科学通报 2017 年 第 62 卷 第 12 期: 1226 ~ 1232
香山科学会议 专栏 评 述
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS
第533次学术讨论会 • 2~7 GeV高亮度正负电子加速器上的物理、应用及其关键技术

2~7 GeV 高亮度正负电子对撞机的物理研究

黄光顺[1], 李澄[1], 李海波[2], 刘建北[1], 罗箐[1], 马建平[3], 彭海平[1*], 邵明[1], 沈肖雁[2], 苑长征[2], 张肇西[3], 赵光达[4], 赵政国[1], 郑阳恒[5], 朱世琳[4], 朱守华[4]

1. 中国科学技术大学物理学院, 合肥 230026;
2. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049;
3. 中国科学院理论物理研究所, 北京 100190;
4. 北京大学物理学院, 北京 100871;
5. 中国科学院大学, 北京 100049

* 联系人, E-mail: penghp@ustc.edu.cn

2016-05-26 收稿, 2016-07-19 修回, 2016-07-19 接受, 2017-03-07 网络版发表
中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)(KFJ-EW-STS-074)、中国科学院战略性先导科技专项(B 类)(XDB03030100)、国家自然科学基金重大项目(41190081)和“第三极环境(TPE)”国际计划资助

摘要 经过几十年的实验检验, 标准模型被认为是描述自然界微观世界最成功的理论模型. 特别是随着2012年Higgs粒子的发现, 标志着人类对物质微观世界的认识达到了空前的高度. 尽管如此, 仍存在一系列标准模型不能解决的基本问题, 如暗物质和暗能量的本质、宇宙正反物质的不对称、夸克和轻子的分代和引力作用的描述等. 另外, 作为标准模型的两个组成部分之一, 量子色动力学在高能量区得到了实验的精确检验, 但是在低能区仍存在许多重大的科学问题, 亟待实验和理论进一步发展和完善. 因此, 我们亟待进行超出现有水平的实验来更深入地探索微观物质结构, 揭示微观世界的更多奥秘. 本文阐述在τ-粲能区有待解决的重大前沿科学问题, 以及在中国建设新一代的2~7 GeV能区高亮度(0.5×10^{35}~1.0×10^{35} cm^{-2} s^{-1})正负电子加速器的可行性和必要性.

关键词 正负电子对撞机, 高亮度, τ-粲物理

粒子物理学(也称高能物理学)是研究比原子核更深层次物质的基本构成、相互作用以及自然界最基本规律的学科. 加速器物理实验是当前人类研究微观世界最有效的途径之一. 当今的加速器物理实验可以分为两个前沿: 一是高能量前沿, 即在更高能量上检验标准模型和寻找超越标准模型的新物理, 该类实验有正在运行的大型强子对撞机(LHC)实验[1]以及未来可能建造的其他高能量的加速器, 比如国际直线对撞(ILC)实验[2]等; 二是高亮度前沿, 即在一定能区, 特别是重味物理能区, 利用极高的亮度, 积累大量的数据, 进行高精度测量, 检验标准模型并寻找新物理, 该类实验有正在运行的北京正负电子对撞机(BEPCII)/北京谱仪(BESIII)实验[3]、即将运行的super-KEKB实验[4]以及未来可能建造的τ-粲工厂实验. 两个不同前沿科学研究各有特色, 互为补充, 携手探索微观世界的奥秘.

自2009年开始运行以来, BEPCII已经成功地达到其设计亮度1.0×10^{33} cm^{-2} s^{-1}. BESIII实验也在轻强子谱、粲偶素、粲物理和低能区量子色动力学(QCD)研究以及新物理的寻找等方面都取得了重要成果, 发表了一系列高质量有影响力的学术论文, 受到了国际高能物理学界的瞩目. BEPCII/BESIII的成功使得我国在τ-粲物理和强子物理的研究中居于国际领先地位. 建造新一代2~7 GeV能区高亮度(0.5×

引用格式: 黄光顺, 李澄, 李海波, 等. 2~7 GeV 高亮度正负电子对撞机的物理研究. 科学通报, 2017, 62: 1226–1232
Huang G S, Li C, Li H B, et al. Physics on the high intensive electron position accelerator at 2–7 GeV (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 1226–1232, doi: 10.1360/N972016-00398

© 2017《中国科学》杂志社

10^{35}~1.0×10^{35} cm^{-2} s^{-1})正负电子加速器(High Intensive Electron Position Accelerator, HIEPA)将为在τ-粲能区更深入地进行物理研究，取得更显著的成果提供重要基地，必将进一步加强我国在该领域研究的领导地位.

