

# 近代物理系的高能物理研究现状

马文淦<sup>†</sup> 汪晓莲

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230026)

**摘要** 文章简要介绍了中国科学技术大学近代物理系的高能物理唯象理论和实验研究的发展现状,并总结了最近几年中取得的进展情况.

**关键词** 高能物理, TeV 能量对撞机, 标准模型精确检验, 粒子探测技术, 标准模型外的新物理

## High energy physics in the Department of Modern Physics , University of Science and Technology of China

MA Wen-Gan<sup>†</sup> WANG Xiao-Lian

(Department of Modern Physics , University of Science and Technology of China , Hefei 230026 , China)

**Abstract** An overview is given of the development of high energy physics in the Department of Modern Physics , University of Science and Technology of China. We summarize the progress over recent years in both phenomenology theory and experimental research.

**Keywords** high energy physics , TeV energy colliders , precise test of the Standard Model , particle detection technology , new physics beyond the Standard Model

## 1 引言

高能物理研究当前仍然是基础物理科学的最前沿,被认为是最重要的学科之一.它深刻地影响着人类对物质世界认识的基本观念.在基础理论研究方面,高能物理在不懈地探讨微观物质结构及其相互作用、质量起源、时空本性等基本理论问题,这些研究又和宏观宇宙学之间存在很强的互相推动作用.

高能粒子对撞机是研究物质最基本的结构和相互作用规律的重要、有效的工具.对高能物理的研究和其研究手段的每次重大突破都会带来物理学新领域、新方向的发展,甚至新的学科分支的产生.它对于加深人类对物质世界更深层次基本规律的认识有着重要意义.即将投入运行的 TeV 能量大型强子对撞机(LHC)和计划建设的国际直线对撞机(ILC)便是验证高能物理理论的极好的大型设备.

随着新一代的超高能量的对撞机实验数据的获取,高能物理的研究将面临着又一次新的重大突破.

理论上预言的黑格斯粒子和可能的物理信号将会被发现.这些将会是本世纪初物理学的重大进展.粒子物理的发展涉及了多种学科和前沿技术.粒子物理实验科学实际上与加速器技术、粒子探测技术等近代物理技术密切相关.实践证明,粒子物理实验技术的创新对国民经济领域中诸多技术问题的解决具有重大作用.

下面我们对中国科学技术大学(以下简称中国科大)近代物理系的高能物理研究发展现状进行两方面的介绍:一是高能物理唯象理论研究方面;二是高能物理实验研究方面.

## 2 高能物理唯象理论研究

高能物理唯象理论研究始于 1985 年,当时中国科学技术大学参加了丁肇中先生领导的 DESY

2008-06-10 收到

<sup>†</sup> 通讯联系人. Email: mawg@ustc.edu.cn

MARK-J 实验和欧洲核子研究中心 L3 实验的国际合作研究. 我们的唯象理论研究就是当时针对大型正负电子对撞机实验中的现象学进行研究而发展起来的. 从那时起, 其研究课题就一直与国内外的大学高能物理实验现象学紧密结合. 其研究工作的特点是: 注重研发粒子物理理论研究所所需的计算物理新方法和计算程序, 建立了自己独特的高能计算物理实用软件环境, 目前该实验室拥有先进的量子场论复杂计算的技术和能力, 拥有研究室自己的高能物理理论计算和数据分析的 PC FARM, 并建成了 DZ-ERO SAM GRID 的 DOUSTC 节点, 使我们的网格节点正式成为 D0 合作组标准 MONTE CARLO 事例产生主要节点. 因而, 该实验室在现象学理论研究和物理分析方面具有很强的国际竞争力.

