

高能复合粒子散射中的夸克自由度*

黄朝晖 王德安

(广西大学, 南宁)

马维兴

(中国高等科学技术中心, 理论物理分中心, 中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

本文提出了一个夸克-强子混合模型来描述高能复合粒子的散射, 在此模型中, 夸克部分的参数是由符合 p - p 散射实验来确定的, 我们应用这个没有任何自由参数的模型讨论了 p - α 弹性散射. 结果表明, 我们的模型大大地改善了以前各种不同理论的计算, 并且很好地解释了实验数据. 结果还表明, 在 NN 相互作用中的夸克自由度在改善实验数据的理论描述中起着十分重要的作用.

由于 J/ψ 粒子的发现, 人们完全相信强子的夸克结构. 原子核可被认为是由夸克集团(三夸克集团, 甚至三个以上夸克构成的集团)所组成的体系. 实验上也有许多关于在原子核中存在夸克集团的征兆^[1]. 因此, 对核物理中许多现象的描述必须要求包括夸克自由度.

最近, 文献[2]考虑了核-核碰撞中夸克自由度的作用. 他们提出了一个简单的模型, 并研究了两个纯夸克系统的散射. 但是他们的计算并没有改善传统核物理的结果.

我们认为, 核现象的定量描述, 应该是混合的, 必须同时包括强子和夸克的自由度. 我们提出了一个夸克-强子混合模型来描述 NN 散射. 混合模型意味着, 我们将 NN 相互作用的空间分成两个区域, 即内部夸克区(短程区)和外部强子区(长程区). 在内部夸克区, 两个三夸克袋之间的相互作用是由夸克-夸克相互作用(交换胶子)来描述的, 它可以由参数化的散射振幅给出:

$$f_{00} = \frac{iK_{NN}}{4\pi} \sigma_0 (1 - i\rho_0) \exp[-\beta_0^2 q^2/2], \quad (1)$$

其中 σ_0 , β_0 和 ρ_0 分别是总截面, 斜率参数和朝前振幅实部对虚部之比. 像文献[2]所做的那样, 这些参数可由符合 NN 散射实验来确定. 在外部强子区, NN 相互作用由交换介子所产生, 假定也有(1)式的形式, 不同的是 σ_0 , ρ_0 和 β_0 由 NN 散射的 σ_N , ρ_N 和 β_N 所代替. 这两个区域的划分是由一个唯象的碰撞参数 b_0 所描述. 当 $b \leq b_0$ 时, NN 散射被当作三夸克系统来处理; 当 $b > b_0$ 时, 便用传统的方法处理. 因此, 在夸克-强子

* 中国自然科学基金资助的课题.

本文 1988 年 6 月 9 日收到.

混合模型中 NN 散射振幅是

$$F_{NN}(q) = F_{QQ}^{b \leq b_0}(q) + F_{NN}^{b > b_0}(q). \quad (2)$$

在格劳伯理论^[3]框架下, $F_{QQ}^{b \leq b_0}$ 可写成

$$F_{QQ}^{b \leq b_0}(q) = \frac{iK_{NN}}{2\pi} \int e^{i\mathbf{q} \cdot \mathbf{b}} \Gamma_{NN}(\mathbf{b}) d^2\mathbf{b}, \quad (3a)$$

其中

$$\begin{aligned} \Gamma_{NN}(\mathbf{b}) = & \left\{ \phi_N^*(1, 2, 3) \left[1 - \prod_{j=1}^3 \{1 - \Gamma_{NQ}(\mathbf{b} - \mathbf{s}_j)\} \right] \phi_N(1, 2, 3) \right. \\ & \left. \times \delta^3\left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \mathbf{x}_i\right) \prod_{i=1}^3 d\mathbf{x}_i \right\} \end{aligned} \quad (3b)$$

和

$$\begin{aligned} \Gamma_{NQ}(\mathbf{b} - \mathbf{s}_j) = & \left\{ \phi_N^*(1, 2, 3) \left[1 - \prod_{i=1}^3 \{1 - \Gamma_{QQ}(\mathbf{b} - \mathbf{s}_j + \mathbf{s}_i)\} \right] \phi_N(1, 2, 3) \right. \\ & \left. \times \delta^3\left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \mathbf{x}_i\right) \prod_{i=1}^3 d\mathbf{x}_i \right\}, \end{aligned} \quad (3c)$$

而 $\Gamma_{QQ}(\mathbf{b})$ 可由(1)式给出:

$$\Gamma_{QQ}(\mathbf{b}) = \frac{1}{2\pi i K_{QQ}} \int e^{-i\mathbf{q} \cdot \mathbf{b}} f_{QQ}(\mathbf{q}) d^2\mathbf{q} = \frac{\sigma_Q(1 - i\rho_Q)}{4\pi\beta_Q^2} e^{-b^2/2\beta_Q^2}, \quad (3d)$$

