

双重 Q^2 重标度模型的重标度 参数经验公式*

高永华^{1,3} 何明中² 段春贵³

1 (石家庄师范专科学校物理系 石家庄 050801)

2 (河北师范大学电子系 石家庄 050031)

3 (河北师范大学物理系 石家庄 050016)

摘要 给出了双重 Q^2 重标度模型的重标度参数经验公式,其中建立了重标度参数 ξ_v, ξ_s 及 ξ_G 与原子核平均结合能之间的联系. 利用这套公式可以给出 $A \geq 12$ 的所有核的重标度参数值,进而可以采用这些重标度参数值计算有关核过程做出预言.

关键词 双重 Q^2 重标度模型 核效应 结合能

1 引言

自1982年EMC效应^[1]发现以来,出现了许多解释它的理论模型^[2],其中F. E. Close提出的 Q^2 重标度模型^[3]是用来解释EMC效应的较早的模型之一. 该模型可以解释中等 x 区轻子-核深度非弹性散射过程(DIS过程)和核Drell-Yan过程中的核效应,但对这两个过程中小 x 区核效应只有引入核遮蔽因子才能做出较满意的解释. 另外,用 Q^2 重标度模型解释胶子分布函数的核效应时,发现和实验数据不符. 此外,1990年,厉光烈等研究发现,对于束缚核子,在考虑了费米运动修正和核内核子束缚能作用,特别是为了解释EMC效应而引入 Q^2 重标度机制后,出现了核动量不守恒问题^[4].

针对 Q^2 重标度模型存在的上述3方面的问题,1998年,何祯民等提出了双重 Q^2 重标度模型^[5],此模型对价夸克,海夸克和胶子的动量分布函数分别引入不同的 Q^2 重标度参数 ξ_v, ξ_s 和 ξ_G . 束缚核子中价夸克,海夸克和胶子的动量分布函数可分别表示为

$$V^A(x, Q^2) = V^N(x, \xi_v Q^2), \quad (1a)$$

$$S^A(x, Q^2) = S^N(x, \xi_s Q^2), \quad (1b)$$

$$G^A(x, Q^2) = G^N(x, \xi_G Q^2), \quad (1c)$$

其中 $V^{A(N)}(x, Q^2), S^{A(N)}(x, Q^2)$ 和 $G^{A(N)}(x, Q^2)$ 分别表示原子核(A)或自由核子

2000-07-02 收稿

* 河北省自然科学基金资助

(N)内价夸克(V),海夸克(S)和胶子(G)的动量分布函数. 3个参数通过核动量守恒相联系,只有两个是独立的. 按照(1)式,知道了自由核子的部分子分布和核(A)的 ξ_V, ξ_S 及 ξ_G 值后,相应的核(A)中束缚核子的部分子分布函数就能得出. 此模型能在保持核动量守恒的前提下,不需要引入核遮蔽因子统一地解释了 DIS 过程、核 Drell-Yan 过程和 J/ψ 光生过程中的核效应.

在文献[5]中确定重标度参数值的具体做法是:对于核 A,先适当选取 ξ_V, ξ_S 解释轻子-核 DIS 过程;用核 Drell-Yan 过程检验 ξ_V, ξ_S 取值是否合理;然后根据核动量守恒条件确定 ξ_G ,再去解释 J/ψ 光生过程,并做实验检验,其中表 1 给出了他们得到的 4 种核的重标度参数值. 1999 年,彭宏安等人的论文^[6]对该模型的合理性给出了一定的理论论证.

