



中国极化电子离子对撞机探测器设计

祁康辉 梁羽铁 王荣 谢亚平 杨智 赵宇翔

Detector Design of the Polarized Electron Ion Collider in China

QI Kanghui, LIANG Yutie, WANG Rong, XIE Yaping, YANG Zhi, ZHAO Yuxiang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC37>

引用格式:

祁康辉, 梁羽铁, 王荣, 谢亚平, 杨智, 赵宇翔. 中国极化电子离子对撞机探测器设计[J]. *原子核物理评论*, 2020, 37(3):727–733. doi: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC37

QI Kanghui, LIANG Yutie, WANG Rong, XIE Yaping, YANG Zhi, ZHAO Yuxiang. Detector Design of the Polarized Electron Ion Collider in China[J]. *Nuclear Physics Review*, 2020, 37(3):727–733. doi: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC37

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

EicC对撞光学设计

EicC Collider Lattice Design

原子核物理评论. 2020, 37(1): 40–45 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019048>

相对论重离子碰撞中手征磁效应寻找的现状(英文)

Status of the Chiral Magnetic Effect Search in Relativistic Heavy-ion Collisions

原子核物理评论. 2018, 35(3): 225–242 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.35.03.225>

中国散裂中子源小角中子散射谱仪探测器研制

Small Angle Neutron Scattering Spectrometer Detector of China Spallation Neutron Source

原子核物理评论. 2019, 36(2): 204–210 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.02.204>

重离子治癌加速器束诊探测器运动控制系统设计

Design and Development of Motion Control System for Heavy Ion Medical Machine Beam Diagnostics Detector

原子核物理评论. 2019, 36(4): 433–440 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.04.433>

重离子治癌装置4 MeV/u IH型漂移管直线注入器的动力学设计

Design of a 4 MeV/u IH–DTL Injector for Cancer Therapy

原子核物理评论. 2018, 35(1): 34–39 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.35.01.034>

HIAF-BRring中极化质子加速研究

Study on Acceleration of Polarized Beam at HIAF–Bring

原子核物理评论. 2017, 34(4): 735–739 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.34.04.735>

文章编号: 1007-4627(2020)03-0727-07

中国极化电子离子对撞机探测器设计

祁康辉^{1,2}, 梁羽铁^{1,2,†}, 王 荣^{1,2}, 谢亚平^{1,2}, 杨 智^{1,2}, 赵宇翔^{1,2}

(1. 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 核子是构成宇宙可见物质的最主要成分, 也是研究强相互作用的最佳实验室。对核子内部结构的研究是当前理论和实验研究的重要前沿。在核子内部结构的实验研究中, 电子-离子对撞机 (Electron Ion Collider, EIC) 是最理想的装置, 能提供核子内部最清晰的图像, 是人类认识物质世界深层次结构, 特别是核子与原子核结构最理想的工具。中国极化电子离子对撞机 EicC 项目, 设想在已开建的 HIAF 高能离子束的基础上进行升级: 将离子束流升级成 15~20 GeV 的极化束流, 建设 3~5 GeV 高能极化电子束流, 实现质心系能量为 10~20 GeV 双极化电子-离子对撞, 在海夸克能区对核子内部结构进行精细测量, 并对质子质量、奇特强子态等诸多重要物理课题展开研究。在本文中, 我们开发了 EicC 快模拟软件, 对探测器性能进行参数化模拟; 通过物理模拟汇集 EicC 探测需求, 利用探测器模拟软件进行优化并提出 EicC 探测器谱仪的初步设计方案。该谱仪方案提供了接近全立体角的覆盖范围和大动量范围内的粒子鉴别能力, 兼顾 EicC 项目丰富的物理课题。

关键词: 中国电子离子对撞机; 量子色动力学; 核子结构; 奇特强子态

中图分类号: O572.21⁺2

文献标志码: A

DOI: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC37

1 中国极化电子离子对撞机概述

核子 (质子和中子的总称) 大约占宇宙中可见物质总质量的 99%, 是构成宇宙可见物质的最主要成分。人类对核子的认识已超过一个世纪, 对其内部结构的研究也有半个世纪。在近半个世纪的研究中, 得益于日渐成熟的理论描述框架^[1-5]及越来越高精度的实验测量^[6-8], 人们对核子内部结构的认识取得了巨大进步。尽管如此, 对于核子内部结构的研究仍然有许多根本性的、具有挑战性的问题有待解决。

极化的电子离子对撞机 (Electron Ion Collider, EIC)^[9]是研究核子结构和强相互作用的“具有超高分辨率的立体电子显微镜”, 是能深化人们对核子结构和强相互作用的认识, 又能揭示非微扰能区的强相互作用性质的强大工具。在 EIC 装置中, 电子可以视为微小的探针对离子的内部结构进行扫描。

中国极化电子离子对撞机 (Electron ion collider in China, EicC) 项目, 由中国科学院近代物理研究所提议建造, 设想在已开建的强流重离子加速器装置 (High Intensity Heavy-ion Accelerator Facility, HIAF)^[10]高能离子束的基础上进行升级: 将离子束流升级成 15~20

