

文章编号: 1007-4627(2014)02-0119-07

电子-离子对撞机上开展核子及其激发态研究的建议

谢聚军^{1, 2}, 何军^{1, 2}, 陈旭荣¹, 邹冰松², 徐珊珊¹, 肖国青¹

(1. 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;

2. 中国科学院理论物理研究所, 理论物理国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 核子及其激发态性质研究一直是中高能核物理的一个重要研究领域。然而, 到目前为止, 对核子及其激发态内部结构的了解还处在初级阶段。首先介绍了核子及其激发态研究现状, 指出了三夸克模型在描述核子特别是核子激发态内部结构方面存在很大的缺陷。为解决传统三夸克模型的不足, 有一种新的观点认为虽然独立的五夸克态不存在, 但是核子及其共振态中存在可观的五夸克激发。这种五夸克图像提供了一个描述核子内部结构的新见解, 给出了与经典三夸克图像相当不同的核子激发态谱预言, 还有待实验检验。目前国内外正在论证的电子-离子对撞机(EIC)将是研究核子结构下一代最重要的加速器装置, 被视为“超级电子显微镜”。由于EIC有较高的能量和亮度, 特别是低成本等优势, 可以开展核子及其激发态性质的研究以及新强子态研究。

关键词: 核子及其激发态; 电子-离子对撞机; 五夸克图像

中图分类号: O572.21+4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.31.02.119

1 引言

原子核是一个强相互作用的多核子系统, 是物质结构的一个重要层次。原子核物理学是一门不断发展的学科, 传统核物理的研究内容主要是基于核子自由度研究原子核的结构、性质及其相互作用。随着人们对微观世界认识的深入, 比如夸克和胶子的发现、强相互作用理论量子色动力学(QCD)的建立, 使得当前的核物理研究领域大大扩展。既然原子核是一个多核子系统, 它的整体性质和运动形态应该由它内部的核子的性质以及核子之间的相互作用(核力)来决定, 这就需要从实验和理论两个方面深入研究核子的结构和性质。因此, 研究最小的核物质系统(核子及其激发态、多夸克态与双重子态等)的内部夸克-胶子结构已经成为新的核物理研究前沿。

在QCD理论框架下, 核子的经典图像是由三个夸克(质子: uud, 中子: udd)组成。但是, QCD理论具有“色禁闭”(又称“夸克禁闭”)性质, 实验上

无法直接观测到核子内部的夸克和胶子。从这种意义上说, 核子是能从物质中分离出来的、是已观测到具有内部结构的最小物质单元之一。而且, 核子是可见物质世界的基础, 占可见物质的99%以上, 是组成物质世界的“原材料”。再者, 可见物质世界的质量主要来源于核子及其相互作用。因此, 研究核子内部结构和核子之间相互作用能够加深我们对微观物质世界的理解和认识。

核子是体现QCD理论三种颜色合成无色态及其非阿贝尔特性的最简单费米子系统, 但目前QCD理论仍不能定量地描述核子内部的夸克-胶子结构, 甚至连核子内部的有效自由度到底是什么都还不清楚^[1]。而且, 越来越多的实验迹象表明, 核子内部有明显的多夸克成份, 胶子成份也对核子自旋极化等问题有一定贡献^[2-3]。此外, 如何在夸克层次上描述核力、是否存在多夸克态和双重子态以及核内核子的夸克-胶子结构与自由核子有何不同等, 都是当今受到普遍关注的核物理基本问题, 对这些问题的研究能够

收稿日期: 2014-03-15; 修改日期: 2014-04-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973计划)(2014CB845406); 国家自然科学基金资助项目(11105126, 11275235, 11035006, 11175220); 中国科学院百人计划项目(Y101020BR0)

作者简介: 谢聚军(1981-), 男, 河南舞阳人, 副研究员, 博士, 从事中高能核物理和强子物理研究;