表 1 4 种核的重标度参数值

	C^{12}	Ca^{40}	Fe^{56}	Sn^{119}
ξ_V	1.30	1.35	1.41	1.49
ξ_S	0.70	0.67	0.62	0.60
ξ_G	0.86	0.81	0.76	0.74

但是,对于还没有实验数据的大多数核,上述办法不适用,而为了对有关核过程进行理论研究,又迫切需要知道这些核的重标度参数值. 本文在核动量守恒的条件下,通过拟合双重 Q^2 重标度模型已经给出的重标度参数值,得到了一套重标度参数的经验公式,特别是建立了重标度参数 ξ_V, ξ_S 及 ξ_G 与原子核平均结合能的联系. 利用这套公式可以给出 $A \geq 12$ 的所有核的重标度参数值,进而可以采用这些重标度参数值计算有关核过程做出预言.

2 双重 Q^2 重标度参数经验公式

为了用唯象的方法寻找一套确定双重 Q^2 重标度模型的重标度参数的经验公式,我们从以下几个方面进行了探索:

首先,重标度参数经验公式给出的核(A)的参数值,应当满足核动量守恒这个条件. 对于自由核子,其动量守恒条件为

$$\int_0^1 [V^N(x, Q^2) + S^N(x, Q^2) + G^N(x, Q^2)] x dx = 1, \quad (2)$$

而对于核质量数为 A 的束缚核子而言,该条件应为

$$\int_0^1 [V^A(x, Q^2) + S^A(x, Q^2) + G^A(x, Q^2)] x dx = 1, \quad (3)$$

利用双重 Q^2 重标度模型,将核(A)的重标度参数 ξ_V, ξ_S 及 ξ_G ,代入上式得到

$$\int_0^1 [V^N(x, \xi_V Q^2) + S^N(x, \xi_S Q^2) + G^N(x, \xi_G Q^2)] x dx = 1. \quad (4)$$

3个重标度参数 ξ_V, ξ_S 和 ξ_G 通过(4)式相联系. 因此,用经验公式求得的核(A)的重标度参数值只有满足(4)式才是可以接受的. 可见,核动量守恒条件为检验经验公式提供了一

个重要判据.

其次, 表 1 给出的 4 种核的重标度参数值, 是寻找和检验经验公式的出发点和重要参考. 由表 1 所给出的参数值, 是拟合实验数据(包括 DIS 过程, Drell-Yan 过程和 J/ψ 光生过程)而得到的, 因此, 这套参数值有一定的可靠性. 但是, 由于关于核效应的实验数据存在较大的误差, 拟合实验数据确定参数时, 有一定的不确定范围^[5]; 另外, 对自由核子用 GRV^[7] 参数化函数集, 对原子核内核子再用双重 Q^2 重标度模型, 核子的(自由和束缚)动量分布函数随 Q^2 变化非常慢, 适当调整重标度参数值, 并不会明显影响核动量守恒. 这两个因素的存在, 使得参数值又有一定的可调性. 基于重标度参数值的可靠性和可调性这两个特点, 我们把表 1 的参数值仅作为寻找和检验经验公式的重要参考, 而不作为绝对判据. 这样就使得我们能够拟合已有的重标度参数的经验值, 做出随核(A)变化的重标度参数的光滑连续曲线.

第三, 通过建立重标度参数与原子核结合能的联系, 寻找经验公式. 重标度参数 ξ_V , ξ_S 和 ξ_G , 描述的是束缚核子与自由核子分布函数的差异, 是一种核效应; 在核物理学中, 原子核的结合能也是描述束缚核子与自由核子的差异, 也是一种核效应. 它们是从不同侧面, 描述着自由核子组成核时产生的核效应, 因此, 我们推测, 它们之间应当有某种联系.

在核物理学中, C. F. Weizsacker 根据原子核的液滴模型给出了一个结合能半经验公式^[8]:

$$B(Z, A) = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C Z^2/A^{1/3} - a_{\text{Sym}}(N - Z)^2/A + \delta a_P A^{-1/2}, \quad (5)$$

其中

$$a_V = 15.67\text{MeV}, \quad a_S = 17.23\text{MeV}, \quad a_C = 0.72\text{MeV}, \quad a_{\text{Sym}} = 23.29\text{MeV},$$

$$a_P = 12\text{MeV}, \quad \delta = \begin{cases} +1 & \text{对偶偶核} \\ 0 & \text{对奇 A 核} \\ -1 & \text{对奇奇核.} \end{cases} \quad (6)$$