GeV 的极化束流, 建设 3~5 GeV 的高能极化电子束流。EicC 能量定在海夸克贡献最大的区域, 它既是研究核子三维结构和质量起源的良好能区, 也是连接现有的轻子散射实验和未来国际上高能 EIC^[9]实验的重要能区。EicC 装置总体布局如图 1 所示, EicC 将提供质心系能量范围为 10~20 GeV 的双极化束流, 对应运动学变量 x 范围在 0.004~1 之间; 亮度为 $(2\sim4)\times 10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$; 质子极化率约 70%, 电子极化率约 80%; 除质子束流之后, EicC 还可以提供其它重离子束流, 建成后将是世界上在该能区运行的唯一电子离子对撞装置。

2 EicC 主要物理目标

在标准模型中, 核子由夸克和胶子构成, 而把夸克和胶子束缚在一起形成核子的相互作用是由量子色动力学 (QCD) 描述。QCD 作为非阿贝尔规范理论, 具有短距离下渐进自由和长距离下色禁闭的特性。对核子内部结构的研究处于典型的低能量、长距离区域, 是研究色禁闭的理想实验室。但是由于在该区域非微扰求解的困难和实验条件的限制, 我们对核子内部结构和 QCD 色禁闭的性质仍然缺乏深刻的理解。EicC 作为海夸克能

收稿日期: 2019-12-30; 修改日期: 2020-06-16

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) (XDB34030301)

作者简介: 祁康辉 (1993-), 男, 山西临汾人, 在读硕士, 从事核子结构实验研究; E-mail: qikanghui@impcas.ac.cn

† 通信作者: 梁羽铁, E-mail: liangyt@impcas.ac.cn.

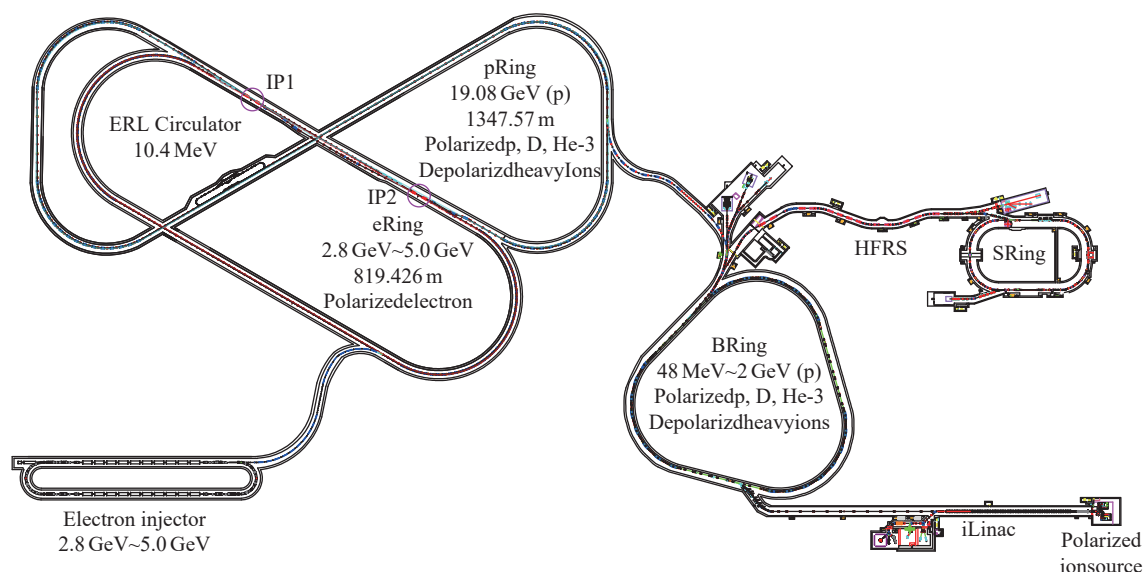


图 1 (在线彩图)EicC 装置总体布局

区的极化电子离子对撞机装置, 将对核子内部结构展开精细测量, 其主要研究内容包括以下几个方面:

- 核子的部分子结构和三维成像;
- 原子核的部分子结构;
- 强子和奇特强子态。

EicC 高亮度的特点, 可以在上述三方面的研究中提供高精度测量。为支持以上物理研究, EicC 需建造大覆盖范围、高性能的探测谱仪。

3 EicC 探测需求

在 EicC 束流能量中心值下 (3.5 GeV 电子、20 GeV 质子), 其质心系能量为 16.7 GeV, 电子质子对撞反应总截面约为 $20.8 \mu\text{b}$ 。在设计亮度 $L = (2 \sim 4) \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时, EicC 预期总事例率约为 $(41.6 \sim 83.2) \times 10^3$ 个/s。通过 Pythia6 模拟^[11], 我们研究了 EicC 在该能量下反应末态粒子的空间分布以及事例多重数。图 2 所示为对撞末态粒子的空间分布: 带电末态 (红色圆形)、中性末态 (蓝色方形)、以及所有末态粒子 (黑色三角形) 在不同赝快度空间的粒子多重数以及产率分布。其中赝快度的定义是在以电子束流反方向为 z 轴正方向的坐标系中。在赝快度空间, 末态粒子聚集的峰值在 η 约为 1 附近, (单位赝快度空间每秒径迹数约 40 000 ~ 80 000), 单事例平均带电径迹和中性径迹数均低于 10。从事例率和多重数上看, EicC 探测器及数据获取系统面临的压力适中。