E-mail: xiejujun@impcas.ac.cn

<http://www.npr.ac.cn>

提升我们对强相互作用的理解和认识。同时, 这些研究对于天体物理、粒子物理标准模型在核物理中的检验、核技术应用等也具有重要意义。

目前, 除核子之外, 在实验上虽然已经发现了一定数量的重子及其激发态^[4], 但是对它们性质的了解还很贫乏, 进一步从理论和实验上精确研究这些重子的内部结构特别是谱学性质很有必要。在近代科学发展史上, 谱学研究是人们探索微观物质世界非常有效的工具。例如通过对原子能谱的研究, 得到了波尔量子理论; 通过对原子核谱的研究, 成功提出了壳模型和集体运动模型。由此, 我们期待通过对核子及其激发态谱学的研究, 加深对微观世界的了解。

随着国家经济实力的增强和国家科学技术发展的需要, 我国逐步建造了一批大科学装置。北京正负电子对撞机 BEPCII 升级成功^[5], 兰州重离子加速器冷却储存环装置 (CSR) 建成投入使用, 均已取得重要物理成果。目前, 在 CSR 上新建一个 CSR 外靶实验装置 (CSR External-target Experiment, CEE) 的项目 (即“低温高密度核物质探测谱仪”) 也在申请之中。CEE 有别于其它国际上同一能区的重离子碰撞实验装置, 它将强调包括前角区在内的产物及其关联的测量, 利用 CSR 的重离子束流研究极高重子数密度下核物质的相结构, 这将是一个在这一能区下世界上唯一的核物质测量谱仪。另外, 为了使我国核物理基础研究在激烈的国际竞争中占有一席之地并为人类探索物质结构做出重大贡献, 同时满足经济社会发展对重离子束流的重大需求, 中国科学院近代物理研究所提出建造一台强流重离子加速器装置 (High Intensity heavy ion Accelerator Facility, HIAF)^[6], HIAF 已经列入“十二五”国家重要战略装置计划。HIAF 建成后, 将是世界上最先进的重离子科学综合研究装置之一, 具有潜在的开展电子-质子 (重离子) 对撞实验能力。这些装置是人类探索微观物质世界的深层结构的有效途径, 是核物理和粒子物理交叉研究领域的前沿, 为研究核子结构和 QCD 理论的低能特性提供了理想实验平台。

2 核子及其激发态研究现状

自从发现 $\Delta(1232)$ 重子以来, 大量的核子共振态在 πN 散射过程中观测到。质量在 1.7 GeV 附近及

以下的核子激发态的性质都已经被确定, 然而高质量区域的核子激发态性质无论实验上还是理论上研究都不是很多。除 πN 散射实验装置之外, 国际上还有比较多的 γN 或者 eN 散射实验装置来研究核子激发态。这些装置主要包括美国杰佛逊国家实验室 (JLab) 的 CLAS/CEBAF^[7]、德国的 MAMI^[8] 和 ELSA^[9]、法国的 ESRF^[10] 和日本的 LEPS/Spring-8^[11] 等等。由于量子电动力学 (QED) 已经被透彻地理解, 因此, 与 πN 散射等强子探针实验相比, 电磁探针特别是光子探针比强子探针更为干净, 对于研究核子及其激发态性质有其独特的优点。另外, 电磁过程对于研究那些与 πN 耦合比较弱的核子激发态也有绝对的优势。因此, 光子-质子和电子-质子碰撞实验逐步成为研究核子共振态的主要实验手段。表 1 列出了目前实验上对核子及其激发态研究现状的总结, 相关数据取自文献^[4]。这些粒子的确定度用“*”的多少来表示, “*”越多, 表示该粒子的确定度越高。例如, “*****”表示该粒子确定存在, 而且它的一些性质, 诸如质量、宽度和衰变分支比等也比较确定。从表中可以看出, 大部分核子激发态的确定度都在“*****”以下, 还有一些核子共振态的质量和宽度甚至自旋宇称都还“不确定”, 这说明我们对于核子激发态性质的研究还远远不够。