其中 ϕ_N 是核子的夸克结构波函数, 可写成^[4]

$$\begin{aligned} \phi_N(1, 2, 3) = & \frac{1}{\sqrt{6}} \varepsilon_{ijk} |q_i q_j q_k\rangle_{\text{color}} \cdot \chi_{\text{flavor}}^{\text{p1n}}(1, 2, 3) \\ & \times \left[\sqrt{3} \pi b_N^2 \right]^{-3/2} \exp\left[-\sum_{n=1}^3 (\mathbf{r}_n - \mathbf{R}_N)/2b_N^2\right] \end{aligned} \quad (3e)$$

其中 $\mathbf{R}_N = \frac{1}{3}(\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2 + \mathbf{r}_3)$, 大小参数 $b_N = 0.6\text{fm}^{[4]}$.

方程(2)中的 $F_{NN}^{b > b_0}$ 通常可写成^[5]

$$F_{NN}^{b > b_0}(q) = \frac{iK_{NN} \sigma_N}{4\pi} (1 - i\rho_N) \exp[-\beta_N^2 q^2/2]. \quad (4)$$

利用(2),(3)和(4)式, 我们计算了 $\sqrt{S_{NN}} = 44.7\text{ GeV}$ 的 p-p 弹性散射, 并调整参数 σ_Q , ρ_Q , β_Q 和 b_0 使其符合实验. 计算的结果以及与实验符合的情况表示在图1中. 在同一图中, 还给出了内部夸克区夸克的贡献(点线)和外部强子区核子的贡献(点划线).

利用符合 p-p 实验得到的参数, 我们计算了 p- α 弹性散射. 相应于 $\sqrt{S_{NN}} = 44.7\text{ GeV}$ 的能量为 $\sqrt{S_{p\alpha}} = 89\text{ GeV}$. 在格劳伯理论框架下, p- α 散射振幅为

$$F_{p\alpha}(q) = \frac{iK_{p\alpha}}{2\pi} K_{c.m.}(q) \int e^{i\mathbf{q} \cdot \mathbf{b}} d^2\mathbf{b} \langle \phi_A | 1 - \prod_{j=1}^A [1 - \Gamma_j(\mathbf{b} - \mathbf{s}_j)] | \phi_A \rangle, \quad (5a)$$

其中 ϕ_A 是传统的原子核 α 波函数. 计算中采用反对称化的波函数; $K_{c.m.}(q)$ 是质心修正因子. 应用方程(2), $\Gamma_j(\mathbf{b})$ 可写为

$$\Gamma_j(\mathbf{b}) = \Gamma_j^Q(\mathbf{b}) + \Gamma_j^N(\mathbf{b}), \quad (5b)$$

其中

$$\Gamma_j^Q(\mathbf{b}) = \frac{1}{2\pi i K_{NN}} \int e^{-i\mathbf{q}\cdot\mathbf{b}} d^2\mathbf{b} F_{QQ}^{b \leq b_0}(q), \quad (5c)$$

$$\Gamma_j^N(\mathbf{b}) = \frac{1}{2\pi i K_{NN}} \int e^{-i\mathbf{q}\cdot\mathbf{b}} d^2\mathbf{b} F_{NN}^{b > b_0}(q). \quad (5d)$$

利用这些公式,我们计算了能量为 $\sqrt{s_{p\alpha}} = 89.7\text{GeV}$ 的 $p-\alpha$ 弹性散射. 计算结果和实验数据同时表示在图 2 中. 在同一图中,还给出了其它模型的结果.

由图 2 可见,我们的模型改进了各种不同的理论计算,并且理论结果与实验符合较好. 这清楚地表明,在 NN 散射中夸克自由度起着重要的作用,特别是在大动量转移区,夸克效应起着十分重要的作用,因此在进一步的计算中必须考虑夸克自由度.

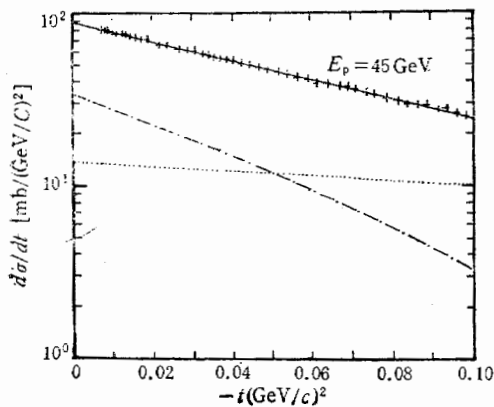


图 1 在夸克-强子混合模型中, $\sqrt{s_{NN}} = 44.7\text{GeV}$ 的 $p-p$ 弹性散射截面对于相应的实验数据^[1](十字架)的符合.