对于电子离子散射, 其末态散射电子的能量、赝快度、非弹性度等参数在 $x - Q^2$ 二维空间内的分布反映

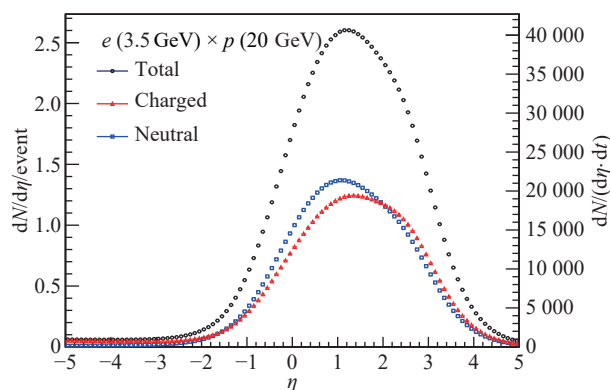


图 2 (在线彩图) 不同赝快度空间的末态粒子多重数分布 其中红色 (三角形) 直方图为带电径迹分布, 蓝色 (方形) 为中性径迹, 黑色 (圆形) 为带电与中性径迹之和。

了散射电子的运动学特征。其中, x 为比约肯变量 Q^2 对应于电子的四动量转移, 反映了虚光子的虚度。如图 3 所示, 红线为散射电子的能量等势线, 由 $x=0.175$ 的竖直线将两侧分开。 $x=0.175$ 竖直线对应于被撞击部分子携带动量为 3.5 GeV 的情形, 动量 3.5 GeV 的电子与相同动量的部分子弹性碰撞, 散射电子的方向不确定, 但其动量大小始终为 3.5 GeV, 这是竖直线的意义。在 x 较大的区间 (如 $x > 0.5$), 部分子携带动量较大, 散射电子有被反弹获取很高能量的可能性, 在图中对应于右上角的散射电子能量很高的等势线。同时这部分区域, 自然会有较大的 Q^2 值。在 x 较小的区域 (如 $x < 0.005$), 被撞击部分子携带极少动量, 电子将不会有很大的四动量变化, 对应的 Q^2 也将偏小。以上是散射电子的能量等势线特征解析。对于散射电子的赝快度等势线, 如图中蓝线所示。在 Q^2 很小时 (如 $Q^2 <$

0.01 GeV²), 对应于极小的电子四动量转移, 此时散射电子基本与初态电子束流相近, 因此其赝快度很小。

以上特征分析对于探测器的设计提供了一定的直观信息。

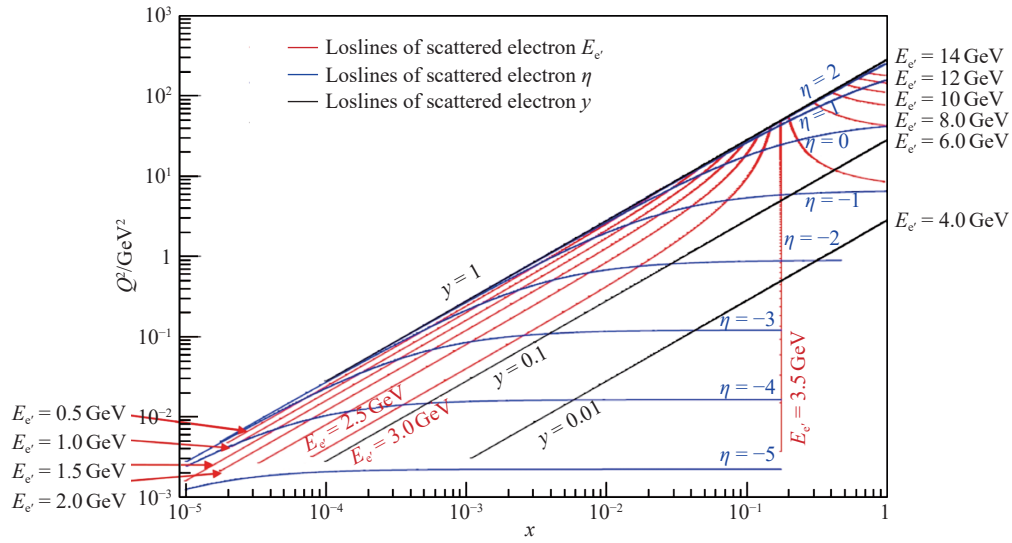


图3 (在线彩图) 散射电子等势线分布

红色为散射电子能量等势线、蓝色为散射电子赝快度等势线、黑色为非弹性度等势线。

图4为Pythia模拟散射电子出射角度 θ 对 Q^2 的分布。图中颜色反映了产额, 颜色坐标如图右侧 y 轴所示, 红色区域对应于高产额。散射电子多数聚集在 θ 接近180°的区域, 这部分区域对应的 Q^2 很小, 物理图像为入射电子与离子仅交换很小部分能量, 电子被散射后动量改变很小, 出射方向非常接近原入射电子束流。这种 Q^2 很小的情况, 展示了对于小 Q^2 有要求的物理课题的探测需求。而对于其它 Q^2 区间对应的散射电子分布如图5所示, 图中颜色代表产额, 每个bin离中心的距离反映了动量大小, 动量坐标轴如图中从中心处向上的红色坐标轴所示; 每个bin的角度 θ 对应于散射电子的出射角度 θ , 角度坐标展示为图中下方半圆所示的赝快度坐标。图5(a)为 $1 < Q^2 < 2 \text{ GeV}^2$, 图5(b)为 $3 < Q^2 < 5 \text{ GeV}^2$, 图5(c)为 $7 < Q^2 < 10 \text{ GeV}^2$, 图5(d)为 $Q^2 > 30 \text{ GeV}^2$ 。从图5可以看出, 在 $Q^2 > 1 \text{ GeV}^2$ 时, 散射