理论方面, 经典夸克图像表明, 核子及其激发态由三个夸克组成。夸克模型在描述基态重子属性方面取得了很大的成功, 特别是它们的质量关系, 曾经成功地预言了含有三个奇异夸克的 Ω 重子。然而, 随着更多更精确实验数据出炉, 这种简单的三夸克图像已经很难解释某些实验现象。更有甚者, 在某些能区, 理论计算与实验数据之间存在很大分歧^[12-13]。比如, 经典三夸克图像指出, 质子奇异自旋和奇异磁矩应该为零, 而实验结果并非如此。这说明我们对核子内部结构的认识还非常粗浅, 对一些核子及其激发态相关的基本问题的理解也非常粗糙。除了夸克被认为是核子内部一个有效自由度之外, 核子内部的其它有效自由度是什么? 这个问题至今没有答案。经典三夸克图像的不足促使人们对核子以及激发态的结构进行更加深入的研究, 也促使人们不断努力, 寻找新的核子及其激发态内部结构图像。

为解决传统三夸克重子结构模型的不足, 一种新

表 1 核子及其激发态研究现状总结

名称	自旋宇称 (J^P)	质量/MeV	总宽度 /MeV	确定度	名称	自旋宇称 (J^P)	质量/MeV	总宽度 /MeV	确定度
p	1/2 ⁺	938	0	****	N(1895)	1/2 ⁻	~ 2090	不确定	**
n	1/2 ⁺	940	0	****	N(1900)	3/2 ⁺	~ 1900	~ 250	***
N(1440)	1/2 ⁺	1420 ~ 1470	200 ~ 450	****	N(1990)	7/2 ⁺	~ 1990	不确定	**
N(1520)	3/2 ⁻	1515 ~ 1525	100 ~ 125	****	N(2000)	5/2 ⁺	1950 ~ 2150	不确定	**
N(1535)	1/2 ⁻	1525 ~ 1545	125 ~ 175	****	N(2040)	3/2 ⁺	2052 ⁺¹³ ₋₂₁	191 ± 33	*
N(1650)	1/2 ⁻	1645 ~ 1670	120 ~ 180	****	N(2060)	5/2 ⁻	~ 2060	不确定	**
N(1675)	5/2 ⁻	1670 ~ 1680	130 ~ 165	****	N(2100)	1/2 ⁺	~ 2100	不确定	*
N(1680)	5/2 ⁺	1680 ~ 1690	120 ~ 140	****	N(2100)	3/2 ⁻	~ 2120	不确定	**
N(1685)	不确定	不确定	不确定	*	N(2190)	7/2 ⁻	2100 ~ 2200	300 ~ 700	****
N(1700)	3/2 ⁻	1650 ~ 1750	100 ~ 250	***	N(2220)	9/2 ⁺	2200 ~ 2300	350 ~ 500	****
N(1710)	1/2 ⁺	1680 ~ 1740	50 ~ 250	***	N(2250)	9/2 ⁻	2200 ~ 2350	230 ~ 800	****
N(1720)	3/2 ⁺	1700 ~ 1750	150 ~ 400	****	N(2300)	1/2 ⁺	2300 ⁺⁴⁰⁺¹⁰⁹ ₋₃₀₋₀	340 ± 30 ⁺¹¹⁰ ₋₅₈	**
N(1860)	5/2 ⁺	1820 ~ 1960	不确定	**	N(2570)	5/2 ⁻	2570 ⁺¹⁹⁺³⁴ ₋₁₀₋₁₀	250 ⁺¹⁴⁺⁶⁹ ₋₁₄₋₂₁	**
N(1875)	3/2 ⁻	1820 ~ 1920	160 ~ 320	***	N(2600)	11/2 ⁻	2550 ~ 2750	500 ~ 800	***
N(1880)	1/2 ⁺	不确定	不确定	**	N(2700)	13/2 ⁺	~ 2700	不确定	**