近年来, 粒子物理唯象理论研究室的研究课题密切结合他们参加的费米实验室 D0 组的实验, 大型强子对撞机 LHC 上 Atlas 组的实验和未来的国际直线对撞机 ILC 上实验所涉及的 TeV 物理现象学, 集中研究标准模型理论的精确检验和新物理信号的探索. 重点研究内容涉及: Higgs 物理、Top 物理、超对称理论现象学、超引力模型现象学、额外维模型和最小 Higgs 模型现象学、超高能量下 CP 破坏来源研究等. 考虑到未来对撞机上寻找新粒子和深入了解电弱破缺机制的物理实验中所处的重要地位, 我们从研究如何实现高精度量子修正的数值计算方法问题入手解决对撞机物理现象中的复杂理论计算问题. 重点解决的计算技术包括: 高效率的多体末态 ( $N \geq 3$ ) 蒙特卡罗相空间积分技术; 费曼图中不稳定粒子的处理问题; 在相空间边界上多点积分函数 ( $n \geq 5$ ) 数值计算的有效方法; 红外发散的解析处理; 带复数质量的粒子的重整化参数和单圈积分函数的计算方法等. 这些问题也一直是粒子物理现象学中的几个研究重点和难点问题. 在这些研究中, 他们已经在单圈图计算中, 在不稳定粒子的计算处理方法上以及在多点 ( $n \geq 5$ ) 标量、矢量、张量积分函数的解析和数值计算上取得了进展.

该研究室自 2001 年以来, 在国际国内重要学术期刊上发表 SCI 收录的涉及唯象理论研究的论文 58 篇, 被引用达 300 余次. 作出了一批为国际同行重视的研究成果. 近年来该研究室取得了以下突出的研究成果:

1997 年, 在国际上首先解决了四点积分函数在相空间边缘发散点的数值计算困难<sup>[1]</sup>. 在国际上首次解决了三体末态过程的单圈阶幅射修正计算中的

五点标量和张量积的计算问题, 完成了关于在直线对撞机上对 H-t-t Yukawa 耦合精确检验的理论研究<sup>[2]</sup>. 精确研究了强子对撞机上超对称 chargino/neutralino 伴随产生过程, 以及  $t\bar{b}H^-$  产生过程的 NLO 阶 QCD 修正效应, 为 LHC 新物理寻找提供了理论依据<sup>[3]</sup>. 在最小超对称模型下对  $pp \rightarrow H^\pm bc + X$  味道改变过程的精确计算, 首次发现在 squark 的混合机制下, 超对称 QCD 对  $H^\pm bc$  耦合的修正可以使该产生过程的截面大大提高, 这使得该过程成为发现带电 Higgs 粒子和味道改变效应的重要反应道<sup>[4]</sup>. T 宇称守恒和不守恒情况的最小 Higgs 模型下  $\gamma\gamma \rightarrow t\bar{t}h^0 + X$  过程中的新物理效应的计算和讨论<sup>[5]</sup>, 得到了可能在 LC 对撞机上观测到 LH/LHT 的效应, 或者给出对 LH/LHT 参数更严格的限制<sup>[6]</sup>. 完成了四体、五体末态相空间高精度积分程序的发展, 实现了不稳定粒子处理技术, 六点单圈标量、矢量、张量积分函数的红外分离及正确的数值计算方法和程序, 并通过了若干正确性检验. 在此软件环境下完成了在带电或中性 Higgs 寻找过程中, 可能测量到的  $\gamma\gamma \rightarrow t\bar{t}b\bar{b}$  和  $e^+e^- \rightarrow W^+W^-b\bar{b}$  过程的 QCD 辐射修正计算工作. 这为 Higgs 粒子寻找和 top 物理有关理论的精确检验提供了理论依据<sup>[7]</sup>.

唯象理论组在国际上首先提出了在强子对撞机上通过超对称标量中微子双轻子共振态, 探测 R 宇称破坏的实验物理分析方案, 并计算了其 QCD 辐射修正<sup>[8-12]</sup>. 该成果被 Tevatron 的两个实验合作组 CDF 和 D0 先后作为其探测双轻子高质量共振态的主要物理动机和数据分析依据在发表的论文中引用. 费米实验室 Fermilab Today 对这一研究成果进行了报道. 该研究室对这一理论与实验结合的研究, 不但在唯象理论研究方面, 推动了对 TeV 强子对撞物理过程中 QCD NLO 效应的精确把握, 而且在实验物理方面, 促进中国科大 D0 组在径迹探测器触发方法研究、高亮度环境下高能电子/光子鉴别、量能器刻度等研究中做出了成果. 该研究还促进了高能数据网格计算节点建设, 该室建成了中国科大 DOUSTC 网格计算机群, 并为 D0 合作组产生  $10^6$  模拟事例, 为中国科大高能物理研究提供了  $10^{10}$  以上的网格数据分析与处理能力, 从而确保最终物理成果的获得. 这些工作得到了 D0 合作组以及费米实验室的高度评价. 韩良教授成为 D0 合作组 Authorship Committee 7 人委员会成员, 负责审查合作组各单位成员作者资格. 刘衍文博士成为费米实验室首批 International Scientist Fellowship 成员. 第 28 次中

