

高能反应机制与自旋效应*

梁作堂

(山东大学物理系 济南 250100)

摘要 高能强子-强子反应实验中发现一系列引人注目的自旋效应,这些效应出现的机理一直是人们关注的热门课题之一.近几年,在实验及理论家共同努力下,虽仍有许多不清楚的问题,但已取得一些突破.结果表明,不仅对这些现象产生机理研究能为强子结构及强子反应机制提供信息,而且这些现象本身也用作探索强子反应机制的工具.例如用它们来研究小 x_B 光子与强子反应的性质.本报告将首先简单总结这些现象及其产生机理研究的结论,然后介绍该例的主要思想及结果.

关键词 单自旋不对称 超子极化 初态相互作用 小 x_B 物理

自七十年代,高能强子反应实验就发现了一系列自旋效应^[1,2].非弹性散射实验中最引人注目的有如下两类:

1. 单极化实验 $p(\uparrow) + p \rightarrow \pi + X$ 中的左右不对称 A_N . 实验中用横向极化的质子束打非极化的质子靶,并定义,

$$A_N(x_F, p_\perp | s) \equiv \frac{N_L(x_F, p_\perp | s, \uparrow) - N_R(x_F, p_\perp | s, \uparrow)}{N_L(x_F, p_\perp | s, \uparrow) + N_R(x_F, p_\perp | s, \uparrow)}, \quad (1)$$

式中 $x_F \equiv 2p_L/\sqrt{s}$, p_L, p_\perp 是产生的 π 介子动量的纵向及横向分量; \sqrt{s} 是碰撞pp系统的总质心能量; N_L 及 N_R 分别是左(L)、右(R)两边的探测器所观测到的 π 介子数.实验发现,中等 p_\perp 时, A_N 在 x_F 比较大(≥ 0.6)的区域(通常称为射弹碎裂区)内明显不为零,且随 x_F 增加而增大,当 $x_F = 0.8$ 时,对 π^+ , A_N 高达约40%.

2. 非极化强子-强子反应中产生的超子是极化的现象.实验发现,尽管入射强子及强子或核靶都是非极化的,碎裂区内产生的超子是横向极化的.这一现象也主要在中等横动量区发现,且极化度 P_H 也随 x_F 增加而增加, x_F 接近0.8时, P_H 也高达40%.

如果微扰QCD计算及因子化定理均可用,上述两类实验结果均应为零^[3].

近几年,对上述效应的起源理论上有许多讨论^[3-8].目前,虽导致这些效应的详细机制还不十分清楚,但理论及实验似乎都表明如下几点是正确的:

1998-05-20收稿
* 国家自然科学基金资助

(1) A_N 与 P_H 二者密切相连^[8], 应有共同的起源.

(2) 如果反应过程有部分子——部分子间的硬碰, 它对上述极化现象也无贡献^[3].

(3) 如果没有碰撞强子内部分子硬碰或强子化前的软的色相互作用, 即所谓的“初态相互作用”, 部分子的横动量分布, 即使在横向极化的强子内也只能是对称的. 这是时间与空间反演不变性的必然结果^[5].

(4) 碎裂过程对上述自旋效应的贡献很小. 这一方面从 SLD 合作组最近对所谓的喷注的 Handedness (H) 的测量结果^[9] 可看出. 该实验表明, 夸克强子化产生的粒子的动量分布基本上与该夸克的自旋取向无关. 另一方面, DESY 的 TASSO^[10]、CERN 的 ALEPH^[11] 合作组分别对 e^+e^- 湮没中产生的超子的横向极化作了测量, 结果基本为零.

所有理论模型在一点上达到了统一, 即“初态相互作用”的存在是产生上述自旋效应出现的必要条件之一. 基于这样的状况, 尽管详细产生机制还不完全清楚, 我们仍可在高能物理实验研究中利用这些效应. 技术方面, 实验家就利用非极化反应中产生出的 Λ 是极化的这一事实, 制造出横向极化的质子束; 而横向极化的质子与非极化的靶反应产生的 π 是左右不对称这一事实则被用来当作 polarimeter 以测量质子的极化度. 物理方面它们也可有实用. 文献 [12] 中给出了一个例子, 现作简单介绍.

在小 x_B 大 Q^2 的深度非弹性 ep 碰撞中, 交换的虚光子 γ^* 有一定几率先演化为——夸克反夸克 ($q\bar{q}$) 对, 然后再与靶质子作用. 这一虚的 ($q\bar{q}$) 对的寿命可用测不准原理计算出, 质子静止系内, 结果为 $\tau = 1/(Mx_B)$. 可见, 在小 x_B 区, τ 可很大, 从而存在的空间区域 (τc), 称为相干长度, 也很大. 例如在 HERA, x_B 可小到 10^{-4} , 相干长度可达 1000fm. 是质子本身线度的 1000 倍. 这样, 光子远在它碰到质子前, 就转化成夸克反夸克对, 进而演化为由夸克反夸克胶子构成的系统. 光子与质子的相互作用就转化为该系统与质子的作用. 那么, 是否该运动学区域内, 光子-质子的相互作用就应看成是强子-质子相互作用? 这一问题的回答有两种: “是”或“不是”. 回答“是”的理由很显然: 既然是由夸克反夸克胶子构成的系统, 就应与强子强作用. 回答“不是”的理由是, 此系统 Q^2 很大, 空间横向尺度应很小, 与质子的相互作用仍可看成点作用. 我们认为, 这一问题可利用上面 1 和 2 所述自旋效应从实验上直接验证.