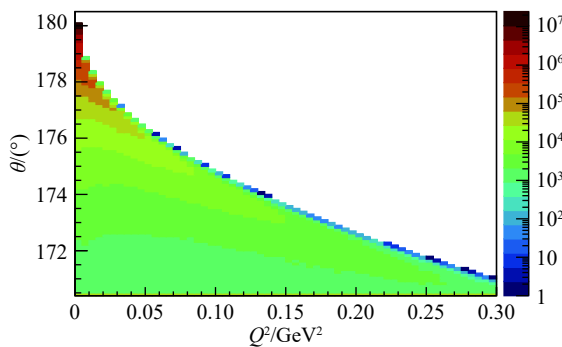
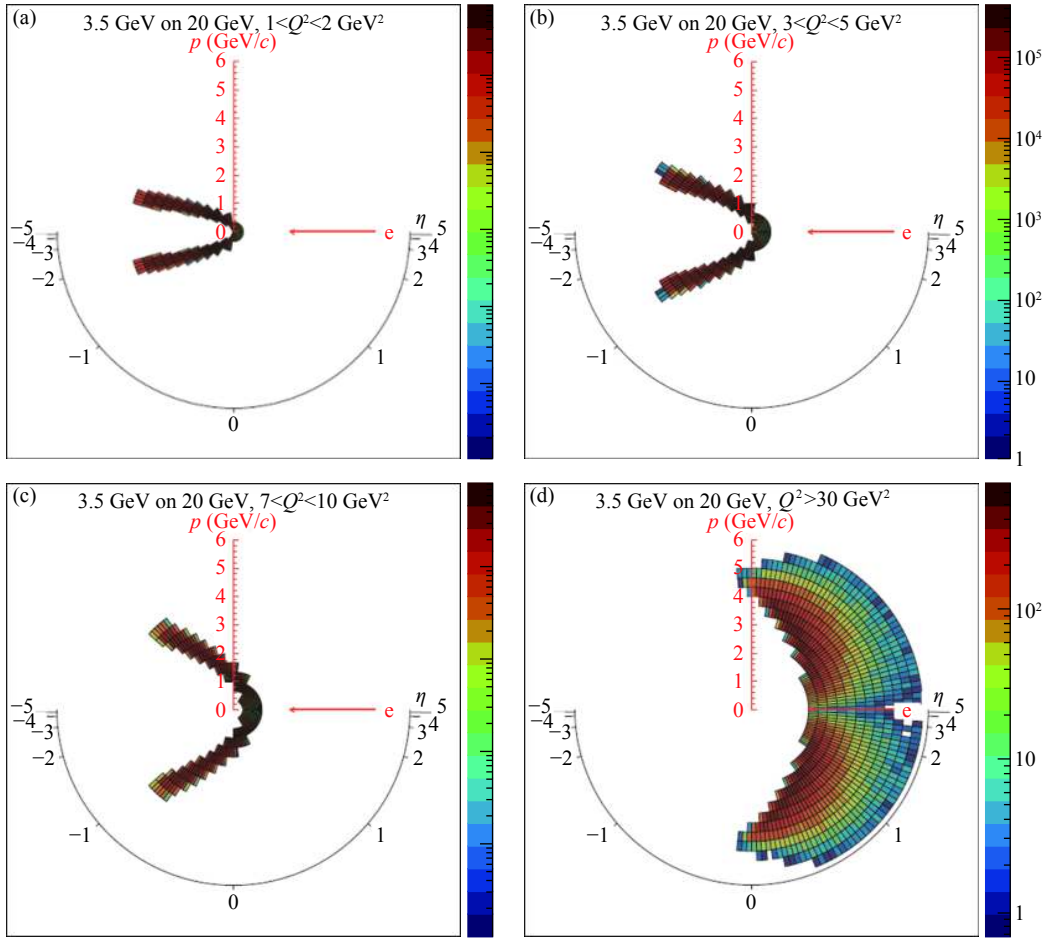


图4 (在线彩图) Pythia模拟的散射电子出射方向 θ 对 Q^2 分布

电子的赝快度大于-2; 随着 Q^2 增大, 散射电子的出射张角变大。该研究反映了对于要求 $Q^2 > 1 \text{ GeV}^2$ 的物理过程对散射电子的探测需求。

除了散射电子, 其他末态粒子的探测对EicC的众多物理课题有重要意义。如在半单举深度非弹 (Semi-Inclusive Deep Inelastic Scattering, SIDIS) 过程的研究中, 对不同末态强子的探测是提取并区分不同味道夸克横动量依赖部分子分布函数 (Transvers Momentum Dependent PDFs, TMD) 的有效途径。图6所示为Pythia6模拟反应末态在赝快度区间 $2 < \eta < 3$ 的分布。其中红色为 π^- 粒子, 绿色为 K^- 粒子, 蓝色为反质子, 灰色为质子, 黑色为电子, 灰色为光子。由此图可以看出, 对于强子末态, 其中 π^- 粒子产额最大, 比 K^- , p 粒子高1~2个数量级。在赝快度 $\eta < 1$ 时, 强子末态动量低于6 GeV/c; 在赝快度较大时 (如 $\eta > 2$ 时) 强子末态动量可能高达15 GeV/c。对于末态强子的探测与鉴别, 需要在不同赝快度空间根据不同的动量范围分别考虑。