美高能物理合作联合委员会会议,确定费米实验室继续支持中国科大 D0 实验物理研究。

### 3 高能物理实验研究

高能物理实验研究始于 1973 年,在杨衍明、陈宏芳教授领导下,为云南高山站宇宙线测量研制多丝正比室。之后先后参加了德国 DESY 的 MARK-J 实验,是 CERN LEP 的 L3 实验的发起单位之一。与此同时,被接受为 LHC 大型强子对撞机的 CMS 合作组和日本 KEK 的 B 介子工厂 Belle 合作组的成员。与瑞士苏黎世联邦理工学院 (ETHZ) 合作成立了高能物理联合研究所。1991 年正式参加中国科学院高能物理研究所 BES 合作组,成为国内大学中最早投入国内高能基地研究工作的 BES 成员,相继参加了 BESII 的物理分析和 BESIII 的建造与物理工作。2001 年 10 月又被接收为美国 BNL 的 STAR 合作组成员。

#### 3.1 为 STAR 合作组研制的飞行时间探测器和相对论性重离子碰撞 (RHIC) 物理研究

多气隙电阻板室 (MRPC) 是上世纪 90 年代后期欧洲核子研究中心 (CERN) 的 LHC - ALICE 实验组首先发展起来的新型探测器。受国家自然科学基金委员会委托,该研究室于 2000 年 8 月率先在国内开展 MRPC 研制。先后成功地研制了多种结构的 MRPC,其中 6 气隙的 MRPC 时间分辨为 60ps,对最小电离粒子的探测效率好于 95%,达到国际先进水平;双层结构 10 气隙的 MRPC,时间分辨好于 50ps,探测效率大于 99%,达到国际领先水平。并成功地研制了第一个基于 MRPC 技术的 STAR 飞行时间探测器原型 TOFr Tray,性能指标达到:平均时间分辨为 85ps,探测效率好于 90%,好于设计指标。并于 2002 年 10 月装入 STAR 探测器,参加了 2003 年度氩 - 金核 (质心能量为 200GeV/核子) 和 2004 年度金 - 金核 (质心能量为 200GeV/核子及 62.4GeV/核子) 碰撞实验,有效提高了 STAR 探测器的粒子鉴别本领,对  $\pi/K$  分辨的动量区域由原来的 0.6GeV/c 扩展到 1.6 GeV/c,对  $\pi, K/p$  分辨的动量范围由 1.0 GeV/c 扩展到 3 GeV/c。利用 MRPC - TOF 的数据和时间投影室带电粒子的电离能量损失的数据发展了一种可以鉴别高动量区  $\pi$  介子和质子的新技术,把 STAR $\pi$  探测器介子和质子的鉴别横动量区间扩展到 12GeV/c<sup>[13]</sup>。是第一个运用 MRPC 技术成功运行

于大型高能核碰撞物理实验的大面积飞行时间探测器,使一些原来很难开展但有重要意义的物理课题有可能进行,并获得了一些重要的物理结果。2006 年 4 月,用于 RHIC - STAR - TOF 探测器的 MRPC 通过批量生产标准和标准的最后评审。MRPC 生产稳定,质量越来越好,性能达到指标要求。RICE 大学还专门做了报道。图 1、2 分别给出了 200GeV AuAu 对撞中 TOF 的强子鉴别和电子鉴别能力。