的观点认为虽然独立的五夸克态不存在，但是核子及其共振态中存在可观的五夸克激发^[3, 14]。这种模型要求从夸克海中拉出一对正反夸克，其中拉出来的夸克与核子内部组份夸克形成“偶夸克”(diquark)有色集团，然后再构成整个无色的核子及其激发态，也可以形成两个无色强子构成的强子分子态。这种过程的激发能有可能比传统三夸克模型通过径向和轨道激发得到核子激发态的激发能要低，因此，对于某些核子激发态而言，其内部五夸克成份有可能占主导地位。基于此五夸克成份图像，可以定性解释核子的奇异性。同时，这种五夸克图像给出了与经典夸克图像相当不同的核子激发态谱预言，有待实验检验。另外，在五夸克图像基础上，考虑手征超精细相互作用，文献[15]把原来对五夸克系统能谱的预言，扩展到七夸克系统，对基态和轨道第一激发态能谱进行了理论预言，这些结果也有待将来实验检验。

既然核子内部可能存在正反奇异夸克对 ss，随着激发能量的升高，在 4 GeV 以上，核子内可以出现粲夸克对 cc，即存在隐粲核子共振态^[16]，以及质量在 11 GeV 附近含有美夸克对 bb 的隐美超子共振态存在^[17]。由于普通核子共振态在 3 GeV 以上核子共振态的数量急剧增加，在 4 GeV 以上的能区接近于连续谱，而且隐粲核子共振态宽度比较窄，因此在实验上较容易被发现。

我国北京正负电子对撞机(BEPC)在研究核子激发态方面有其独特的优点^[18-21]。由于 J/ψ 粒子的同位旋为零，而核子或者反核子的同位旋为 1/2，则根据同位旋守恒可知 J/ψ → N̄Nπ 和 J/ψ → N̄Nππ 衰变末态 πN 和 ππN 系统的同位旋只能为 1/2，而没有同位旋 3/2 的 Δ(1232) 重子及其激发态的贡献。因此，上述 J/ψ 衰变过程是研究同位旋 1/2 的核子激发态的优良场所。事实上，从 1992 年到 2012 年，粒子数据表(PDG)^[4]上收录的核子激发态总共增加了七个，其中三个都是基于 BEPC 的北京谱仪合作组分析 J/ψ 或者 ψ(3686) 衰变数据得到的，它们分别是 N_{3/2+}(2040)、N_{1/2+}(2300) 和 N_{5/2-}(2570)。目前 BEPCII 上的北京谱仪探测器已经采集了约 12 亿的 J/ψ 事例和 6 亿 ψ(3686) 事例，可以期待这些高统计量的实验数据带来更多的核子激发态研究的新结果。

除 BEPC 之外，CSR 上面通过质子-质子散射过程或者质子-原子核散射过程也可以产生核子激发态，为研究核子激发态性质提供了一个与 BEPC 互补的、新类型的研究平台^[22-24]。

3 我国 EIC 计划和核子及其激发态

很长时间以来，电磁探针一直是提取原子核和

核子内部信息的最重要工具, 这是由电磁探针本身具有的清洁性和易控性等优点所决定的。电磁探针的一个新发展方向是电子-离子对撞机(EIC)。目前, 国际核物理界几乎已形成共识: EIC将是研究核子、原子核内夸克胶子分布的最有效设备, 是高能核物理界研究核子结构下一代最主要的加速器装置, 被视为“超级电子显微镜”, 它能提供核子内部结构最清楚的图像。提议中的EIC计划包括美国RHIC^[25]的eRHIC^[26]和JLab的ELIC^[27], 以及欧洲大型强子对撞机(LHC)上的LHeC^[28]和德国GSI/FAIR^[29]上的ENC^[30]等。

