

Gottfried 求和规则中的价夸克混合效应

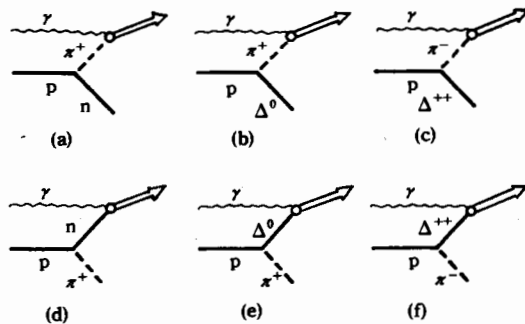
朱 伟

(华东师范大学物理系, 上海 200062)

摘 要

本文讨论了深度非弹过程中的价夸克混合效应. 这个效应连同介子云的贡献支配了 Gottfried 求和规则的破缺.

近来 NMC 实验组精确地测量了质子和氘的结构函数^[1]. 他们发现 Gottfried 求和 $\int (F_2^p - F_2^n) dx/x = 0.24 \pm 0.16$, 低于简单的夸克-部分子模型的预期值 $1/3$ ^[2], 一些作用 π 云模型指出味不对称的海夸克可以使 Gottfried 值低于 $1/3$ ^[3]. Henley 和 Miller^[4] 计算了在中态 π^+ 上的深度非弹散射 (图 1(a)). 在他们的估计中, 上述 NMC 数据意味着质子中 \bar{d} 夸克比 \bar{u} 夸克多, 而且切割参数 $\Lambda < 4.2 \text{ fm}^{-1}$, 相当于口袋半径 $R > 8 \text{ fm}$ ^[3]. 然而最近 Kumano 指出^[5], 与中态 Δ 有关的 π^+ 和 π^- 的贡献 (图 1(b, c)) 将部分地抵消上述 $N \rightarrow N\pi$ 过程引起的效应, 这意味着 π 云模型只能部分地 (大约 50%) 解释 NMC 实验.



我们认为, 上述作者利用 π 云模型研究 Gottfried 求和规则时, 均没有考虑到伴随 π 云的重子中间态引起的效应. 事实上, 图 1(d-f) 的过程表明靶质子有一定几率与中间态 n, Δ^0 和 Δ^{++} 混合. 在过程 $p(uud) \rightarrow n(udd) \pi^+$, $p(uud) \rightarrow \Delta^0(udd) \pi^+$ 和 $p(uud) \rightarrow \Delta^{++}(uuu) \pi^-$ 中, 由于 u 夸克和 d 夸克的电荷不同, 上述价夸克的混合会明显地改变 Gottfried 值. 本文的目的是估计该效应的大小, 将发现价夸克混合效应, 连同 π 云贡献可以成功地解释 NMC 实验.

图 1 价夸克混合和 π 云对深度非弹散射的贡献.

首先把 Gottfried 求和写成由来自价夸克和海夸克两部分的贡献组成

$$\begin{aligned}
 S &= S_v + S_s \\
 &= \int_0^1 \sum_i e_i^2 [v_i^p(x) - v_i^n(x)] dx + 2 \int_0^1 \sum_i e_i^2 [\bar{q}_i^p(x) - \bar{q}_i^n(x)] dx, \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中 e_i 是 i 型夸克之电荷, v, s 表示价夸克和海夸克. (1) 式中的 S_v 由 π 云模型计算^[3].

用 $n_\pi = \int_0^1 f_\pi^{(\pi NN)}(y) dy$ ($n_\pi^* = \int_0^1 f_\pi^{(\pi \Delta N)}(y) dy$) 表示过程 $N \rightarrow N\pi (N \rightarrow \Delta\pi)$ 中 π 的平均数. $f_\pi^{(\pi NN)}(y)$ 和 $f_\pi^{(\pi \Delta N)}(y)$ 是相应过程中 π 的动量分布函数. 由同位旋对称, 与图 1(a-c) 对应过程中的 π 数分别为 $n_{\pi^+} = \frac{2}{3}n_\pi, n_{\pi^0} = \frac{1}{6}n_\pi$, 和 $n_{\pi^-} = \frac{1}{2}n_\pi$. 因为 π^+ 中 \bar{d} 夸克多于 \bar{u} 夸克而 π^- 中相反, 图 1(a-c) 中 π 云的贡献为 $S_\pi = -\frac{4}{9}n_\pi + \frac{2}{9}n_\pi^*$.