1 在中国建造高亮度τ-粲工厂的必要性和可行性

量子色动力学(QCD)是描述自然界的强相互作用的基本理论. 在高能下的QCD理论接受了实验的精确检验. 而在低能区，QCD理论仍有待进一步完善和实验检验，尤其是有许多重大的科学问题亟待实验和理论共同回答，如夸克如何构成粒子，以及是否存在超出普通夸克模型的新型粒子. 另外，目前高能量前沿LHC实验在TeV能区尚未观测到任何超出标准模型的新物理迹象. 因此，我们十分有必要考虑在高亮度前沿进行高精度测量，间接寻找新物理存在的迹象. 高亮度前沿的加速器粒子物理实验能够产生更多的物理事例，从而减少统计误差，可使一些稀有产生事例变得可观察. 同时加速器、探测器的精度大大提高，减少了系统误差，从而提供了精密的测量及稀有事例发现的可能. 作BEPCII/BESIII之后的新一代高亮度τ-粲工厂——HIEPA将肩负着在低能区检验QCD理论和间接寻找新物理的重要使命.

相对于其他的能区，τ-粲能区具有一些非常独特的物理特征，如该能区处于微扰和非微扰QCD的过渡区域；该能区除了存在大量的普通强子态(粲偶素，粲介子等)外，预期还存在丰富的新型强子态(胶子球、混杂态等)；该能区的强子态可以在质量阈值处直接产生或成对产生，为强子态的研究提供了干净的环境. 因此τ-粲能区具有非常丰富的物理课题，被认为是研究强子物理和寻找新物理的重要场所. 虽然经过了包括北京谱仪在内的多个实验约半个世纪的实验探索，由于受实验的质心能量和亮度的限制，这一能区仍存在一系列重大和根本的科学问题亟待解决，如奇特强子态的寻找和确认、CKM矩阵元的高精度测量等. 因此，粒子物理的发展要求有一台宽质心能量范围、极高亮度的正负电子加速器，即新一代τ-粲工厂，来解决这一系列重大科学问题.

回顾历史，20世纪80年代建造北京正负电子对撞机是中国高能物理研究的正确选择. 经过几代人的奋斗，北京正负电子对撞机及北京谱仪实验经历了从建造到升级的过程，取得了一系列令世人瞩目的研究成果，如τ轻子质量精确测量[5]、R值的精确测量[6]、X(1835)[7]和Z_c(3900)[8]等新粒子的发现等，使得中国在粒子物理研究领域从占有一席之地走向了世界前列，并引领国际τ-粲物理和强子物理的研究. 北京正负电子对撞机和北京谱仪的成功建造培养并壮大了我国的大科学工程队伍，为我国其他大科学工程(如大亚湾中微子实验[9])的建设奠定了坚实的基础，同时还极大地推动了中国相关高新技术的发展并培养了大批高科技人才以及高等教育人才.

在国际上，新一代τ-粲工厂的建设有很多的讨论和呼声. 位于俄罗斯新西伯利亚的Budker核物理研究所已经为高亮度τ-粲工厂做了完整的预研究工作[10]. 意大利国家核物理学会Frascati实验室在super B项目终止后，对高亮度τ-粲工厂项目进行了长时间讨论，并开展了一系列相关的预研究工作[1)]. 由于种种原因，以上项目的建设都没有实质性的进展，但预研结果表明，高亮度τ-粲工厂项目有重大的科学意义，在技术上具有可行性.