在我国, 中国科学院近代物理研究所提出在HIAF上建造强流高能电子加速器和先进的EIC机器, 开展核子结构等方面的前沿研究。EIC@HIAF初期暂定目标为电子能量3 GeV, 质子能量12 GeV; 亮度可达到 $4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 束流采用双极化(电子束流和质子/重离子束流均极化)。

图 1 列举了目前国际上计划中的 EIC 和已有电子-质子散射实验装置的亮度与质心能量的对照关系, 从图中可以看出, EIC@HIAF 虽然比 JLab 12

GeV 升级项目亮度低, 但是质心系能量较大, 同时 EIC@HIAF 的实验将比 JLab 12 GeV 升级项目运动学范围更广, 在较大的部分子动量范围内, 不但可以提供价夸克的分布函数的信息, 还能提供海夸克以及胶子的分布函数的信息, 为最终揭示核子和原子核的夸克、胶子结构迈出重要的一步。此外, EIC@HIAF 的主要优势在于能够给我们更多更精确的海夸克分布函数信息, 而美国和 CERN 未来的 EIC 装置主要优势是研究胶子。另外, HERA 实验获得了很多核子结构方面的实验结果, 但是该实验的缺点是只有 ep 散射, 没有 eA 散射, 而且质子束流没有极化, 其亮度也偏低($10^{31} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。因此, EIC@HIAF 比 HERA 有明显的优势, 可以通过 eA 散射来研究原子核内部夸克-胶子结构对原子核性质的影响。同时, 对于 HERA 发现的一些迹象, 可在 EIC@HIAF 上进一步确认和深入研究。另外, 由于束流采用双极化, EIC@HIAF 实验可以获得更多能够直接反映相关物理过程(如: 深度非弹性散射)动力学机制的物理可观测量, 这些物理观测结果对于分析研究核子奇异磁矩是大有裨益的。

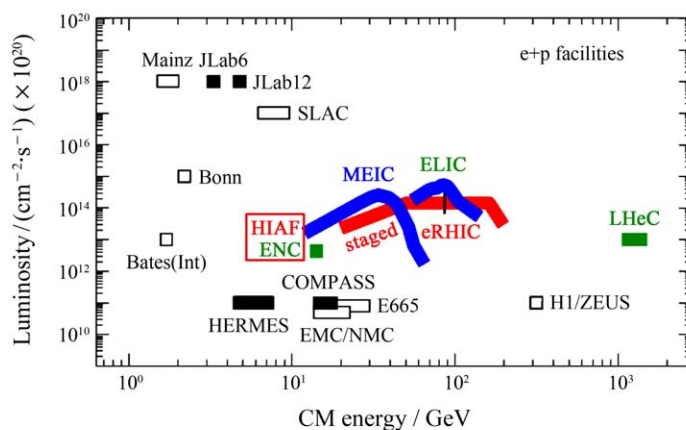


图 1 (在线彩图) 计划中的 EIC 和已有电子-质子散射实验装置的亮度与质心能量对照关系

注: 图中空心方框代表已有电子-质子散射实验装置, 其他代表计划中的 EIC。

在欧美建成 EIC 装置前就建成 EIC@HIAF, 将使中国在核子结构研究领域处于世界领先地位。中国物理学家, 尤其是理论物理学家已在这方面做出过很大的贡献, 为这项研究提供了强有力的支持。EIC@HIAF 建成和运行后, 中国高能核物理研究将能取得重大物理成果, 在掌握探测器技术和人才培养等方面也将取得重要的进步和突破, 将使我国的核子