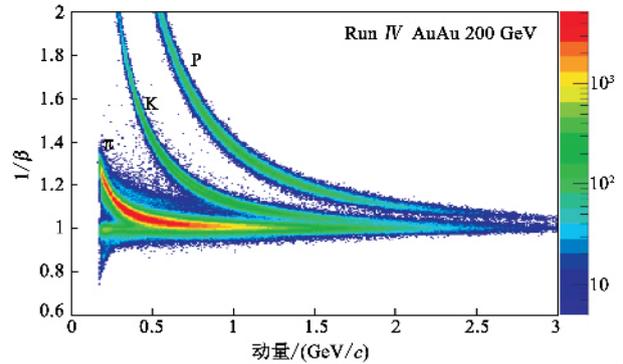


图 1 粒子速度倒数 ( $1/\beta$ ) 与动量的依赖性,反映了 TOF 的强子鉴别能力。数据来源于 STAR 国际合作组第四次运行的 20GeV 金金碰撞

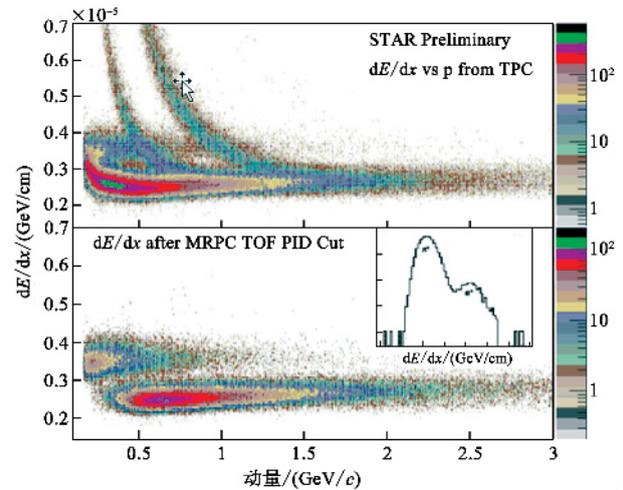


图 2 上图是电子在时间投影室 (TPC) 中能量损失 ( $dE/dx$ ) 对动量的依赖性。下图是电子在经过飞行时间谱仪粒子鉴别截断后能量损失对动量的依赖性。下图中的插图是同样选择条件下得到的电子和  $\pi$  介子的能谱图

利用飞行时间探测器得到的主要物理成果有:基于 TOFr 粒子鉴别的强子谱和 Cronin 效应的研究<sup>[14]</sup>。首次得到在氩 - 金碰撞与质子 - 质子碰撞中重味夸克衰变的电子谱。结合低横动量  $D^0$  粒子谱和高横动量单电子谱,在世界上首次给出了氩 - 金碰撞中双核子质心能量为 200GeV/核子下每核子 - 核

子碰撞中粲夸克产生在中快速度区的微分截面<sup>[15]</sup>. 开展带电强子横动量谱的研究. 通过测量带电强子 ( $\pi^\pm, p, \bar{p}$ ) 的单举不变产额谱 ( $0.3 < p_T < 12 \text{ GeV}/c$ ) 精确测量了粒子的核修正因子  $R_{cp}$ , 反粒子/粒子的比率以及  $p/\pi$  的比率等, 观察到在中横动量区间重子相对介子有增强现象, 这可以用部分子的结合模型来解释, 而在高横动量区间, 重子产额与介子产额有相同大小的压低. 这一现象揭示夸克和胶子在 QGP 中的能量损失可能与微扰 QCD 能损模型的预言不符, 为高能部分子在 QGP 中的能量损失机制提供了全新的实验现象, 有待进一步研究<sup>[16]</sup>.

