

快报

转动核的 EMC 效应*

朱 伟

(华东师范大学物理系, 上海)

何 汉 新

(中国原子能科学研究院, 北京)

摘 要

我们讨论了原子核的集体转动对 EMC 效应的影响, 并由此提出了测量核的集体转动流的一种方法。

许多原子核存在集体转动运动, 这是实验上被很好确定的事实^[1]。较早的关于原子核转动的信息大多是涉及库仑激发、 α 衰变和 γ 跃迁^[2]等实验。近年来, 人们发展了利用电子-核散射实验去测量转动核基态带的纵向和横向形状因子^[3]。利用 Bohr-Mottelson 的集体模型^[4]可以相当好地解释上述实验, 从而引出关于原子核转动的信息。

然而, 关于原子核是如何转动的问题, 仍未得到直接回答。近十多年来, 人们一直在寻找实验途径去直接地确定核的转动状态。因为这不仅可以检验已有的原子核理论, 而且可得到更多的关于原子核结构的信息。在这方面, 开创性的努力要提到 Chou 和 Yang 的工作^[5]。他们建议测量高能强子-横向极化核的弹性散射截面, 利用靶核的左右两边(相对于入射束看)透明度的差别与转动参量的关系^[5], 可以确定在一极化核内的物质流分布, 从而得到关于核子在核内转动的有意义的信息。近年来, Guerra^[3] 则建议过用弹性和非弹电子散射(极化束和极化靶)来引出关于核的集体转动模的特性的信息。

在本文中, 我们提出利用核的集体转动对电子-转动核的深度非弹散射核子结构函数产生的效应来确定核的集体转动流。此效应是: 转动核内核子与自旋无关的结构函数 $F_2^A(x, Q^2)$ 在大 x (x 为 Bjorken 变量) 区域的行为明显地依赖于核转动轴的取向。这想法是建立在已讨论得相当多的 EMC 效应基础上的, 其基本思想可以描述如下: 理论预言^[6]并为实验证实的结果^[7]表明, 电子与核的深度非弹散射过程中, 束缚于核内的核子的费米运动(核子的单粒子轨道运动)对于束缚核子的结构函数在大 x 区域 ($0.6 < x < 1$) 的行为起着主导作用。对于一个转动的原子核, 核内的核子除了涉及费米运动外, 还参与集体转动。如果考虑电子与极化的转动核的深度非弹散射, 则在纵向极化和横向极化两种情况下, 转动对于核子运动的贡献不同, 因而这两种情况下的结构函数在大 x 区域出现差别。我们可以改变极化靶核的转动轴方向, 使得转动对于核子结构函数的贡献最大(横向

本文 1990 年 1 月 25 日收到。

* 国家自然科学基金部分资助项目。

极化时)或最小(纵向极化时),从而可以得到核的集体转动的信息。

为了给核转动对核子结构函数的影响有一个初步的量的估计,我们将忽略核的集体运动和核子的费米运动(核子的单粒子运动)之间的耦合。对于我们考虑的形变转动核(远离满壳),这种绝热假设是一个较好的近似。一般说,此情况下粒子的内部运动和集体运动的耦合只是给出一级小量的修正^[3]。因此,作为零级近似,我们可忽略转动引起的非惯性力对于核内核子费米运动动量分布的影响。

在由 A 个核子组成的核 A 的质心系中,记一个核子的费米动量为 \vec{k}'_F , 它的转动线动量为 \vec{k}'_R 。这二种运动的动量归一化分布函数分别为 $\rho_F(\vec{k}'_F)$ 和 $\rho_R(\vec{k}'_R)$ 。在 τA 质心系(所谓的无限动量系),设核质心平动动量 \vec{p}_A 沿 Z 轴,其中一个核子的动量为 \vec{k} 。在绝热近似下,通过将分布函数 ρ_F 、 ρ_R 投影到光锥正分量上^[6],可以获得在 τA 系中一个核子携带光锥纵向动量部分为 $Z = AK^+/\rho_A^+$ 的密度为

$$f_{N,\xi}^A(z) = \int dZ_F dZ_R f_F(Z_F) f_{R,\xi}(Z_R) \delta(Z - Z_F - Z_R + 1) \quad (1)$$