经过几十年的发展和储备，中国在τ-粲物理领域已拥有非常成熟的队伍和相关的实验技术，应当有与大国地位相称的高能加速器和相关科学前沿的粒子物理实验，以掌握最先进的技术和方法，在重大科学前沿问题的研究中取得突破. 同时，作为全球合作、多学科和多技术综合的科学研究，加速器粒子物理实验的研究水平反映了一个国家甚至人类的经济、科学技术和教育的综合实力. 由该领域发展出来的最前沿的高新技术、方法和设备极大推动了其他学科的发展，并在国家安全、能源、医疗、信息领域等有广泛的应用. 因此，应该加大力度开展BEPCII/BESIII之后的加速器物理的研究工作，同时建议在中国建造新一代高亮度的正负电子加速器(HIEPA)，其质心系能量为2~7 GeV，亮度大于5×10^{34} cm^{-2} s^{-1}，且要求单束极化电子束. 这一装置将为我国提供新一代一机多用的综合大装置平台，与新一代粒子探测器结合成为粒子物理研究的高精度前沿，继续在τ-粲领域

1) Workshop on Tau-Charm at High Luminosity, https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=6193

的高能物理研究中引领世界约15年; 同时可以作为一台性能较好的第三代同步辐射光源, 为中低能区的用户提供多学科研究平台.

2 2~7 GeV能区物理亮点

τ-粲能区处于微扰与非微扰QCD的过渡区域, 可以产生丰富的粲偶素共振态、阈值附近低本底的τ轻子对和粲介子对、以及丰富的奇特强子态是强子物理研究和新物理寻找的重要场所. 与此相应, 新一代τ-粲工厂的物理研究内容十分丰富, 涵盖了粲偶素和类粲偶素(也称XYZ粒子)的研究、粲介子和τ轻子的精确测量、非共振态区域强子产生研究以及超出标准模型新物理现象的寻找等.

(ⅰ) 粲偶素与类粲偶素物理. 手征对称性的自发破缺与色禁闭这两个难题与QCD真空性质密切相关, 被称为21世纪十个最重大的科学问题之一. 粲偶素和类粲偶素谱学的研究将有助于这两大难题的解决, 在QCD的研究中起至关重要的作用.

在粲偶素谱方面, 夸克模型预言的所有低质量粲偶素都在实验上得到精确确认, 但在高质量区域, 仍有一系列粲偶素尚未找到. 另一方面, 最近十年在实验中发现了一系列质量高于粲介子对质量阈的强子态, 如X(3872), Y(4260)等, 特别是带有电荷的粒子, 如Z_c(3900), Z_c(4020)等[11]. 这些新的强子态包含正反粲夸克对, 但具有一系列不同于粲偶素的性质. 在目前的实验条件下, 除了X(3872), Y(4260)等少数态, 大部分新发现的强子态的数据统计量还不足以做可靠的分波、相移、Argand图等细致分析. 因此, 我们目前对这些态内部结构的认识依然十分缺乏, 甚至还不能完全确认或排除这些XYZ信号是共振态还是各种末态相互作用的结果, 更不能对它们的性质以及是否存在其他类似的奇特态做定论. 在实验上寻找夸克模型预言的粲偶素, 研究XYZ态的性质以及寻找更多的奇特强子态将为理解粲夸克和反粲夸克之间的相互作用、新型奇特态的确认及QCD的检验等提供关键信息.

预期BESIII还可以积累20 fb^{-1}的数据用于(类)粲偶素的研究. 日本BelleII实验将于2018年开始采集数据, 其预期采集的50 ab^{-1}的γ(ns)数据将与BESIII上采集的30 fb^{-1}数据相当, 在X(3872), Y(4260), Z_c(3900)等的研究中获得与BESIII相当或略高的精度. 但BelleII在更高质量的粒子, 如Y(4660), Z_c(4485)等的研究中会有独特的优势. LHCb以及其他强子对撞实验也可以研究(类)粲偶素, 但本底很高, 不具备竞争力. 在BESIII及BelleII后期, 可以预见的结果有: X(3872), Y(4260), Z_c(3900)及类似粒子性质的揭示以及类似新奇特态的发现; 部分粲偶素1D, 2P态的研究和发现; 部分1F, 1D, 2P等粲偶素态的寻找和研究等. 但受统计量的限制, 预期对(类)粲偶素的整体认识仍有很大的局限性, 如缺乏完整的粲偶素能谱及其产生与衰变方式, 以及与QCD计算的精确对比; 奇特态能谱的确认与完善, 包括可能的四夸克态能谱、分子态能谱、粲偶素混杂态能谱等以及它们之间的产生与衰变关系. 要突破以上目标需要更宽的质心系能量(3~7 GeV)和更高统计量的数据, HIEPA是不二的选择.