以上是通过Pythia模拟宽泛地研究末态产物的运动学分布。对于EicC的重要物理过程, 如SIDIS过程、深度虚康普顿散射 (Deeply Virtual Compton Scattering, DVCS) 过程、奇特强子态研究等, 其末态分布对于探测器的设计有直接指导意义。以SIDIS过程为例, 在该过程中对末态散射电子以及末态强子的探测, 要求探测器在中心区域有大的覆盖范围、好的动量分辨和粒子鉴别能力。而DVCS过程则在质子束流前向区域提

图 5 (在线彩图)Pythia 模拟在不同 Q^2 区间的散射电子分布

(a) 为 $1 < Q^2 < 2 \text{ GeV}^2$; (b) 为 $3 < Q^2 < 5 \text{ GeV}^2$; (c) 为 $7 < Q^2 < 10 \text{ GeV}^2$; (d) 为 $Q^2 > 30 \text{ GeV}^2$ 。

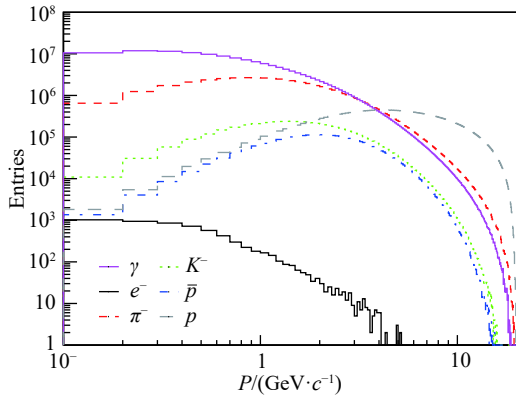


图 6 (在线彩图)不同末态粒子, e^- (黑色)、 γ (紫色)、 π^- 介子(红色)、 K^- 介子(绿色)、 $\bar{p}$ 为反质子(蓝色)、质子(灰色), 在赝快度空间 $2 < \eta < 3$ 的动量分布

出对于大动量、极小角度散射质子的探测要求(具体细节不再展示)。图 7 所示为 SIDIS 过程 $ep \rightarrow e\pi X$ 末态散射电子图(a)和 π 图(b)动量与角分布。在 SIDIS 过程模拟中, 为满足深度非弹特性, 要求了 $Q^2 > 1 \text{ GeV}^2$ 的条件。从图中可以看出, 该过程对于末态散射电子图(a)的角度覆盖要求在 $30^\circ \sim 165^\circ$ 。而对于 π 介子图(b),

当 $\theta_\pi > 120^\circ$ 时, 投影在 y 轴上 π 介子的动量低于 $4 \text{ GeV}/c$; 当 $60^\circ < \theta_\pi < 120^\circ$ 时, 投影在 y 轴上 π 介子的动量低于 $6 \text{ GeV}/c$; 当 $5^\circ < \theta_\pi < 60^\circ$ 时, 投影在 y 轴上 π 介子的动量可高达 $17 \text{ GeV}/c$ 。该过程在不同区域面对不同动量范围的末态强子, 与前述 pythia 模拟结果一致。由 SIDIS 过程模拟的其他强子末态, 如 K 介子等, 与 π 介子结果相似, 不再详细介绍。对 SIDIS 过程的探测, 定义了电子离子对撞实验的最核心、最基本的中心区域的探测需求。对于 DVCS 过程, 模拟研究显示其对离子束流前冲方向提出极高的散射质子的探测需求。对于奇特强子态研究, 如 $Z_c(3900)$ 、 $Z_c(4430)$ 、隐粲五夸克态、隐底五夸克态等研究^[12-13], 也展示出对探测器的不同要求, 这里不再详细展开。

以上模拟选用的是 3.5 GeV 的电子束流与 20 GeV 的质子束流对撞, 质心系能量为 16.7 GeV 。EicC 的电子束流和质子束流能量均有可调范围, 研究发现在其他能量下的模拟结果略有差异。我们以质心能量为 16.7 GeV 的模拟结果为参考进行探测器设计、优化, 同时在探测器设计中覆盖其他能量下的探测需求。