如上所述, 这两个自旋效应存在有一共同的必要条件, 即碰撞物体之间存在所谓“初态相互作用”. 显然, 如果光子-质子的相互作用可看成是强子-质子相互作用, 就应有“初态相互作用”, 相反, 若光子-质子的相互作用仍是点作用, 则没有. 因此, 如果设想将 HERA 的质子束极化, 上两种情况下, 就应分别能或不能在质子碎裂区观测到 1 所述自旋效应. 具体讲, 我们建议在小 x_B 时质子碎裂区进行自旋效应的测量, 即 (1) 将质子横向极化, 测量产生出的介子的左右不对称; (2) 用非极化的质子束进行实验, 测量产生的超子的横向极化. 由此可判断上述交换的光子与质子的相互作用是否可看成强子-质子相互作用或点相互作用.

为了演示这些效应, 我们作了如下定量的模型估算. 考虑到小 Q^2 时, 据矢量为主模型 (VDM), 虚光子可看成矢量介子, 此时光子-强子相互作用一定可看成强子-质子作用, 随 Q^2 增加, VDM 成分减小, 它对截面的贡献可由模型计算出. 剩余部分所占的比例及其随 Q^2 的变化可由 VDM 对结构函数的贡献及结构函数数据给出. 我们考虑如下两种可

能的情形: (1) 只要 x_B 小, 从而虚光子演化出的夸克反夸克系统寿命长, 不论 Q^2 多大, 光子始终表现为强子; (2) 只有 VDM 成分表现为强子, 剩余部分表现为点粒子. 在情形 (1) 下, 不论 Q^2 多大, 我们应一直能观测到自旋效应, 且与强子强子实验结果相同; 情形 (2) 下, 自旋效应应随 Q^2 的增加而减小. 计算结果^[12] 显示出, Q^2 较大时, 两种情形差别很大, 表明的确可用实验结果来将它们区分开.

参 考 文 献

- 1 Bravar A. For a review of data on single spin asymmetry. In: Onel Y, Paver N, Penzo A. In Proceedings of the Adriatico Research Conference on Trends in Collider Spin Physics. Trieste, Italy, December 1995, World Scientific 1997, 254
- 2 Heller K. For a review of data on hyperon polarization. In: de Jager J W et al. In Proceedings of the 12th International Symposium on High Energy Spin Physics, Amsterdam, 1996, World Scientific, 1997
- 3 Kane G, Pumplin J, Repko W. Phys. Rev. Lett., 1978, **41**:1689
- 4 Sivers D. Phys. Rev., 1990, **D41**:83; Phys. Rev., 1991, **D41**:261; Anselmino M, Boglione M, Murgia F. Phys. Lett., 1995, **B362**:164
- 5 Qiu Jianwei, Sterman G. Phys. Rev. Lett., 1991, **67**:2264; Efremov A V, Korotkiyan V M, Teryaev O V. Phys. Lett., 1995, **B348**:577
- 6 Collins J. Nucl. Phys., 1993, **B394**:169; 1993, **396**:161; Collins J, Hepplermann S F, Ladinsky G A. Nucl. Phys., 1994, **420**:565
- 7 Liang Zuo-tang, Meng Ta-chung. Z. Phys., 1992, **A344**, 171; Boros C, Liang Zuo-tang, Meng Ta-chung. Phys. Rev. Lett., 1993, **70**:1751; Phys. Rev., 1995, **D51**:4698; 1996, **54**:4680; Liang Zuo-tang, Meng Ta-chung. Phys. Rev., 1994, **D49**:3759; Boros C, Liang Zuo-tang. Phys. Rev., 1996, **D53**:R2279
- 8 Liang Zuo-tang, Boros C. Phys. Rev. Lett., 1997, **79**:3608
- 9 SLD Collab, Abe K et al. Phys. Rev. Lett., 1995, **74**:1512
- 10 TASSO Collab, Althoff M et al. Z. Phys., 1985. **C27**:27
- 11 ALEPH Coll, Buskulic D et al. Phys. Lett., 1996, **B374**:319
- 12 Boros C, Liang Zuo-tang, Submitted to Phys. Lett., **B**

Spin Effects and High Energy Reaction Mechanisms *

Liang Zuotang

(Department of Physics, Shandong University, Jianan 250100)

Abstract This is the written version of my talk given at the 5th Chinese National Conference on High Energy Physics held in Chengde, April 21st to 25th, 1998. A number of striking spin effects have been observed in high energy hadron-hadron collision experiments. Searching the origins of these effects has been and is a hot topic in High Energy Physics. In the past few years, with the common efforts of the experimentalists and theoreticians, a large step forward has been made although many questions still remain to be answered. These results show that the study of the origins of these effects can indeed provide useful information for hadron structure and high energy reaction mechanisms. It shows also that these effects themselves can be used as a tool to probe these mechanisms. For example, it has been pointed out that, they may be used to study the properties of reaction of small- x_B virtual photon with hadrons. In this talk, I will briefly summarize the experimental results on these effects and the main conclusions of the theoretical studies, and then make a brief introduction to the main ideas and the results.

Key words single-spin asymmetry, hyperon polarization, small- x_B physics, initial state interaction

Received 20 May 1998

* Supported by the National Natural Science Foundation of China