(ⅱ) 粲介子和粲重子物理. 粲介子的衰变将为低能微扰QCD的研究、CKM矩阵元的精确测量和幺正性的检验、 $D\bar{D}$混合强度的测量和CP破坏的寻找等重大物理课题提供重要场所. 相对于LHCb和B工厂, HIEPA在数据统计量上明显处于劣势. 但是, 其在阈值附近采集大量的粲强子对数据具有一系列的独特性质, 如粲强子对量子关联性、CP标记技术、双标记事例重建、低本底等, 使得HIEPA在粲物理的研究中具有强有力的竞争优势.

BESIII实验已经在粲介子衰变及形状因子的测量、CKM矩阵元的测量、强相角的测量以及一些粲重子的衰变测量取得了国际上的最高精确的结果. 但是以上的测量即使在BESIII运行终结时, 统计误差仍将是主要的误差来源. HIEPA更高统计量的数据(如1 ab^{-1})能够极大地提高这些测量的精度. HIEPA更大的能量范围将为粲重子及相关的CP破坏的研究打开新的领域, 同时在HIEPA上可以开展如ψ(4040)阈上的粲介子混合与CP破坏参数测量, $D\to hh$直接CP破坏的测量等课题研究, 与升级后的LHCb和Belle II实验互补.

质心能量在2~7 GeV不仅可以研究高激发态粲偶素, 还可以研究粲重子对的产生和粲重子的衰变性质, 特别是根据Belle的测量, 在Λ_c对产生阈值上有明显的增长结构. Λ_c对的产生截面在4.63 GeV处最大, 在未来HIEPA上, 可以在阈值附近大量产生粲重子对, 相对其他实验, 阈值处有实验环境本低小, 重建效率高等优点. 我们不仅可以测量粲重子的绝对分支比, 还可以利用粲重子对的量子关联性质研究其CP破坏, 构造新的CP破坏观测量, 这将是HIEPA

上的独特实验测量. 同时在更高质心能量, 我们可以研究7 GeV以下其他含粲重子对的产生机制. 结合粲介子和粲重子的衰变, 期待HIEPA能够对粲夸克的衰变性质和CP破坏机制做深入研究

(ⅲ) τ轻子物理. τ轻子作为最重的轻子是检验标准模型和寻找新物理的重要场所. HIEPA可以获取大量的τ轻子对(约为Belle II统计量的1/3), 并具有低本底, 极化等特点, 使得HIEPA在τ轻子物理研究上与Belle II以及超级Z工厂等各具特色, 相互补充.

在HIEPA上精确测量τ轻子的质量以及τ轻子到第一、二代带电轻子的跃迁等可以检验轻子的普适性. τ轻子强子末态衰变的精确测量不仅可以检验轻子本身的性质、计算跑动耦合常数α_s、抽取V_{us}、研究轻强子谱学, 还可以利用矢量谱函数信息来精确计算μ轻子的反常磁矩(目前实验测量和理论计算的μ轻子反常磁矩相差3倍标准偏差), 结合HIEPA精确测量的R值可以检验μ轻子反常磁矩中可能的新物理. τ轻子的电偶极矩的测量也是检验标准模型的重要渠道, 非零的电偶极矩意味着CP破坏的存在. HIEPA能够得到比现有结果好3个数量级的电偶极矩实验测量结果. 在τ轻子的反常磁矩研究中, HIEPA能够达到与Belle II同样水平的测量精度. 标准模型预言τ轻子衰变的CP不对称性为零, 在HIEPA上利用极化的电子束流可以精确测量τ轻子衰变中的CP不对称性, 具有世界上同类实验最好的新物理探测敏感度.