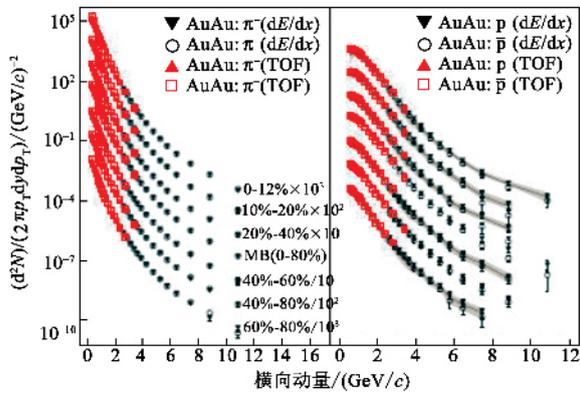


图3 200GeV 金金碰撞中带电  $\pi$  粒子和(反)质子的单举不变产额谱(纵坐标表示不变产额)

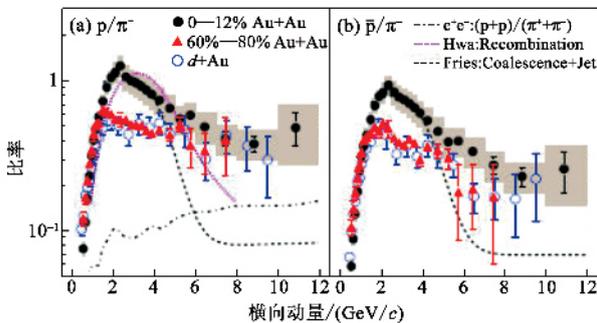


图4 200GeV 金金碰撞中带电强子的产额比

对氦、氦-3 以及它们的反粒子在中横动量区间的不变产额、横动量谱和椭圆流的测量和研究, 首次得到了轻核的结合参数  $B_2$  和  $B_3$ , 发现  $B_2$  与  $\sqrt{B_3}$  具有相似的值, 表明氦、氦-3 以及它们的反粒子有相似的 freeze-out 时刻. 发现在不同中心度对撞中, 轻核的结合参数和  $\pi$  介子的 freeze-out 体积成正比. 发现氦核和反氦核的椭圆流近似服从组分夸克数的标度不变性, 在实验上验证夸克融合模型. 首次测量了低横动量的反氦核的负值椭圆流, 这是 RHIC 上观测到的第一个负值椭圆流, 发现重粒子(氦)的负值

椭圆流与大径向流的理论模型相吻合<sup>[17]</sup>. 开展关于重味夸克产生截面和粲介子  $D^0$  半轻子衰变道的研究. 完成了 200GeV 金金碰撞中  $D^0$  介子以及粲粒子半轻子衰变到的电子和  $\mu$  子的数据分析工作, 首次在重离子实验中通过  $c \rightarrow \mu + X$  道确定粲夸克 ( $c\bar{c}$ ) 总产生截面. 首次在重离子碰撞实验中证实粲夸克截面相对于两两碰撞数的标度不变性. 首次利用 STAR TOF 探测器测量粲粒子半轻子衰变的单电子谱碰撞中心度的依赖关系. 首次利用 STAR TOF 探测器观测到单电子谱压低, 测量重味夸克能量损失. 首次观测到单电子谱的热力学性质与集体运动流效应不同于轻强子<sup>[18]</sup>. 对粲粒子及其半轻子衰变的单电子椭圆流进行了实验测量和唯象理论探讨. 理论上给出了 D 介子及其单电子椭圆流, 并预言底夸克粒子的集体运动流效应很小<sup>[19]</sup>. 完成了 RHIC 能区粲夸克产生截面和粲粒子半轻子衰变道的研究. 2007 年 8 月 23—25 日在 QCD 相变与重离子碰撞物理国际研讨会上汇报了该项工作. 受到 Quark Matter 2008 会议组委会的邀请, 于 2008 年 2 月 4 日—10 日在印度 Jaipur 举行的第 20 届国际超相对论核-核碰撞(夸克物质 2008)学术大会上做了题为《Overview of the Charm Production at RHIC》的大会报告<sup>[20]</sup>. 进行奇异共振态强子  $\phi \rightarrow KK$  的不变质量的重建研究. 利用 STAR 实验数据, 通过仅用 TPC 信息和联合 TPC + TOF 信息(即要求其中的一条带电径迹由 TOF 所识别)的比较研究, 进一步证明了, 结合 TOF 和 TPC 信息可以实现对带电径迹的高精度鉴别, 从而大大提高对奇异共振态强子不变质量重建的分辨率. 完成了 200GeV 金金碰撞中奇异强子椭圆流的中心度依赖性研究, 系统测量了  $K_s^0, \Lambda, \Xi, \Omega$  粒子的  $v_2$  (椭圆流). 结果表明, 在低横动量区, 这些强子的  $v_2$  符合流体力学的预言, 表明早期热化可能在 RHIC 形成. 在中间横动量区,  $v_2$  符合组分夸克数标度性, 表明重组是强子形成可能的机制, 解禁闭可能在 RHIC 已经形成. 中心度的依赖关系表明,  $v_2$  没有初始坐标空间各向异性的标度性. 集体运动在较中心碰撞中较强, 热化有可能在中心碰撞中达到<sup>[21]</sup>.  $v_2$  随碰撞系统的大小变化的依赖性将帮助我们验证早期热化这一假设. 对 200GeV 铜铜碰撞中  $K_s^0, \Lambda$  粒子的  $v_2$  也进行了测量, 并和 200GeV 金金碰撞的结果进行比较, 结果表明, 在铜铜碰撞中,  $K_s^0, \Lambda$  粒子也符合组分夸克数标度性, 但是热化没有达到.

