ${}^4\text{He}$ 的核子分布密度采用文献[7]中所使用的参数, 以便于和他们的结果进行比较.

由公式(3)、(4)、(5)可以求得 α 粒子在靶核 ${}^4\text{He}$ 上的弹性微分截面, 结果给在图 2 中如实线所示. 图中的实验点取自文献[1]和[2]. 从图中可以看到, 在第二个极小值以前, 理论给出的截面大小和实验是基本符合的, 而“峰”和“谷”的位置也给出了正确的预示. 总的讲, 在三种能量下理论都能给出对实验的比较令人满意的描述. 在同一图中, 我们也给出了 Franco 等人的完全 Glauber 展开的计算结果[7], 如图中虚线所示. 可以看到, 理论结果与实验数据间有相当大的不一致, 特别是 $p_\alpha = 4.32 \text{ GeV}/c$ 的情况. Franco 的计算不能很好地符合实验结果, 其实也不难理解, 因为在同样的理论框架下对于 p - ${}^4\text{He}$ 的描述也不成功(见图 1). 本文结果比 Franco 的结果更接近实验, 这可能是因为使用了直接来自

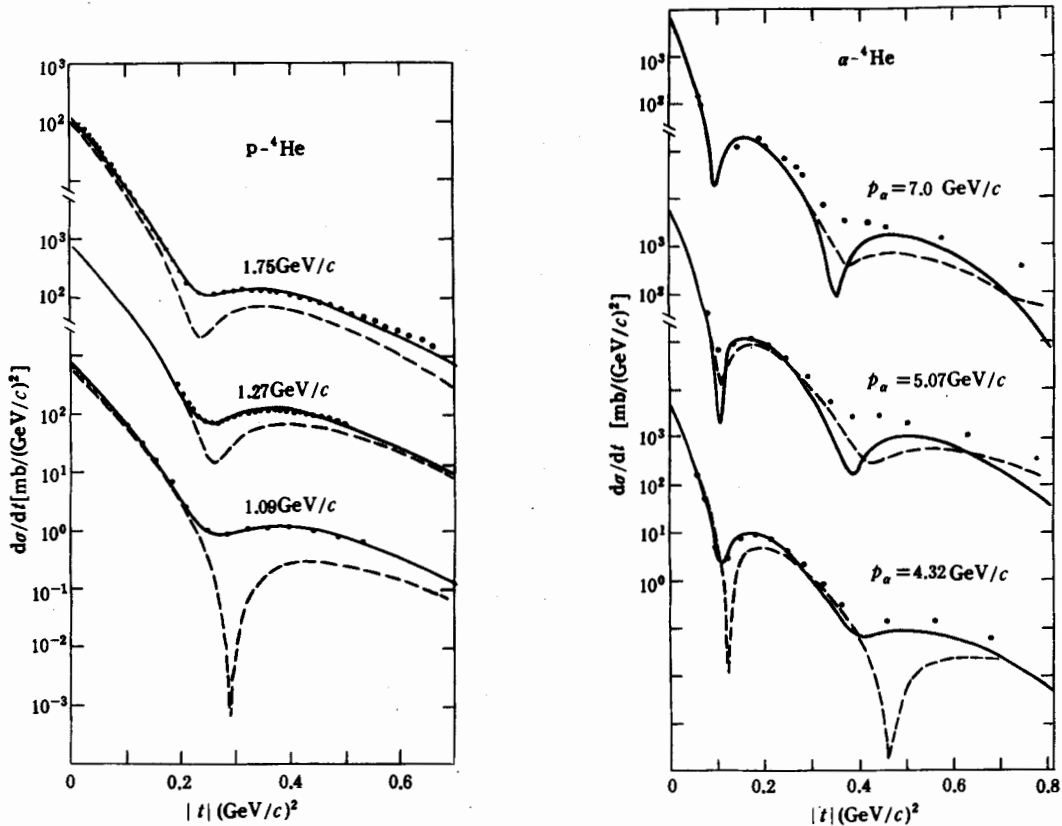


图 1 p - ${}^4\text{He}$ 弹性微分截面. 虚曲线是 Glauber 理论的结果. 实线为本文使用的振幅(5)式的结果. 点代表实验数据[8,9]

图 2 入射动量为 4.32, 5.07 和 7.0 GeV/c 的 α - ${}^4\text{He}$ 弹性微分截面. 实线是本文结果; 虚线为文献[7]中的结果. 实验点取自[1,2]

实验的 $p\text{-}^4\text{He}$ 振幅,而这一振幅已“自动地”包括了 ^4He 中各种核结构效应的综合.而这些效应是人们目前尚未研究清楚的.本文的计算结果能够基本上与实验符合这一事实,也是对文献[9]中给出的 $p\text{-}^4\text{He}$ 振幅的一次成功的检验.

最后,我们指出,无论是 Franco 的完全 Glauber 展开模型还是本文的模型,都还不能定量地描述实验结果.我们的结果虽然比 Franco 的结果更接近实验一些,但这也只是在本文所包括的中等动量转移区域以内.在大动量转移区域则与实验有更大的偏离.因此,对中高能重离子散射的研究,不但理论上应做进一步的工作,而更重要的是需要有更多的实验结果来为理论研究提供判据.

参 考 文 献

- [1] J. Berger et al., *Nucl. Phys.*, **A338**(1980), 421.
- [2] L. Satta et al., *Phys. Lett.*, **139B**(1984), 263.
- [3] G. K. Varma, *Nucl. Phys.*, **A294**(1978), 465.
- [4] A. Malecki and L. Satta, *Lett. Nuovo Cimento*, **21**(1978), 457.
- [5] R. D. Viollier and E. Turtzchi, *Ann. Phys.*, (NY) **124**(1980), 290.
- [6] G. D. Alkhozov et al., *Nucl. Phys.*, **A280**(1977), 365.
- [7] V. Franco and Y. Yin, *Phys. Rev.*, **C34**(1986), 608.
- [8] G. Igo, in *High-Energy Physics and Nuclear Structure, 1975*, ed. D. E. Nagle et al., (New York, AIP) p63.
- [9] Li Qing-run and Zhou Jin-li, *J. Phys.*, **G17**(1991), 663.

High Energy α -Particle Scattering on ^4He

HE GANMING

(Department of Physics, Guizhou Normal University, Guiyang 550001)

LI QINGRUN

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

The high energy α -particle elastic scattering on ^4He is studied applying the Glauber formalism. The results show that the theory provides a satisfactory description of the data in the middle momentum transfer range.