(ⅳ) R值测量和QCD物理. R值(正负电子对撞产生强子总截面与μ子对产生截面的比值)是标准模型中最重要的输入参数之一. 高精度的R值测量在跑动耦合常数$\alpha(s)$的计算和μ子反常磁矩的检验中起关键作用. BESIII进行的R值测量可以将误差降低到3%, HIEPA实验预期能将这一误差降低到1%的水平. 得益于高统计量, HIEPA还可以利用初态辐射过程精确测量2 GeV以下的R值, 为理论计算提供更高精度的输入.

对包括核子在内的各种强子电磁形状因子的研究将有助于了解强子的内部结构. 目前通过类时实验研究核子形状因子的数据较少, BESIII上最新的实验能达到10%的精度, HIEPA上类似的实验测量在极短时间内(~10 d)就可在单个能量点得到与类空实验相比拟的精度(1%). 中子的形状因子实验数据非常稀缺, 现有数据与QCD理论计算的差异急需精确的测量来澄清, 需要大统计量的实验数据, 其他重子、介子的形状因子测量也是实验上很关注的课题. 这些测量和研究只能在高亮度的对撞机HIEPA上进行.

夸克碎裂函数是描述强子化过程最重要的物理量之一, 需要从实验直接测量. 正负电子对撞实验为夸克碎裂函数的测量提供了最理想的场所, 其中强子产生的各种分布和总截面的详尽测量、Collins效应的研究等为强子化过程提供了全面的物理图像.

τ-粲能区有众多的重子、介子对的阈产生过程, 对这些阈产生机制的研究有助于揭示夸克之间的相互作用. BESIII正在开展相关研究, 但远不足以进行精确测量, HIEPA是这方面研究的未来希望所在.

QCD相关实验研究还包括强相互作用耦合常数$\alpha_s(s)$测量、夸克质量测量、末态强子谱分布、电磁作用与强相互作用相角的测量、新强子态寻找等. 从R值测量及QCD实验检验的角度来说, HIEPA实验是不可取代的, 代表粒子物理研究的高精度前沿, 将在R-QCD研究领域处于引领地位.

(ⅴ) 新物理寻找. 新物理的寻找是当前粒子物理研究最重要的研究方向之一. 研究表明, HIEPA实验对于某些新物理信号具有很高的探测能力. 一方面, 对于高能标(相对于HIEPA实验能量)的新物理机制, 如果在高能加速器上(如LHC)可以产生重的新粒子, 在HIEPA上必有微弱的间接信号; 另一方面, 如果在HIEPA上找到轻的新粒子, 它可能不是全部的粒子谱, 需要在更高能区寻找更重的粒子, 探索完整的新物理理论. 因此, 在寻找并研究新物理 机制上, 高能量前沿和高亮度前沿加速器实验是互补的.

考虑到HIEPA的高亮度、高精度的特点, 在HIEPA上探索新物理有3种方式.

(1) 测量CP破坏效应: 目的是探索CP破坏的根源, 寻找标准模型之外的CP破坏机制. 该类研究包括前面讨论的, 在粲介子和τ轻子的衰变过程中寻找CP破坏, 精确测量τ轻子电偶极矩和τ轻子/μ轻子的反常磁矩等.

(2) 寻找标准模型禁戒的或不禁戒的稀有过程, 如味改变中性流(FCNC)、轻子数破坏(LNV)、轻子味破坏(LFV)等过程. 在实验上我们已经发现底夸克和奇异夸克FCNC过程的实验证据, 与标准模型的预言相符, 实验上精确测量这些高阶过程可以用来检验新物理的贡献, 但由于强相互作用的不确定性很大, K和B介子精确实验对理论模型的检验遇到困难. 由于Glashow-Iliopoulos-Maiani(GIM)机制, 粲夸克的

FCNC过程被高度压制和禁戒，在实验上观测相对较难. 在HIEPA实验中，对粲介子FCNC过程的寻找可以达到标准模型中一些长程相互作用模型预言的精度，可以更灵敏地检验不同的新物理模型，特别是在一些包含中性粒子的衰变道中，HIEPA实验可以获得其他实验不能达到的精度. 轻子的FCNC过程没有强相互作用的污染，标准模型预言带电轻子的FCNC发生的几率几乎为零，因此，实验寻找带电轻子味破坏(cLFV)过程是检验标准模型和寻找新物理的黄金过程. 另一方面，由于带电轻子味破坏可能与轻子数破坏和重子数不守衡相关联，寻找cLFV有助于揭示宇宙物质形成和CP破坏的起源. 蒙特卡洛研究表明HIEPA上利用极化的电子束流，在$\tau\to\gamma\mu$的衰变中可以给出比BelleII实验更为严格的实验约束.