实线表示参数为 $\sigma_Q = 5.37\text{mb}$, $\rho_Q = 0.0786$, $\beta_Q = 0.405\text{fm}$ 和 $b_c = 0.70\text{fm}$ 的夸克-强子混合模型的结果. 点线是内部夸克区夸克的贡献,点划线是外部强子区核子的贡献.

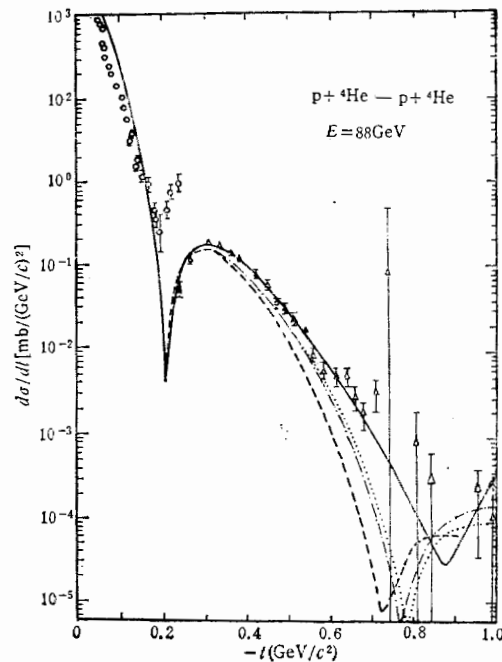


图 2 在夸克-强子混合模型下,能量为 $\sqrt{s_{p\alpha}} = 89\text{GeV}$ 的 $p-\alpha$ 散射的结果并与实验数据^[1]的比较,以及与其它模型的结果的比较.

点线是文献[2]给出的传统核子模型的结果

虚线表示文献[2]的夸克模型的结果

点划线是本文的传统核子机制的理论结果,即在

$$\text{全空间应用 } f_{NN}(q) = \frac{iK_{NN}}{4\pi} \sigma_N (1 - i\rho_N) e^{-\beta_N^2 q^2 / 2} (\sigma_N$$

$$= 41.79\text{mb}, \rho_N = 0.062 \text{ 和 } \beta_N = 12.2(\text{GeV}/c)^2)$$

作传统计算的结果

实线表示夸克-强子混合模型的结果,

其参数 σ_Q , ρ_Q 和 β_Q 取图 1 中确定的值

参 考 文 献

- [1] Leonard S. Kisslinger, W. H. Ma and P. Hoodbhoy, *Nucl. Phys.* **A449**(1985), 461; Leonard S. Kisslinger "Workshop on perspectives in nuclear physics at intermediate energies", Trieste, March 25—29, 1985.

- [2] Victor Franco, *Phys. Rev.* **C35**(1987), 1328.
- [3] R. J. Glauber, *Lectures in Theoretical Physics*, ed. W. E. Britin et al., (Interscience, New York, 1959) Vol. 1, p. 315.
- [4] S. Brodsky, *Proc. Int. School on Nuclear Physics*, Erice, 1984.
- [5] R. D. Viollier et al., Preprint, CERN, Ref. TH. 2529-CERN, 18 July, 1978; V. Franco et al., *Phys. Rev.* **C34**(1986), 608.
- [6] K. R. Schubert, *Talks on Nucleon-Nucleon Scattering*, Vol. 9 of *Londolt-Bornstein Numerical Data and Functional Relationship in Science and Technology, New Series*, edited by M. Schopper (Springer New York 1980) p. 273.

THE QUARK DEGREES OF FREEDOM IN HIGH ENERGY COMPOSITE PARTICLE SCATTERING

HUANG CHAOHUI WANG DEAN

(Guangxi University, Nanning)

MA WEIXING

(Center of Theoretical Physics, CCAST (World Lab.), and Institute of High Energy Physics, Academic Sinica
Beijing)

ABSTRACT

We propose a hybrid quark hadron model to describe high energy composite particle scattering. The parameters for quark sector in the model are determined by fitting pp scattering data. We apply the model without any free parameter to proton-alpha elastic scattering. Our model yields a quite large improvement over various calculations done before and provides a very good agreement with existing data available. Our results also show that the quark degrees of freedom in NN interaction play an important role in improving theoretical description of experimental data and must be included in future calculations.