其中

$$f_{R,\xi}(Z_R) = \int d^3\vec{k}'_R \rho_{R,\xi}(\vec{k}'_R) \delta(Z_R - Ak'_R/P_A^+) \quad (2)$$

$$f_F(Z_F) = \int d^3\vec{k}'_F \rho_F(\vec{k}'_F) \delta(Z_F - Ak'_F/P_A^+) \quad (3)$$

这里上指标“+”指光锥正分量, ξ 表示核的集体转动的极化状态。利用(1)式,可以写出旋转核 A 中一个核子的结构函数为

$$\{F_{2,\xi}^A(x, Q^2)\} = \int_x^A dZ f_{N,\xi}^A(Z) F_2^N(x/Z, Q^2) \quad (1')$$

其中 $F_2^N(y, Q^2)$ 是受了核束缚影响后与自旋无关的核子结构函数, ξ 为核的极化状态。我们利用简单的费米气体模型来描述核子费米运动,则有^[9]

$$f_F(Z_F) = \frac{3}{4} (m_N/k_F)^3 [(k_F/m_N)^2 - (Z_F - \eta)^2],$$

(如果 $\eta - k_F/m_N \leq Z_F \leq \eta + k_F/m_N$)

$$f_F(Z_F) = 0$$

(在其它情况)。

因子 η 来自束缚效应引起的离壳质量修正。

下面讨论转动引起的贡献 $f_{R,\xi}(Z_R)$ 。首先考虑核纵向极化,这时集体转动轴沿 Z 轴定向,因此 $\rho_{R,\parallel}(\vec{k}'_R) = \rho_{R,\parallel}(k'_{R,x}, k'_{R,y}) \delta(k'_{R,z})$ 。由(2)式可得 $f_{R,\parallel}(Z_R) = \delta(1 - Z_R)$, 表明转动对纵向极化核的结构函数没有贡献。现在设核横向极化,则

$$\rho_{R,\perp}(\vec{k}'_R) = \rho_{R,\perp}(k'_{R,y}, k'_{R,z}) \delta(k'_{R,x})。$$

为计算方便,我们简单假定 $\rho_{R,\perp}(k'_R)$ 为 k'_R 的从 0 到 $k'_{R,\max}$ 的等几率分布(这里 $k'_{R,\max} = m_N \omega R_{\max}$, R_{\max} 为核的最大曲率半径):

$$\rho_{R,\perp} = (\pi k'_{R,\max})^{-1} \theta(k'_{R,\max} - \sqrt{k'^2_{R,y} + k'^2_{R,z}})。$$

由(2)式得

$$f_{R,\perp}(Z_R) = 2m_N^2 / \pi k'^2_{R,\max} \sqrt{(k'_{R,\max}/m_N)^2 - (Z - 1)^2}$$

(当 $1 - k'_{R,\max}/m_N \leq Z_R \leq 1 + k'_{R,\max}/m_N$)

$f_{R,\perp}(Z_R) = 0$, (其它情况).

核的集体转动效应可以用比例

$$B_A \equiv F_{2,\perp}^A(x, Q^2) / F_{2,\parallel}^A(x, Q^2) \quad (4)$$

和

$$B'_A \equiv F_2^A(x, Q^2) / F_{2,\parallel}^A(x, Q^2) \quad (5)$$

来描写, F_2^A 为非极化核子结构函数. $B'_A \approx \frac{1}{3} + 2/3B_A$. B_A 与 1 的偏离反映了核旋转频率 ω 的大小.

在(1')式中束缚核子的结构函数 F_2^N 由如下考虑得到. 由于在大 x 区, 海夸克对于结构函数的贡献可以略去, 我们只要考虑价夸克的分布. 一个自由核子价夸克的分布函数为^[10]

$$Y_v(y, Q^2) = 3B^{-1}(\eta_1, \eta_2 + 1)[1 + \gamma_{ud}\eta_1/(\eta_1 + \eta_2 + 1)] \\ \times y^{\eta_1}(1-y)^{\eta_2}(1 + \gamma_{ud}y).$$