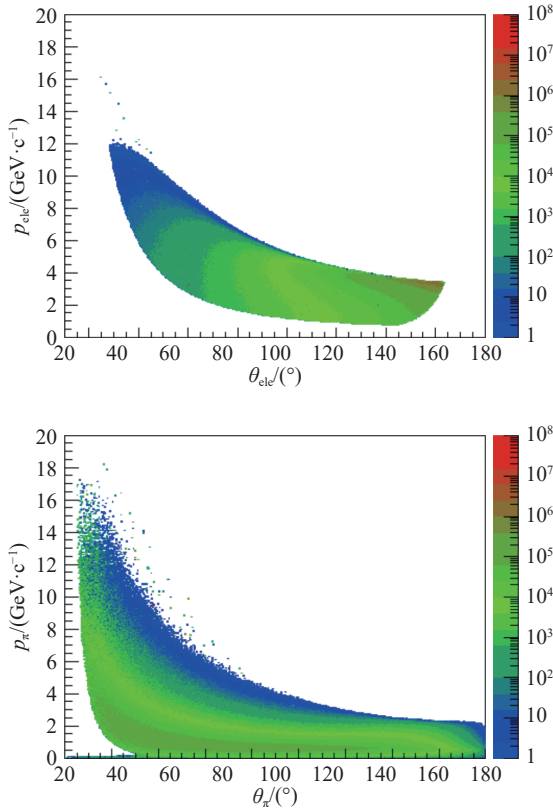


图7 (在线彩图)SIDIS过程 $ep \rightarrow e\pi X$ 末态散射电子(a)和 π (b)动量与角分布

4 探测器快模拟软件开发

在粒子物理与核物理实验中，探测器模拟起到极其重要的作用。在实验初期，需要通过探测器模拟来优化探测器设计，由实验物理目标确定支撑该目标的探测器配置。在实验运行期间，需要通过探测器模拟作为参考，由从模拟软件提取的探测效率、误差等关键信息将获取的真实数据转换为物理结果。在探测器全模拟中广泛应用的模拟引擎如Geant4^[14]等，通过已知的粒子与物质的相互作用数据，用Monte-Carlo方法逐步(step)模拟粒子在探测器中的输运过程。全模拟首先从探测器的详细几何描述入手，加入磁场信息，由Geant4等模拟引擎逐步模拟粒子在各个探测器中的响应，再经过数字化过程，最终输出与真实数据格式一致的模拟数据。该过程对探测器的处理细节繁杂、耗时耗力，并不适用于实验初期探测器种类、几何未定的情况。作为一个快速的方案，参数化的探测器快模拟是现阶段更合适的选择。探测器快模拟，放弃了全模拟中最耗时的输运过程模拟，采用参数化的方法快速模拟粒子在探测器内的响应。探测器的参数作为快模拟的输入，如寻迹探测器的内径、外径、探测层数、单层探测的空间分辨、 z 向边界范围、探测效率等。模拟过程中，由入射粒子的信息结合所处

位置的探测器信息计算得出该入射粒子的可能探测器观测值。下面我们以径迹探测器为例介绍EicC探测器快模拟软件的开发。

对于径迹探测器，其探测性能可以脱离径迹探测器的类型，由参数化方法进行处理。如径迹探测器的动量分辨可以用式(1)参数化：

$$\left(\frac{\sigma_p}{p}\right)^2 = \left(\sqrt{\frac{720}{N+4}} \frac{\sigma_{r\phi} p \sin \theta}{0.3BL^2}\right)^2 + \left(\frac{52.3 \times 10^{-3}}{\beta B \sqrt{LX_0 \sin \theta}}\right)^2 + (\cot \theta \sigma_\theta)^2, \quad (1)$$

其中：等式右侧第一项对应于 p_t 项；第二项对应于多次散射效应；第三项对应于 θ 项。 p 为带电粒子动量大小， $\beta = v/c$ ， B 为磁场大小， L 为径迹探测区域径向距离， N 为径迹探测区域内探测层数， X_0 对应于辐射长度， $\sigma_{r\phi}$ 为探测单元 $r\phi$ 向分辨率， σ_θ 为探测单元 θ 向分辨率。

图8以径迹探测器的两个参数作为示例展示了动量分辨率对于磁场强度和探测单元层数的依赖关系。EicC快模拟软件在FairROOT框架下^[15]进行开发，现有对顶点探测器、径迹探测器、飞行时间探测器、切伦科夫探测器、电磁量能器的参数化快模拟功能。

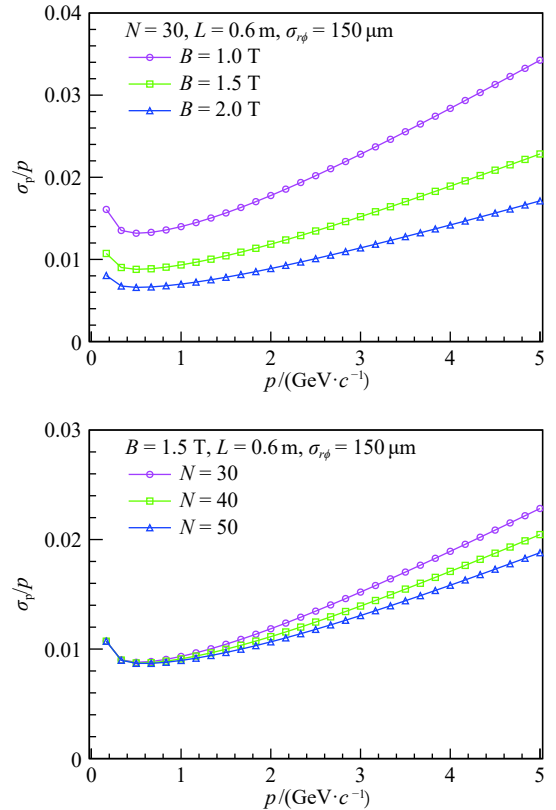


图8 (在线彩图)径迹探测器动量分辨参数化研究
纵轴为动量分辨率，横轴为动量大小。(a)为动量分辨率对磁场的依赖关系，(b)为动量分辨率对探测单元层数的依赖关系。