(5)式前两项仅与强相互作用有关, 这部分结合能平均到每个核子, 即原子核的平均结合能的强相互作用部分 E 与核的质量数 A 之间的关系为:

$$E = 15.67 - 17.23A^{-1/3}, \quad (7)$$

(7)式开方后得

$$E^{1/2} = (15.67 - 17.23A^{-1/3})^{1/2}, \quad (8)$$

(8)式求倒数后得

$$E^{-1/2} = (15.67 - 17.23A^{-1/3})^{-1/2}. \quad (9)$$

考察表 1 和(8),(9)两式得出: ξ_V 随核(A)的变化趋势与(8)式中 $E^{1/2}$ 随核(A)的变化趋势很接近; ξ_S 和 ξ_G 随核(A)的变化趋势与(9)式中 $E^{-1/2}$ 随核(A)的变化趋势很接近. 这反映了重标度参数与结合能的联系. 因为强相互作用对结合能的贡献远远大于库仑相互作用的贡献, 所以在寻求重标度参数与平均结合能的联系时, 我们只考虑(7)式描述的部分.

第四, 对于质量数 $A > 119$ 的核, 重标度参数值随核(A)的增大应该逐渐趋于稳定

值. 表1中, 当 A 从 56—119 变化时, 重标度参数随核(A)的变化已经很缓慢, 显示出逐渐趋于稳定值. 在上面第三条的讨论中, 我们初步找到了重标度参数与(8), (9)两式的联系, 将它们之间的联系推广到 $A > 119$ 以上, 即考察 $A > 119$ 所有核的重标度参数随 A 增大时的趋势, 也就是要考察(8)和(9)两式随 A 增大时的变化趋势. 很明显, 当 A 很大时, (8)和(9)两式的变化都逐渐趋向于各自的稳定值. 因此, 对于 $A > 119$ 的所有核, 它们的各参数值随 A 的变化也逐渐趋向于各自的稳定值. 另外, 文献[6]对此也做了一定的论证, 从其中给出的某些情况下的重标度参数值也可以得出同样的结论. 在寻找经验公式时, 参考了文献[6]的表2和表3中的有关参数.

经过以上4个方面的思考、推断和反复探索, 得到了一套经验公式

$$\xi_v = 0.4255E^{1/2}, \quad \xi_s = 2.1074E^{-1/2}, \quad \xi_G = 2.5700E^{-1/2}, \quad (10)$$

由经验公式(10)给出的 ξ_v, ξ_s 及 ξ_G 随核质量数 A 变化曲线如图1所示.

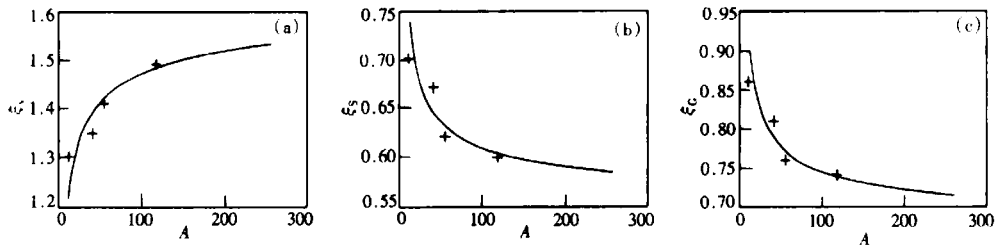


图1 重标度参数值随核质量数 A 的变化曲线

图1中的+是表1给出的4种核的重标度参数值. 可见, 经验公式给出的参数值与表1给出的重标度参数符合较好.

3 结论

本文给出了双重 Q^2 重标度模型的重标度参数经验公式, 其中建立了重标度参数 ξ_v, ξ_s 及 ξ_G 与原子核平均结合能之间的联系. 利用这套公式可以给出 $A \geq 12$ 的所有核的重标度参数值, 进而可以采用这些重标度参数值计算有关核过程做出预言.