### 3.2 与日本高能加速器研究机构(KEK)Belle 介子工厂 Belle 实验的国际合作

Belle 探测器于 1999 年开始取数,2000 年夏,我们从  $D^0 \rightarrow K\pi^+$  道的测量开始正式参与物理分析工作,以后还选取了带电  $D^*$  对产生的连续过程,用  $D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$  衰变产生的软  $\pi$  介子标记  $D^0$  或  $\bar{D}^0$ [22,23],给出了当时世界上最为精确的实验结果,并被 2006 年粒子物理数据库(PDG)收录.我们关于  $D^0 - \bar{D}^0$  混合的第二项研究课题是  $D^0 \rightarrow K_s\pi^+\pi^-$  道的含时达里兹分析测量,该过程的优点是可以直接给出混合参数  $x, y$  和强混合角  $\delta$ [24].

### 3.3 与中国科学院高能物理研究所的北京谱仪(BES)实验的合作

中国科学技术大学自 1991 年以来一直参加中国科学院高能物理研究所的北京谱仪(BES)实验,在 BES1 和 BESII 上开展了物理研究,在 BES3 建设中,中国科大是国内唯一参加 BES3 硬件设计和建造的一所大学,如端盖 TOF 探测器的预研和建造,亮度监测器的设计和建造以及亮度监测系统的电子学部分,TOF 和  $\mu$  探测器的读出电子学系统、TOF 触发子系统、TOF 监测仪的电子学和 BES3 时钟系统.

从 1991 年至今,积极参与 BES 物理分析研究.如 BES1 - BES2 的物理  $\tau$  的米歇尔参数的测量  $\psi$  的几种 VP 和 PP 模式衰变道的测量和研究,  $J/\psi$  的辐射衰变  $J/\psi \rightarrow \gamma\rho\rho, \gamma\omega\omega$  的分波分析.在 BES 粲物理的研究方面,通过对  $J/\psi$  的辐射衰变道  $J/\psi \rightarrow \gamma\omega\phi$  和  $J/\psi \rightarrow \gamma\omega\omega$  的分波分析,仔细研究了这些反应道中的强子共振态结构和分支比测量,发现了  $\omega\phi$  不变质量谱的近阈增强和可能存在的  $X(1812)$  态[25].

### 3.4 ATLAS/LHC 强子对撞实验国际合作

我们与中国科学院高能物理研究所计算中心、中国科大计算中心合作,在中国科大搭建了网格计算(LCG Tier3)的工作平台的雏形.同时,我们与美国密歇根大学 ATLAS 合作组也开始了 ATLAS 物理分析合作工作,派人参加 ATLAS 端盖部分 muon 子漂移室安装、测试和运行维护工作.2006 年,蒋一教授、韩良教授参加国家自然科学基金委员会重大重点国际合作项目“ATLAS 强子对撞物理研究”,正

式成为 ATLAS 合作组成员.

