

核介质中的核子性质

朱 伟
(华东师范大学)

摘 要

借助价子模型,讨论了原子核中的质子电形状因子 $G_E^p(Q^2)$ 和 π 衰变常数 f_π . 联系准弹性峰附近 ^{56}Fe 上的 (e, e') 反应,我们证明核介质对 $G_E^p(Q^2)$ 和 f_π 有影响,而且它们的修正同结构函数的畸变(EMC 效应)一样,均是出于强子尺度的增大.

研究自由核子和原子核中核子性质的差异,是核物理中一个令人感兴趣的课题. EMC 效应^[1]的发现,为研究核介质对核子性质的影响,提供了新的线索. 原子核中核子结构函数的畸变现象,表明核子在中、重原子核中的尺度可能增大 10—20%^[2]. 我们认为核子尺度的这种变化,还应该在其它现象中表现出来. 在本文中,我们将讨论核介质中质子的电形状因子 $G_E^p(Q^2)$ 和 π 衰变常数 f_π 的性质. 我们选取价子模型^[3]作为强子的模型,理由是该模型在解释强子软过程^[4]、结构函数性质^[5]等方面,已取得了一些成果,而且利用价子的分布与强子尺度有关这一性质,可以较简单地给出本文所要求的定量结果.

按照文献[4],质子的电形状因子

$$G_E^p(Q^2) = \sum_i e_i \int_0^1 dx \int d^2r e^{i\mathbf{Q}\cdot\mathbf{r}} q_i^p(x, \mathbf{r}) \quad (1)$$

可以如下因子化:

$$G_E^p(Q^2) = K_p(Q^2) F_v(Q^2), \quad (2)$$

上式中, $F_v(Q^2)$ 是普适的价子结构函数, $K_p(Q^2)$ 与价子的分布有关:

$$K_p(Q^2) = \sum_i e_i \int_0^1 dx G_i^p(x) H_i^p(\mathbf{k}) |_{\mathbf{k}=(1-x)\mathbf{Q}}. \quad (3)$$

价子的纵向动量分布为

$$G_u^p(x) = 10.8x^{0.9}(1-x)^2, \quad G_D^p(x) = 4.6x^{0.1}(1-x)^{2.8}, \quad (4)$$

横向分布 $H_i^p(\mathbf{k})$ 取高斯型分布^[4]:

$$H_i^p(k^2) = \exp(-\beta_i^p k^2), \quad (5)$$

$\beta_u^p = 6.1\text{GeV}^{-2}$, $\beta_D^p = 3.01\text{GeV}^{-2}$. β_i^p 和价子分布的方均值成正比

$$\beta_i^p = \langle k_i^2 \rangle_i^{-1} \propto \langle r^2 \rangle_{i/p}. \quad (6)$$

夸克模型认为 $\langle r^2 \rangle_{i/p}$ 取决于组分的波函数和囚禁尺度 R_0 , 而且与后者成正比^[6]. 所以我们可以设想,当自由核子进入原子核后,随着核子半径的改变 $R_0 \rightarrow \tilde{R}_0 = \kappa R_0$, 有

$$\langle r^2 \rangle^{1/2} \rightarrow \langle \tilde{r}^2 \rangle^{1/2} = \kappa \langle r^2 \rangle^{1/2}, \quad (7)$$

(本文用记号 \sim 表示核介质中强子的相应量)。于是不难得到原子核中质子和自由质子的电形状因子之比

$$R = \tilde{G}_E^p(Q^2)/G_E^p(Q^2) = \tilde{K}_p(Q^2)/K_p(Q^2), \quad (8)$$

其中利用了 $F_p(Q^2)$ 的普适性。表1给出了几种不同 κ 值时的 R , 说明原子核中质子形状因子随 Q^2 的下降增快。

虽然目前尚无直接检验上述预言的实验, 但是在 ^{56}Fe 上的电子深度非弹性散射实验^[7]表明, 在准弹性峰附近, 测到的纵向响应函数 $S_L(|\mathbf{q}|, \omega)$ 要比冲量近似下的理论值小 $\sim 35\%$ 。J. V. Noble^[8] 建议过, 如果将 ^{56}Fe 核中的核子形状因子

$$G_E^p(Q^2) = (1 + Q^2/\mu^2)^{-2} \quad (9)$$

作如下修改

$$\tilde{G}_E^p(Q^2) = (1 + Q^2/(\alpha\mu)^2)^{-2}, \quad (10)$$

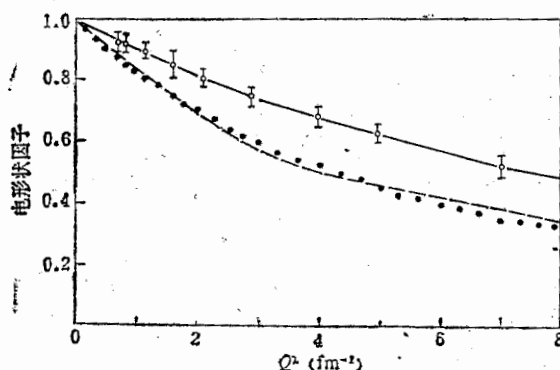


图1 — $G_E^p(Q^2)$, --- $\tilde{G}_E^p(Q^2)$, $\kappa = 1.18$, ... $[1 + Q^2/(\alpha\mu)^2]^{-2}$, $\alpha = 1.34$