在探索公式(10)时, 建立了重标度参数与原子核结合能之间的联系, 加深了我们对重标度参数的认识.

经验公式(10)的适用范围需要说明. 由于 $A < 12$ 的轻核, 原子核的液滴模型只给出结合能平均结果, 没有显示出各核起伏, 即没有给出各核的结合能的确切值; 另外, 对于 $A < 12$ 的核没有重标度参数值可供参照; 此外, 轻核的核效应并不明显, 人们的注意力越来越集中于研究重核碰撞时的核效应, 这就需要知道重核的重标度参数值. 考虑到上述三方面后, 在寻找经验公式(10)式时, 没有涉及质量数 $A < 12$ 核的重标度参数问题.

当我们用双重 Q^2 重标度模型研究核过程的核效应时, 利用经验公式(10), 很容易通过它求出质量数 $A \geq 12$ 的核的重标度参数值, 例如对 $Xe^{132}, W^{184}, Au^{197}, Pb^{208}, U^{238}$ 求得的重标度参数如表2所示.

表 2 5 种重核的重标度参数值

	Xe ¹³²	W ¹⁸⁴	Au ¹⁹⁷	Pb ²⁰⁸	U ²³⁸
ξ_V	1.4914	1.5128	1.5169	1.5201	1.5276
ξ_S	0.6012	0.5927	0.5911	0.5899	0.5870
ξ_G	0.7332	0.7228	0.7209	0.7194	0.7158

当然,用公式(10)得到的核的重标度参数值正确与否,需要通过计算核过程的核效应与实验数据对照检验.

参考文献 (References)

- 1 EMC Collab, Aubert J J et al. Phys. Lett., 1983, **B123**:275
- 2 Llewellyn Smith C H. Phys. Lett., 1983, **B128**:107; Ericson M, Thomas A W. Phys. Lett., 1983, **B128**:112
- 3 Close F E, Roberts R G, Ross G G. Phys. Lett., 1983, **B129**:346; Jaffe R L et al. Phys. Lett., 1984, **B134**:449; Close F E et al. Phys. Rev., 1985, **D31**:1004
- 4 LI G L et al. Nucl. Phys., 1990, **B509**:757
- 5 HE Zhen-Min et al. Eur. Phys. J., 1998, **C4**:301; YAO Xiao-Xia et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1997, **21**:548(in Chinese)
(姚晓霞等. 高能物理与核物理, 1997, **21**:548)
- 6 PENG Hong-An et al. Commun. Theor. Phys., 1999, **32**:443
- 7 GLUCK M, REYA E, VOGT A. Z. Phys., 1995, **C67**:433
- 8 YANG Fu-Jia et al. Nuclear Physics, Shanghai: Fudan University Publisher, 1993. 16—23(in Chinese)
(杨福家等. 原子核物理, 上海: 复旦大学出版社, 1993, 16—23)

Q^2 -Rescaling Parameters' Empiric Formula of the Double Q^2 -Rescaling Model*

GAO Yong-Hua^{1,3} HE Ming-Zhong² DUAN Chun-Gui³

1 (Department of Physics, Shijiazhuang Teachers' College, Shijiazhuang 050801, China)

2 (Department of Electronics, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050031, China)

3 (Department of Physics, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China)

Abstract We presented a Q^2 -rescaling parameters' empiric formula of the Q^2 -rescaling model, in which we established the connection between the Q^2 -rescaling parameters ξ_i ($i = V, S, G$) and the mean binding energy in nucleus. By using the formula, we can get the Q^2 -rescaling parameters for various nuclei with $A > 12$, and thus further calculate the relevant nuclear process and make out prediction.

Key words double Q^2 -rescaling model, nuclear effect, binding energy

Received 2 July 2000

* Supported by Natural Science Foundation of Hebei Province