5 探测谱仪概念设计

综合 EicC 各物理模拟的研究, 我们可以将 EicC 的探测需求分区间讨论, 包括中心区域和前向区域。中心区域作为探测主体, 需要在大覆盖范围内提供好的动量测量、散射电子的能量测量、强子末态的粒子鉴别等功能, 除此之外, 还需要考虑在极小角度探测散射质子等。EicC 高亮度、高统计量测量对应的低统计误差, 需要与之匹配的低系统误差, 进而需要配置高精度的探测器。

EicC 探测器的设计将在物理需求的指导下通过探测器模拟进行多次迭代。作为初步的概念设计, EicC 探测器将由中心探测器和前向探测器组成。中心探测器围绕螺线管超导磁铁构建, 分为桶部及两侧端盖部分。其概念设计图见图 9。中心探测器从功能上主要由以下四个探测部分组成:

(1) 用于测量对撞顶点以及次级顶点的顶点探测器, 可选用在多个实验中成熟应用的基于 MAPS、DEPFET 等技术的顶点探测器。

(2) 用于测量带电粒子动量的径迹探测器, 如时间投影室 (TPC)、气体电子倍增器 (GEM)、稻草管探测器、漂移室等; 径迹探测器通过测量带电粒子在磁场中的偏转大小计算出带电粒子的动量信息, 是在粒子物理

与核物理实验中至关重要的探测器。对于 EicC 高统计量高精度的测量, 需要径迹探测器提供好的动量分辨率, 同时径迹探测器的能量沉积信息 (dE/dx) 对于提供低动量带电粒子的粒子鉴别能力也有重要意义。

(3) 用于粒子鉴别的飞行时间探测器和切伦科夫探测器; 通过高时间分辨的飞行时间探测器配合切伦科夫探测器实现大动量范围内的 π/K 鉴别能力, 对 EicC 的重要物理目标, 例如通过 SIDIS 过程提取 TMD 信息有重要意义。在电子前冲方向以及中央区域, 末态强子动量偏低 (低于 $6 \text{ GeV}/c$), 折射系数大的切伦科夫探测器 (如 DIRC) 可以满足要求; 在离子前冲方向, 末态强子动量较高 (高达 $15 \sim 17 \text{ GeV}/c$), 需配置折射系数小的切伦科夫探测器 (如气凝胶材质) 才能达到此高动量下的 π/K 鉴别。

(4) 用于测量电子、光子和强子能量的电磁量能器以及强子量能器。EicC 对于末态散射电子、光子的测量要求在大覆盖范围配置电磁量能器, 但是对于电磁量能器的性能要求需在不同区域分别对待。在电子前冲方向的小角度区域, 内部径迹探测器探测能力降低, 需要配置高能量分辨的电磁量能器; 其他区域可以配置分辨率稍差的电磁量能器。

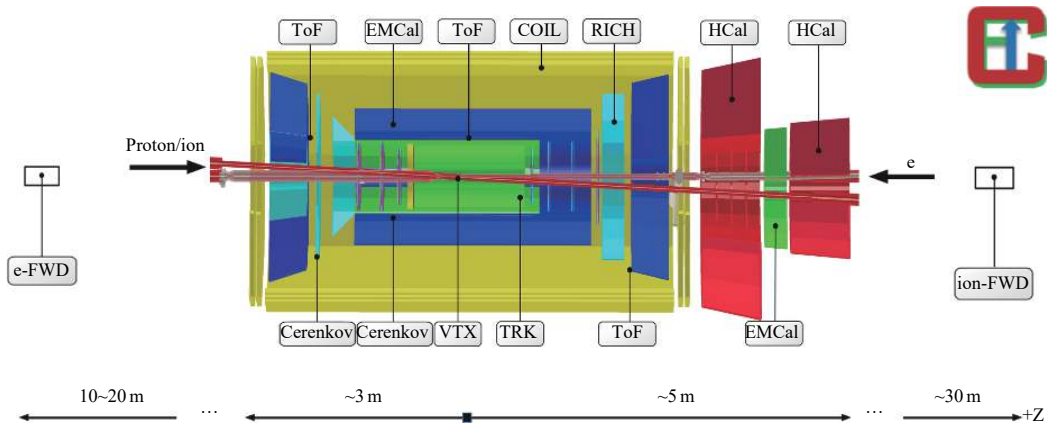


图 9 (在线彩图) EicC 探测器中心部分概念设计图

探测器概念设计对于以上主要探测功能以及性能需求做了总结, 但对于具体探测器方案的选取尚未定型。如对于电磁量能器有多种方案可供选择: 晶体电磁量能器, Shashlyk 型抽样电磁量能器, SPACAL 型抽样电磁量能器等。对于径迹探测器, 除了上述列举的传统的径迹探测器, 也可以考虑新型的全硅径迹探测器。

从探测器概念设计出发, 由探测器模拟反馈逐步提出 EicC 各个子探测器的细节要求。如对散射电子的探测要求建议在不同赝快度 (η) 空间采用不同能量分辨的量能器, 如在电子前冲方向靠近束流管的端盖部分采用

能量分辨高的晶体量能器, 其它部分采用能量分辨稍低的抽样型量能器。对强子的探测鉴别也需在不同 η 范围考虑不同探测技术, 如在离子束流前冲一侧 ($1 < \eta < 4$), 末态强子前冲动量较大 (可高达 $\sim 15 \text{ GeV}/c$), 而其它部分 ($-3 < \eta < 1$) 末态强子动量较低 ($< 5 \text{ GeV}/c$)。在不同的动量范围内有效区分 $\pi/K/p$ 粒子, 对粒子鉴别技术等选取显然也会不同。