结构研究在激烈的国际竞争中走在世界前列, 并对国际上其它大科学实验装置将要开展的研究起到积极的推动作用。同时, 将为我国核科学家做出世界性一流贡献而创造条件。

除研究核子结构外, EIC 所提供的高能电子束和高能质子束及其较高的亮度也为我国核子激发态领域的研究提供了良好的机遇, 并且 EIC 上电子与

质子碰撞可以与目前我国正在运行的正负电子对撞机 BEPC 和质子-质子碰撞的 CSR 形成互补。在电子与核子碰撞过程中, 通过交换一个光子可以在核子中拉出一个夸克对, 从而形成一个隐粲核子共振态, 所以, EIC 也是研究隐粲核子共振态的理想装置^[34]。由于 EIC@HIAF 的质心系能量可达 8 GeV, 因此可研究质量高于 4 GeV 的 XYZ 粒子。同时, 从表 1 中可以看出, 目前对质量在 2 GeV 附近的核子激发态的性质研究相对较少, 而 EIC@HIAF 建成后, 可以通过相关 ep (或者 γp) 散射过程来研究 2 GeV 附近的核子激发态。这一方面的理论工作已经有了一定的基础, 如文献[31-33]中对核子激发态 $N_{3/2}^*(2120)$ 在 $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda(1520)$ 过程中的贡献进行了一定的研究, 指出通过该散射过程可以研究 $N_{3/2}^*(2120)$ 的性质。因此, 在 EIC@HIAF 上开展核子及其核子激发态等强子物理研究, 这样可以使得该装置一器多用, 多点开花、充分发挥其价值。

另外, 在文献[34]中, 基于有效拉氏量方法和矢量介子为主模型, 我们对隐粲核子共振态 $N_{cc}(4421)$ 光致产生进行了理论计算, 图 2 给出了我们关于总截面的计算结果。图中点线表示背景贡献, 虚线表示 $N_{cc}(4421)$ 共振态的贡献, 而实线是总的结果, 灰色区域是我们考虑参数误差之后的理论预言范围。从图中可以看出, 我们的计算结果可以描述目前现有的实验数据。然而, 旧的实验数据误差很大, 不足以给出确定的结论, 需要进一步的高精度实验证实。同时, 我们的理论结果表明, 在阈值附近, 总截面在纳

靶 (nb) 量级, 而且信号相对于背景是非常明显的。这一研究结果为我们在 EIC@HIAF 上研究隐粲核子激发态提供了良好的理论基础。

4 展望和建议

核子及其激发态性质研究一直是中高能核物理研究的一个重要领域, 吸引了大批理论和实验工作者投入该项事业中。相关研究成果必将大大提升人们对物质世界特别是微观物质世界自然规律的认识水平。然而, 到目前为止, 我们对核子内部结构的了解还处在初级阶段。夸克和胶子如何构成核子是我们还没有完全解决的难题。三夸克模型虽然给我们提供了一个简单的、清晰的核子内部结构图像, 但是这种核子结构图像在新的、更精确的实验数据面前显得过于简单, 需要我们对核子及其激发态内部结构进行新的思考和探索。

核子及其激发态内部五夸克图像的提出, 为我们提供了一个描述核子内部结构的新见解, 预言了在 4 GeV^[16] 和 11 GeV^[17] 附近分别存在以五夸克成分为主的核子和超子激发态超重岛。此外, 该模型还预言了一些目前还没有被实验发现的含有大量多夸克成分的重子态^[35-36]。它们的存在与否可以在将来新的实验装置上面得到验证。

然而, 随着国际上大型科学装置的相继开始建造, 以及受到社会发展多元价值观的冲击, 再加上核物理研究人才培养周期一般需要五到十年时间, 中高能核物理后备力量严重不足的困难将凸显, 这一点在欧洲、美国和日本等发达国家已经非常明显。为此, 我们应加大对中高能核物理领域的人才培养力度, 争取吸引更多的国内外优秀人才加入到我国中高能核物理的研究队伍中。同时, 加强国际学术交流, 学习发达地区先进技术和优秀经验, 邀请一些国际专家来讲学指导, 争取最快速度解决后备力量不足这一最大困难, 使得这些新的大型科学装置能够发挥其最大效益, 为我国基础学科的发展做出贡献。

参考文献:

- [1] ZOU Bingsong. Nuclear Physics Review, 2005, **22**(4): 351. (in Chinese)
(邹冰松. 原子核物理评论, 2005, **22**(4): 351.)