(3) 轻新粒子寻找：寻找轻暗物质或者暗光子，探索暗物质物理检验暗物质湮灭机制，寻找QED之外的U(1)规范相互作用等. HIEPA实验上产生的大统计量的粲偶素数据，将为轻的新粒子以及LFV，NBV以及弱衰变的寻找提供理想场所.

3 高亮度对撞机及探测器关键技术

顾名思义，高亮度前沿加速器粒子物理实验的一个最主要特征是高亮度. 高亮度加速器才能产生高统计量的物理事例. 而几乎所有强子物理(包括强子谱物理、粲物理以及QCD物理等)的研究以及新物理的寻找都需要高统计量的数据. 电子束流的极化能够使得物理信号和本底有更好的区分度，特别是在τ轻子物理研究中，极化的束流将为利用角分布测量τ轻子CPV提供了一条重要的途径. 历史上曾在不同的能区建设对撞机进行相应的物理研究，但在5~7 GeV能量区间是空白的. 而在5~7 GeV能区的数据将为粲重子性质, R-QCD的研究等提供重要平台.

设计中的HIEPA是双环对撞机，初步考虑采用对称型双环结构，正负电子束流能量在1~3.5 GeV可调，流强约2 A，每环的周长400~600 m，对撞亮度在5×10^{34} cm^{-2} s^{-1}以上. 由于极化束流的实现较为困难，目前尚未有成功的先例，在HIEPA设计和建设中可以考虑两步走，即优先无极化的束流对撞，亮度5×10^{34} cm^{-2} s^{-1}，但在加速器物理设计及空间上为极化束流的实现留出余地，待今后引入极化装置，实现极化束流对撞，极化束流对撞时的亮度要求可以适当降低. 为了满足对撞需求，环形加速器需要设置长直线节作为对撞区，长度在80~100 m. 为了保持对称性，在对撞长直线节对面也设置同样长度的直线节.

HIEPA与真空紫外-软X射线光源对束流能量的要求基本一致，且作为新一代对撞机，由于束流发射度接近或达到第三代同步辐射专用光源的水平，但束流强度远超过目前第三代同步辐射光源，故可以为高通量同步辐射用户提供较高亮度的同步辐射光；适当引入插入件，同步辐射光性能还能进一步提高. 这样，HIEPA提供的同步辐射光可以满足中低能区用户需求，成为我国中低能区的第三代同步辐射光源，与上海光源和正在酝酿中的高能同步辐射光源一起，形成能够覆盖所有能量和谱系的第三代同步辐射光源系列.

未来的加速器设计包含工程设计与科学研究两部分. 鉴于同时满足对撞机与同步辐射光源的要求难度极高，工程设计方面应当先围绕对撞亮度进行优化，然后尽量降低束流发射度以提高同步辐射光的品质. 与此同时，作为科学研究，应当对10~15年以后的加速器概念进行预先研究，考虑未来装置完成高能物理使用寿命之后升级为最先进同步辐射光源，或者未来装置同时满足高能物理对撞与衍射极限光源的可能性.

加速器的关键研究内容包含对撞区设计、束流集体效应、束流的注入与极化以及其他关键技术：磁铁技术，包括新类型的组合磁铁、高场强磁铁；超导技术，包括超导磁铁、超导高频腔、超导偏转腔等；超高真空技术；束测技术；束流控制与反馈技术；高稳定性电源技术；高稳定性支撑技术和高精度准直技术等.