除了中心探测器, EicC 需研究在小角度安装前向探测器的必要性。如在强子束流前冲方向极小角度对散射质子提供探测将对 DVCS 过程的测量提供帮助。在

强子束流前冲方向对中子末态提供探测也有重要意义。另外, EicC 作为极化的电子离子对撞机, 对电子、离子束流极化的测量也是探测器中的重要部分。对极小角度的前向探测器设计将综合考虑物理需求与加速器束流情况逐步开展。

6 结论

EicC 配以高亮度电子-离子加速器和高精度的探测装置, 能完成核子结构等一系列重要的实验精确测量。为实现 EicC 的重要物理目标, 需要建造接近全立体角覆盖的大型综合谱仪, 对反应末态粒子的动量、能量、粒子种类等信息进行全面测量。本文利用 pythia 模拟研究了反应末态的运动学分布, 并通过物理模拟研究了 EicC 探测需求, 由探测需求进而做出 EicC 探测谱仪概念设计。

作为大型综合谱仪, EicC 探测器将面临诸多难题和挑战, 因此在项目筹备阶段, 我们将逐步开展探测器预研装置的建设工作(R&D): 如切伦科夫探测器各种探测技术的性能对比、选取、样机制造与测试; 各种常用以及新型径迹探测器在 EicC 能区及亮度下的性能研究、技术选择; 电磁量能器以及强子量能器的性能研究、技术选择、样机测试验证; 大型超导磁铁的制造等; 数据获取系统、计算存储系统等研究。我们将通过对关键探测器的预研, 解决未来 EicC 正式建设时技术上的难题。

参考文献:

- [1] COLLINS J, SOPER D. Nucl Phys B, 1981, 193: 381;[Erratum: Nucl Phys B, 1983, 213: 545]
- [2] COLLINS J, SOPER D. Nucl Phys B, 1982, 194: 445.
- [3] MUELLER D, ROBASCHIK D, GEYER B, et al. Fortsch Phys, 1994, 42: 101.
- [4] JI X D. Phys Rev D, 1994, 55: 7114.
- [5] RADYUSHKIN A. Phys Rev D, 1994, 56: 5524.
- [6] AIRAPETIAN A, AKOPOV N, AKOPOV Z, et al(The HERMES Collaboration). Phys Rev Lett, 1994, 94: 012002.
- [7] AGEEV E, ALEXAKHIN V, ALEXANDROV Y, et al (The COMPASS Collaboration). Nucl Phys B, 2007, 765: 31.
- [8] QIAN X, ALLADA K, DUTTA C, et al (Jefferson Lab Hall A Collaboration). Phys Rev Lett, 2007, 107: 072003.
- [9] ACCARDI A, ALBACETE J, ANSELMINO M, et al. Eur Phys J A, 2016, 52(9): 268.
- [10] YANG J C, XIA J W, XIAO G Q, et al. Nucl Instr and Meth B, 2013, 317: 263.
- [11] SJOESTRAND T, EDEN P, FRIBERG C, et al. Comput Phys Commun, 2001, 135: 238.
- [12] KLEIN S, XIE Y P. Phys Rev C, 2019, 100: 024620.
- [13] CAO X, GUO F K, LIANG Y T, et al. Phys Rev D, 2020, 101: 074010.
- [14] AGOSTINELLI S, ALLISON J, AMAKO K, et al. Nucl Instr and Meth A, 2003, 506: 250.
- [15] ALTURANY M, KLEIN D, MANAFOV A, et al. Journal of Physics: Conference Series, 2012, 396: 022001.

Detector Design of the Polarized Electron Ion Collider in China

QI Kanghui^{1,2}, LIANG Yutie^{1,2,†}, WANG Rong^{1,2}, XIE Yaping^{1,2}, YANG Zhi^{1,2}, ZHAO Yuxiang^{1,2}

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

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Nucleon, the main building block to the visible matter in the universe, is an ideal laboratory to study the strong interaction. In the experimental study of nucleon structure, Electron Ion Collider(EIC) plays important role. EIC is a super electron-microscope being able to take clear image of the inner structure of the nucleon, and hence is an effective tool to gain insights into the fundamental constituents of matter, *e.g.*, especially the structures of the nucleon and nuclei. The Electron-ion collider in China(EicC) project is proposed based on the HIAF facility by promoting its ion beam to an energy around 15~25 GeV, which is then enforced to collide with an electron beam of 3~5 GeV. Both beams are polarized and their center-of-mass energy is 10~20 GeV. The main physics motivations include the precision measurements to the nucleon internal structure in the sea-quark region, and the promotion of our understanding of the origin of proton spin and mass, the study of exotic states, *etc.* In the paper, a fast simulation package based on parametrisation is developed for EicC. With the simulation package, one EicC detector conceptual design is proposed based on the various physics simulations.

Key words: EicC; QCD; nucleon structure; exotic state

Received date: 30 Dec. 2019; Revised date: 16 Jun. 2020

Foundation item: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences(XDB34030301)

† Corresponding author: LIANG Yutie, E-mail: liangyt@impcas.ac.cn.