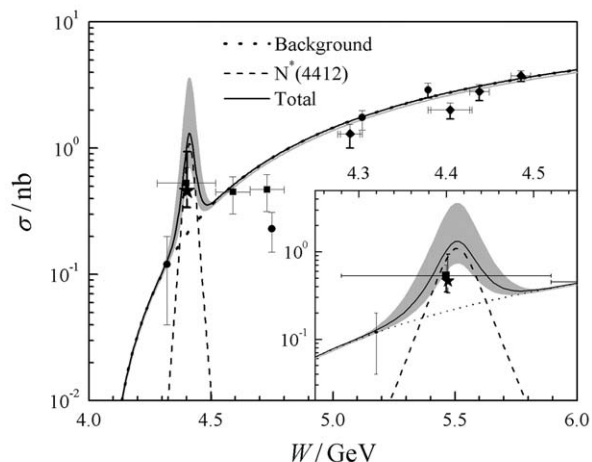


图 2 隐粲核子激发态 $N_{cc}(4421)$ 光致产生过程 $\gamma p \rightarrow N_{cc}(4421) \rightarrow J/\psi p$ 的总截面

- [2] GARVEY G T, PENG J C. *Prog Part Nucl Phys*, 2001, **47**: 203.
- [3] ZOU Bingsong, RISKA D O. *Phys Rev Lett*, 2005, **95**: 072001.
- [4] BERINGER J, ARGUIN J F, BARNETT R M, *et al.* [Particle Data Group], *Phys Rev D*, 2012, **86**: 010001.
- [5] [2014-04-10]. <http://bepclab.ihep.cas.cn/>.
- [6] [2014-05-06]. http://www.imp.cas.cn/xwzx/snxw/2013-03/t20130301_3784087.html.
- [7] MECKING B A, ADAMS G, AHMAD S, *et al.* [CLAS Collaboration], *Nucl Instrum Meth A*, 2003, **503**: 513.
- [8] [2014-04-10]. <http://wwwkph.kph.uni-mainz.de/B1/>.
- [9] [2014-04-10]. http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/index_en.html.
- [10] [2014-04-10]. <http://www.lightsources.org/facility/esrf>.
- [11] [2014-04-10]. <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/Divisions/np1-b/>.
- [12] KLEMP T E, RICHARD J M. *Rev Mod Phys*, 2010, **82**: 1095.
- [13] CREDE V, ROBERTS W. *Rept Prog Phys*, 2013, **76**: 076301.
- [14] RISKA D O, ZOU Bingsong. *Phys Lett B*, 2006, **636**: 265.
- [15] YUAN Sigang. *Nuclear Physics Review*, 2013, **30**: 10. (in Chinese)
(袁思刚. 原子核物理评论, 2013, **30**: 10.)
- [16] WU Jiajun, MOLINA R, OSET E, *et al.* *Phys Rev Lett*, 2010, **105**: 232001; *Phys Rev C*, 2011, **84**: 015202.
- [17] WU Jiajun, ZOU Bingsong. *Phys Lett B*, 2012, **709**: 70.
- [18] BAI J Z, BAN Y, BIAN J G, *et al.* (BES Collaboration). *Phys Lett*, 2001, **B510**: 75.
- [19] LI H B, CHIANG H C, PENG G X, *et al.* (BES Collaboration). *Nucl Phys*, 2000, **A675**: 189c.
- [20] ZOU Bingsong, LI H B, BES Collaboration. *Proc. of NSTAR2000 Conf. at JLab, Feb 2000*[C]// BURKERT V Eds. World Scientific, 2001: 155.
- [21] ZOU Bingsong. *Nucl Phys A*, 2001, **684**: 330. *Nucl Phys A*, 2000, **675**: 167.
- [22] LI Xiguo, XU Hushan, XIAO Guoqing *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2005, **22**: 243. (in Chinese)
(李希国, 徐珊珊, 肖国青, 等. 原子核物理评论, 2005, **22**: 243.)
- [23] ZOU Bingsong. *Chinese Physics C*, 2009, **33**: 1133. (in Chinese)
(邹冰松. 中国物理 C. 2009, **33**: 1113.)
- [24] ZHENG Chuan, XU Hushan, OUYANG Zhen, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2011 **28**: 162. (in Chinese)
(郑川, 徐珊珊, 欧阳珍, 等. 原子核物理评论, 2011, **28**: 162.)
- [25] [2014-04-10]. <http://www.bnl.gov/rhic/>.
- [26] [2014-04-10]. <http://quark.phy.bnl.gov/raju/eRHIC.html>.
- [27] [2014-04-10]. <http://casa.jlab.org/research/elic/elic.shtml>.
- [28] [2014-04-10]. <http://www.ep.ph.bham.ac.uk/exp/LHeC/>.
- [29] [2014-04-10]. <http://www.fair-center.eu/>.
- [30] LEHRACH1 A, AULENBACHER K, BOLDT B, *et al.* *J Phys: Conf Ser*, 2011, **295**: 012156.
- [31] XIE Jujun, NIEVES Juan. *Phys Rev C*, 2010, **82**: 045205.
- [32] HE Jun, CHEN Xurong. *Phys Rev C*, 2012, **86**: 035204.
- [33] XIE Jujun, WANG En, NIEVES Juan. *Phys Rev C*, 2014, **89**: 015203.
- [34] HUANG Yin, HE Jun, ZHANG Hongfei, *et al.* arXiv: 1305.4434 [nucl-th].
- [35] YUAN Sigang, AN Chunsheng, WEI Kewei, *et al.* *Phys Rev C*, 2013, **87**: 025205.
- [36] AN Chunsheng, METSCH B C, ZOU Bingsong. *Phys Rev C*, 2013, **87**: 065207.