其中参数的定义见文献[10]. 对 EMC 效应的研究表明, 核对于在大 x 区核子结构函数的影响有束缚效应及其它畸变因素, 这些因素同核的整体取向无关. 这里我们不去详细分析这些复杂的因素^[11], 而用 2 个唯象的畸变参数 Δ, δ 来反映它们. 此时有

$$F_2^N = \frac{5}{6} B^{-1}(\eta_1 + \delta, \eta_2 + 1 + \Delta)[1 + \gamma_{ud}(\eta_1 + \delta)/(\eta_1 + \eta_2 + 1 + \delta + \Delta)] \\ \times x^{\eta_1 + \delta}(1-x)^{\eta_2 + \Delta}(1 + \gamma_{ud}x).$$

现在我们可以从(4)式得到比率 B_A 了. 作为例子, 我们取 $\omega = 0.5\text{MeV}$, $R_{\max} = 7.5\text{fm}$ (相当于 A 为 190 左右的核), 此时核子最大转动线动量为 $\sim 18\text{MeV}$. 对于畸变参数取 $\Delta = 0.58$, $\delta = 0.09$, $\eta = 0.99$, 所得到的 B_A 值见图 1 实线. 为了表明计算结果与畸变参数的取值无明显依赖, 我们计算了 $\eta = 0.99$, $\Delta = 0$, $\delta = 0$ (无畸变, 弱耦合情况. 计算结果为图 1 中点线所示)和 $\eta = 0.97$, $\Delta = 0$, $\delta = 0$ (无畸变, 强耦合情况. 结果为图中虚线所示)情况. 比较这些结果表明, B_A 值与这些非转动参数确无明显依赖;

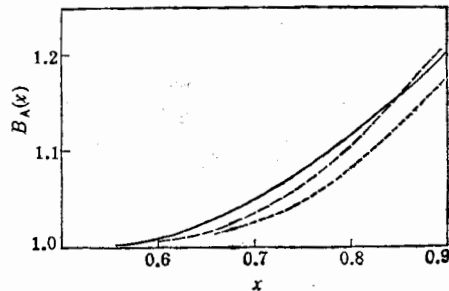


图 1 核的转动比 $B(x)$ 与 x 的关系
实线为 $\eta = 0.99$, $\Delta = 0.58$, $\delta = 0.09$;
虚线为 $\eta = 1$, $\Delta = 0$, $\delta = 0$;
点线为 $\eta = 0.97$, $\Delta = 0$, $\delta = 0$ 的结果

它反映了核的转动效应。

由此我们得到如下结论: 核的集体转动将改变核中核子结构函数在大 x 区域的行为, 通过比较纵向极化与横向极化(或未极化态)核中核子与自旋无关的结构函数, 将可能提供核集体转动的信息。

参 考 文 献

- [1] A. Bohr and B. Mottelson, Nuclear Structure, V. II. Benjamin, New York, 1975.
- [2] M. J. A. de Voigt et al., *Rev. Mod. Phys.*, **55**(1983), 949.
- [3] E. Moga de Guerra, *Phys. Rep.*, **138**(1986), 293. References therein.
- [4] A. Bohr, *Phys. Rev.*, **81**(1951), 139.
A. Bohr and B. Mottelson, *Mab. Fysk. Medel. Dan. Vid. Selsu.* 27, no. 16(1953).
- [5] T. T. Chou and C. N. Yang., *Nucl. Phys.*, **B107**(1976), 1.
- [6] W. B. Atwood and G. B. West, *Phys. Rev.*, **D7**(1973), 773;
G. B. West, *Ann. Phys. (N. Y.)* **74**(1972), 646.
A. Bodek and J. L. Ritchie, *Phys. Rev.*, **D23**(1981), 1070.
- [7] A. Bodek et al., *Phys. Rev. Lett.*, **50**(1983), 534; **51**(1983), 534.
R. G. Arnold et al., *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984), 727.
- [8] R. L. Jaffe Comm., *Nacl. Part. Phys.*, **13**(1984), 39;
C. H. Llewelly-Smith, *Nucl. Phys.*, **A434**(1985), 35c.
- [9] C. H. Llewelly-Smith, *Phys. Lett.*, **128B**(1983), 112.
- [10] D. W. Duke and J. F. Owens, *Phys. Rev.*, **D30**(1984), 49.
- [11] W. Zhu and J. G. Shen., *Phys. Lett.*, **219B**(1989), 107.

THE EMC EFFECT OF ROTATIONAL NUCLEI

ZHU WEI

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

HE HANXIN

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

The effect of nuclear rotation to the EMC effect is discussed and a method for measuring nuclear collective rotational current suggested.