HIEPA实验上的粒子探测器装置将面对新的挑战，涉及更高的末态粒子产额和动量，更高的对撞亮度和事例率，更短的响应时间和更高的辐照本底水平. 综合考虑其探测器性能需求，主要技术挑战是在高辐照本底下的带电粒子径迹测量和粒子鉴别. 对带电粒子径迹测量，由于碰撞产生的大多数带电粒子动量小于1 GeV/c，尽可能减小物质质量厚度从而减少多次库仑散射，是提高动量分辨的关键. 由于单位面积上的粒子径迹数大幅度增加，对径迹探测器要求有更高颗粒度、位置分辨以及时间响应能力；对带电强子(π/K/p)鉴别，由于碰撞产生强子最大动量达到2.0 GeV/c以上，常规的飞行时间探测器不能满足粒子鉴别要求，需采用契仑柯夫探测技术；同时需

要进一步提高μ轻子鉴别能力，特别是μ/π鉴别能力，并降低μ轻子鉴别动量阈；对电子与中性粒子(e/γ/K^0…)鉴别，尽管全吸收型电磁量器有多种晶体可选，但具有高质量密度、快速响应和抗辐照性能的新型晶体，以及新型光电器件和读出方法都有待研发. 在接近束流碰撞区，具有快速响应能力和抗辐照能力是各类探测器设计中的关键因素.

以上的一系列加速器和探测器关键技术，代表了高能物理实验技术发展新趋势，也是我国亟待研发的高能物理实验关键技术. 中国在该领域具备了丰富的积累和成熟的人才队伍，具有克服关键技术瓶颈的内外条件，应该加大力度开展后BEPCII/BESIII时代的高亮度加速器和探测技术的研究工作.

4 小结

BEPCII/BESIII的成功建设与运行，使得中国成为国际粒子物理研究中心之一，引领着世界τ粲物理和强子物理研究的发展. 但由于能量范围和亮度的限制，在τ-粲能区仍有大量的科学问题尚未解决. 尽快推动下一代与中国大国地位相称的加速器物理大装置立项和相关科学前沿的粒子物理实验，对于我国基础科学与技术的长远发展具有重要的战略意义. 在两代北京正负电子对撞机研究的基础上，综合考虑中国现有粒子物理的研究现状、国际地位、人才队伍、技术储备以及国家的经济实力和工业基础等，高亮度正负电子加速器(HIEPA)应该是目前我国粒子物理、大科学中心多学科研究和交叉研究综合平台的最重要选项. HIEPA的建成将使得中国在继BEPCII/BESIII后，继续引领世界τ-粲物理以及强相互作用的深入研究. 同时HIEPA将与未来的高能量前沿的高能物理实验互补，在新物理的寻找中扮演关键性角色. HIEPA提供的新一代同步辐射光源将与我国现有的或者将来的光源互补，为中国材料、物质结构、生物、化学、医学、军事等领域的研究提供重要和独特的平台. HIEPA的建设将极大地推动中国相关高新技术的发展和高科技综合性人才的培养，将为中国高等院校和研究所培养和输送大量的优秀人才，大幅度提高中国高等院校从事大科学工程研究和建设的能力，也为更长远未来中国的大科学工程提供重要的技术和人才储备.

参考文献

1 Asatryan H. The LHC Design report. Vol. 1. The LHC main ring. Report, 2004, CERN-2004-004

2 Baer H, Barklow T, Fujii K, et al. The international linear collider TECHNICAL design report. 2013, arXiv:1306.6352, arXiv:1306.6329,

3 Asner D M, Barnes T, Bian J M, et al. Physics at BESIII. Int J Modern Phys A, 2009, 24: 1–5

4 Aushev T, Bartel W, Bondar A, et al. Physics at super B factory. 2010, arXiv: 1002.5012

5 Bai J Z, Bardon O, Becker-Szendy R A, et al. BES Collaboration. Measurement of the mass of the τ lepton. Phys Rev D, 1996, 53: 20

6 Bai J Z, Ban Y, Bian J G, et al, BES Collaboration. Measurement the cross section for e+e- → Hadrons at Center-of-Mass Energy from 2 to 5 GeV. Phys Rev Lett, 2002, 88: 101802

7 Ablikim M, Bai J Z, Ban Y, et al. BES Collaboration. Observation of a resonance X(1835) in $J/\psi\to\gamma\pi^+\pi^-\eta'$. Phys Rev Lett, 2005, 95: 262001

8 Ablikim M, Achasov M N, Ai X C, et al. BESIII Collaboration. Observation of a charged charmoniumlike structure in e+e- $\to\pi^+\pi^-$ J/ψ. Phys Rev Lett, 2013, 110: 252001