表 1

$Q^2(\text{fm}^{-2})$	$R(\kappa = 1.10)$	$R(\kappa = 1.18)$	$R(\kappa = 1.20)$
0	1.00	1.00	1.00
1	0.98	0.95	0.95
2	0.92	0.85	0.84
3	0.86	0.77	0.75
4	0.84	0.74	0.72
5	0.85	0.75	0.73
6	0.84	0.74	0.72
7	0.83	0.72	0.70
8	0.82	0.70	0.68

表 2

	$\kappa' = 1.10$	$\kappa' = 1.18$	$\kappa' = 1.20$	$\kappa' = 1.45$
η	0.92	0.87	0.86	0.72 (~ 0.60)*

* 见文献[10].

—
a
事
型
它

如
QC

利

(原
出
可

[1
[2
[3
[4
[5
[6
[7
[8
[9
[10

$\alpha = 0.746$, 则可以较好地解释上述偏离。形状因子的这种变化, 同我们的结论是一致的。事实上, 按照文献[2]的讨论, ^{56}Fe 中核子尺度的增大系数可取 $\kappa = 1.18$ ($F(r) = 1$ 模型), 把自由核子形状因子的实验参数式(9)代入(8)式, 可以求得 $\kappa = 1.18$ 时的 $G_E^p(Q^2)$, 它与(10)式是相符合的。图 1 的虚线和点线给出了二者的比较。

下面讨论 π 衰变常数 f_π , 由文献[4]

$$f_\pi = \frac{\sqrt{3}}{2\pi} (\beta^\pi + \beta^\nu)^{-1/2} \int_0^1 dx [G_\pi^2(x)]^{1/2}, \quad (11)$$

如果强子在核介质中尺度变大是一种普适现象 (正如有些作者估计这种尺度的变化来自 QCD 直空的畸变^[9]), 那末可以预期 π 介子半径 R'_0 在核介质中也有一定的变化

$$\tilde{R}'_0 = \kappa' R'_0, \quad (12)$$

利用文献[4]给出的 β 值, 不难得到对应于不同 κ' 值时的

$$\eta = \frac{\tilde{f}_\pi}{f_\pi}, \quad (13)$$

(见表2)。有趣的是, 最近 M. Rho 利用核子的 Skyrmeon 拓扑模型和 Ward 等式^[10], 给出对应于 $\kappa' = 1.45$ 时 $\tilde{f}_\pi/f_\pi \sim 0.60$, 与我们的结果不矛盾。

结论: 以上讨论表明核介质对核子的电磁形状因子和 π 衰变常数均有影响, 其起因可能与结构函数的畸变 (EMC 效应) 相同, 均来自强子尺度的增大。

参 考 文 献

- [1] J. J. Aubert et al., *Phys. Lett.*, **123B**(1983), 275.
- [2] R. L. Jaffe, F. E. Close, R. G. Roberts and G. G. Ross, *Phys. Lett.*, **134B** (1984), 449.
- [3] R. C. Hwa, *Phys. Rev.*, **D22**(1980), 759.
- [4] R. C. Hwa and C. S. Lam, *Phys. Rev.*, **D26**(1982), 2338.
- [5] W. Zhu, J. G. Shen and X. J. Qiu, *Phys. Lett.*, **154B** (1985), 20. 朱伟, 科学通报 (1984), 459.
- [6] A. Chodos, R. L. Jaffe, K. Johnson and C. B. Thorn, *Phys. Rev.*, **D10**(1974), 2599.
- [7] R. Altemus et al., *Phys. Rev. Lett.*, **44**(1980), 965.
- [8] J. V. Noble, *Phys. Rev. Lett.*, **46**(1981), 412.
- [9] H. A. Peng, W. Q. Chao, L. S. Liu and F. Liu, *Chinese Phys. Lett.*, **2**(1985), 63.
- [10] M. Rho, *Phys. Rev. Lett.*, **54**(1985), 767.

NUCLEON PROPERTIES IN NUCLEAR MEDIUM

ZHU WEI

(East China Normal University)

ABSTRACT

By using the valon model, the electric form factor of the proton in the nucleus $G_E^p(Q^2)$, and π decay constant f_π are discussed. After combining the (e, e') reaction on the ^{56}Fe near the quasielastic peak, it is found that $G_E^p(Q^2)$ and f_π are influenced by the nuclear medium and their modifications result from increased hadron size as the distortions of structure functions (EMC effect) do.