### 参考文献

- [ 1 ] Jiang Y, Han L. J. Phys. G, 1997, 23 : 385 ;Jiang Y, Ma W G, Han L. J. Phys. G, 1998, 24 : 83
- [ 2 ] You Y, Ma W G, Chen H *et al.* Phys. Lett. B, 2003, 571 : 85 ;Zhang R Y, Ma W G, Chen H *et al.* Phys. Lett. B, 2004, 578 : 349 ;Chen H, Ma W G, Zhang R Y *et al.* Nucl. Phys. B, 2004, 683 : 196 ;Zhou Y J, Ma W G, Zhang R Y *et al.* Phys. Rev. D, 2006, 73 : 073009
- [ 3 ] Sun H, Han L, Ma W G *et al.* Phys. Rev. D, 2006, 73 : 055002 ;Wu P, Ma W G, Zhang R Y *et al.* Phys. Rev. D, 2006, 73 : 015012
- [ 4 ] Sun H, Ma W G, Zhang R Y *et al.* Phys. Rev. D, 2007, 75 : 095006
- [ 5 ] Kai P, Zhang R Y, Ma W G *et al.* Phys. Rev. D, 2007, 76 : 015012
- [ 6 ] Guo L, Ma W G, Han L *et al.* Phys. Lett. B, 2007, 654 : 13 ;Guo L, Ma W G, Zhang R Y *et al.* Phys. Lett. B, 2008, 662 : 150
- [ 7 ] Sun Y B, Han L, Ma W G *et al.* JHEP, 2004, 0409 : 043 ;Sun Y B, Jiang Y, Huang J R *et al.* Commu. Theor. Phys., 2005, 44 : 107
- [ 8 ] Wang S M, Han L, Ma W G *et al.* Phys. Rev. D, 2006, 74 : 057902
- [ 9 ] Wang S M, Han L, Ma W G *et al.* Commu. Theor. Phys., 2007, 48 : 491
- [ 10 ] Wang S M, Han L, Ma W G *et al.* Chin. Phys. Lett., 2008, 25 : 58
- [ 11 ] D0 Collaboration, Abazov V M *et al.* arXiv 0711.3207 v2, to be appeared in Phys. Rev. Lett ;Abulenda A *et al.* Phys. Rev. Lett., 96 : 211802
- [ 12 ] [http://www.fnal.gov/pub/today/archive\\_2008/today08-03-13.html](http://www.fnal.gov/pub/today/archive_2008/today08-03-13.html)
- [ 13 ] Ming S *et al.* Nucl. Instrum. Meth. A, 2006, 558 : 419 (nucl-ex/0505026)
- [ 14 ] Ruan L J *et al.* for STAR Collaboration, Phys. Lett. B, 2005, 616 : 8 (nucl-ex/0309012)
- [ 15 ] Dong X *et al.* for STAR Collaboration, Phys. Rev. Lett. 2005, 94 : 062301 (nucl-ex/0407006)
- [ 16 ] Liu H D *et al.* for STAR Collaboration. Phys. Rev. Lett., 2006, 97 : 152301 (nucl-ex/0606003)
- [ 17 ] Liu H D *et al.* J. Phys. G, 2004, 34 : 1087 (nucl-ex/0701057)
- [ 18 ] Zhang Y F *et al.* for the STAR Collaboration, submitted to Phys. Rev. Lett., eprint arXiv 0805.0364.
- [ 19 ] Zhang Y F. Nuclear Physics A, 2007, 783 : 489
- [ 20 ] Zhang Y F. QM 2008 talk, submitted to JPG, eprint arXiv : 0806.0079.
- [ 21 ] Yan L *et al.* for the STAR Collaboration, Phys. Rev. C, 2007, 75 : 054906, e-Print : nucl-ex/0701010
- [ 22 ] Jin L *et al.* ( Belle Collaboration ). Phys. Rev. Lett., 2005, 94 : 071801
- [ 23 ] Zhang L M *et al.* ( Belle Collaboration ). Phys. Rev. Lett., 2006, 96 : 151801
- [ 24 ] Peng H P *et al.* ( BES Collaboration ). Phys. Rev. Lett., 2006, 96 : 162002 (nucl-ex/0602031)
- [ 25 ] Peng H P *et al.* ( BES Collaboration ). Phys. Rev. D, 2006, 73 : 112007