9 An F P, Balantekin A B, Band H R, et al. Daya Bay Collaboration. Spectral measurement of electron antineutrino oscillation amplitude and frequency at Daya Bay. Phys Rev Lett, 2014, 112: 061801

10 Bondar A E, Anashin V V, Aulchenko V M, et al. Project of a super charm-tau factory at the budke institute of nuclear physics in Novosibirsk. Phys Atom Nucl, 2013, 76: 1072–1085

11 Olive K A, Agashe K, Amsler C, et al. PDG Collaboration. The review of particle physics. Chin Phys C, 2014, 38: 090001

Summary for "2~7 GeV 高亮度正负电子对撞机的物理研究"

Physics on the high intensive electron position accelerator at 2–7 GeV

HUANG GuangShun[1], LI Cheng[1], LI HaiBo[2], LIU JianBei[1], LUO Qing[1], MA JianPing[3], PENG HaiPing[1*], SHAO Ming[1], SHEN XiaoYan[2], YUAN ChangZheng[2], CHANG ChaoHis[3], CHAO KuangTa[4], ZHAO ZhengGuo[1], ZHENG YangHeng[5], ZHU ShiLin[4] & ZHU ShouHua[4]

[1] *School of Physcics, University of Science and Technology, Hefei 230026, China;*
[2] *Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijng 100049, China;*
[3] *Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijng 100190, China;*
[4] *School of Physics, Peking University, Beijng 100871, China;*
[5] *University of Chinese Academy of Sciences, Beijng 100049, China*
* Corresponding author, E-mail: penghp@ustc.edu.cn

With the experimental examination in the past few decades, the Standard Model (SM), which describes the building blocks of matter and the fundamental forces in the universe, is considered to be the most successful theoretical model to describe the subatomic world. In particular, after the discovery of Higgs particle in 2012 at Large Hadron Collider (LHC), the success of SM reaches to an unprecedented level. However, it does leave a lot of phenomena unexplained questions, such as, what are the dark matter and dark energy? what happened to the anti-matter matter asymmetric in the world? why are there three generations of quarks and lepton with such a different mass scale? and so on. At present, it is believed that there exists a more general theory hidden deeply in the subatomic world, which includes the new physics, and can solve the all unexplained questions, and the SM is its appromiximation in the current reached energy region experimentally. On the other hand, as one of two parts of SM, Quantum chromodynamics (QCD) theory, which is theory of strong interactions, a fundamental force describing the interactions between quarks and gluons, and have been tested precisely in the high energy range, but there is still some fundamental questions unsolved in row energy region. Therefore, it is urgent for us to have the experiments beyond current level to explore and reveal the mysteries of the subatomic world. At present, the studies of particle physics based on accelerator is one of most powerful approach to investigate the subatomic world, and can be classed into two frontiers, i.e. the high energy frontiers and the high intensitive fronitiers. A super tau-charm factory, which is expected to have luminosity of 0.5×10^{35}–1.0×10^{35} cm^{-2} s^{-1} and with center of mass energy at 2–7 GeV, is one of typical high intersitive frontiers experiment. It can produce all there generation leptons and first and secondary generation quarks and have several unique features, e.g., running on the energy at the transition between the perturbative and non-perturbative QCD, producing rich resonances, charmonium and charmed mesons, having threshold characteristics which provides clean environment for the signals, etc. The super tau-charm factory is regarded as an ideal platform to explore the hadronic physics and search for the new physics beyond the SM. In this letter, we present the key science questions and physics topics are desired on a super tau-charm factory, and discuss the feasibility and necessity to build a new generation high intensive Electron Position Accelerator Facility (HIEPA) at 2–7 GeV in China. The current international and internal situations for particle physics progress, the key technologies in both accelaerator and detector, and the driving force for science and technology to build the tau-charm factory in China are also illustrated. We conclude that HIEPA is an excellent option from all aspects for the future accelerator programs in China based on its current scale of particle physics community and the expertise reserve, and call for the start and support from the government of R&D for this project.

electron position accelerator facility, high intensive, τ-charm physics

doi: 10.1360/N972016-00398