Suggestions for the Study of the Nucleon and Nucleon Resonances on the Electron-Ion Collider

XIE Jujun^{1, 2, 1)}, HE Jun^{1, 2}, CHEN Xurong¹, ZOU Bingsong², XU Hushan¹, XIAO Guoqing¹

(1. *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2. *State Key Laboratory of Theoretical Physics, Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*)

Abstract: The study of the properties of the nucleon and nucleon resonances is an important field in the high and intermediate energy nuclear physics, however, until now, our understanding about the structure of the nucleon and nucleon resonances is still in its infancy. We give a brief review on the current researches of the nucleon and nucleon resonances, and point out that the classical quark model can not successfully describe the structure of the nucleon and nucleon resonances. For doing this, a new idea claims that although the five-quark state does not exist, but, there could be significant five-quark components in the nucleon and nucleon resonances. This five-quark configure gives different predictions for the nucleon resonances which will be tested by the future experiments. Now, the proposed Electron-Ion Collider (EIC) will be the most important accelerator installation for studying the nucleon structure, and it is called "super-electronic-microscope". Because of the high energy and luminosity, and also low background, we can study the properties of the nucleon and nucleon resonances and new hadron states on EIC.

Key words: nuclear and nuclear resonance; Electron-Ion Collider; five quark configure picture

Received date: 15 Mar. 2014; **Revised date:** 18 Apr. 2014

Foundation item: National Basic Research Program of China(973 program)(2014CB845406); National Natural Science Foundation of China(11105126, 11275235, 11035006, 11175220); Hundred Talent Program of Chinese Academy of Sciences(Y101020BR0)

1) E-mail: xiejujun@impcas.ac.cn.

<http://www.npr.ac.cn>