下面讨论价夸克的混合. 以图 1(d) 为例. 虽然质子变成中子时, 其中的价夸克数目不变, 但价夸克的电荷要改变. 这样 (1) 式中 S_v 将由下式代替

$$S_v = (1 - n_{\pi^+} - n_{\pi^0} - n_{\pi^-}) \int_0^1 \sum_i e_i^2 (V_i^p - V_i^n) dx + n_{\pi^+} \int_0^1 \sum_i e_i^2 (V_i^n - V_i^p) dx + n_{\pi^0} \int_0^1 \sum_i e_i^2 (V_i^{\Delta^0} - V_i^{\Delta^+}) dx + n_{\pi^-} \int_0^1 \sum_i e_i^2 (V_i^{\Delta^{++}} - V_i^{\Delta^-}) dx, \quad (2)$$

其中利用了同位旋对称 $n_{\pi^+}^p = n_{\pi^-}^n \equiv n_{\pi^+}, n_{\pi^+}^p = n_{\pi^-}^n \equiv n_{\pi^+}$, 和 $n_{\pi^0}^p = n_{\pi^0}^n \equiv n_{\pi^0}$. 把价夸克的归一化条件用于 (2) 式后有

$$S_v = \frac{1}{3} - \frac{4}{9}n_\pi + \frac{2}{9}n_\pi^*. \quad (3)$$

计算中分布 $f_\pi^{(\pi NN)}(y)$ 和 $f_\pi^{(\pi \Delta N)}(y)$ 的形式取自文献 [5], 其中形状因子 $F_{\pi NN}(t) \approx F_{\pi \Delta N}(t) = \exp(t/\Lambda)$, 切割因子 Λ 与袋半径 R 有关.

在图 2 中, 用实线表示我们计算得到的 Gottfried 值 $S = S_v + S_\pi$ 与 Λ 的关系. 斜线区, 是实验许可范围. 为比较起见, 图 2 同时给出了忽略价夸克混合效应后的 S 值 (虚线), 以及只考虑图 1(a) 的 S 值 (折线). 可见图 2 中实线比其它二种情况更接近 NMC 实验结果. NMC 数据要求 $\Lambda > 4\text{fm}^{-1} (S = 0.24 \text{ 对应于 } \Lambda = 4.75\text{fm}^{-1})$. 由此袋半径 $R < 0.8\text{fm}$, 它同核子的其它性质及 $(\bar{u} + \bar{d})/2 - \bar{s}$ 数据所要求的袋半径值不矛盾 (见文献 [3]).

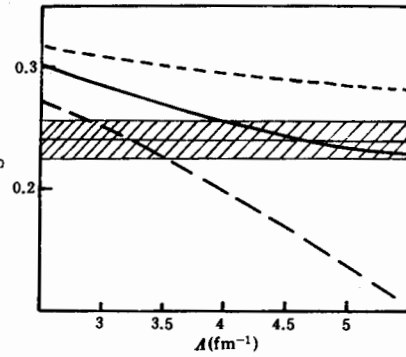


图 2 Gottfried 求和与切割参数 Λ 关系.

折线和虚线是图 1(a) 和图 1(a, b, c) 的贡献. 实线为来自图 1(a-f) 的贡献之和. 斜线区是 NMC 数据范围.

结论: 价夸克混合及 π 云效应支配了 Gottfried 求和规则的破坏.

参 考 文 献

- [1] NMC Collaboration, P. Amaudruz et al., *Phys. Rev. Lett.*, **66**(1991), 2712.
- [2] K. Gottfried, *Phys. Rev. Lett.*, **18**(1967), 1174.
- [3] A. W. Thomas, *Prog. Nucl. Phys.*, **13**(1984), 1;
G. A. Miller, *Intern. Rev. Nucl. Phys.*, **1**(1984), 189;
F. Mhyrer, *Intern. Rev. Nucl. Phys.*, **1**(1984), 326;
J. Donoghue and C. De Tar, *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.*, **33**(1983), 235.

- [4] E. M. Henley and G. A. Miller, *Phys. Lett.*, **251B**(1990),453.
[5] S. Kumano, *Phys. Rev.*, **D43**(1991),59;3067.

Valence-Quark-Mixing Contribution to Gottfried Sum Rule

ZHU WEI

(*Department of Physics, East China Normal University, Shanghai 200062*)

ABSTRACT

We have discussed the effect of valence quark mixing in DIS process. This effect, together with the pion cloud effect, dominates the violation of Gottfried sum rule.