中国暗物质与暗能量研究 5~10 年展望

季向东^①, 张新民^②, 谌勋^{①*}^① 上海交通大学物理与天文系, 上海 200240;^② 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049

* 联系人, E-mail: chenxun@sjtu.edu.cn

2015-09-11 收稿, 2015-10-08 修回, 2015-10-08 接受, 2016-01-03 网络版发表

摘要 暗物质和暗能量的研究是当前基础物理研究最前沿的方向之一, 突破性的进展将极大促进我们对物质世界的微观结构以及宇宙演化的理解. 国际上对暗物质及暗能量的研究都极为重视, 美国 and 欧洲多国都为其进行了详细周密的规划, 开展了一系列的相关项目投资. 国内也将这方面的研究纳入了中长期规划, 并认为其很可能在不久的将来实现革命性的突破. 在过去的几年内, 我国在暗物质直接探测方面实现了长足的进步, 探测结果的灵敏度达到世界先进水平. 在2015年7月的香山科学会议上, 一批从事这方面科研以及一批感兴趣的科学家讨论了未来5~10年我国在暗物质暗能量研究方面可能的规划和布局, 建议依托锦屏地下实验室进行更大规模的暗物质直接探测实验, 并开展卫星暗物质间接探测实验, 力争在暗物质研究方面达到世界领先水平. 同时建议在西藏阿里地区进行宇宙微波背景辐射观测, 并通过空间站和地面望远镜进行深空巡天观测, 从而实现对暗能量的深入研究.

关键词 暗物质, 暗能量, 地下实验室, 宇宙微波背景辐射

对暗物质和暗能量的研究是当代基础物理学最前沿的方向之一. 天体物理和宇宙学的研究表明, 暗物质和暗能量在宇宙的演化过程中起着重要作用, 然而粒子物理标准模型中没有给暗物质和暗能量的本质提供解释. 这预示着对于暗物质和暗能量进行实验和理论上的探索将大大深化我们对微观世界结构和宇宙演化的理解, 并极有可能产生物理学基础理论革命性的突破. 在对其进一步研究中, 以下的问题急需得到回答. (1) 暗物质是不是一种基本粒子? 在实验室中或通过卫星/空间站探测器是否能观测到? (2) 暗物质粒子能不能在高能加速器上产生? 它们和标准模型粒子是如何相互作用的? 如何证明它们就是天文观测到的暗物质? (3) 暗物质是如何决定星系团和星系的结构形成过程的? (4) 我们已知的唯一的暗物质——中微子——的本性是什么? 是中性的

Majorana费米子吗? (5) 暗能量的物理性质是什么? 状态方程是什么? (6) 宇宙早期大爆炸产生的原始引力波信号能不能观测到?

为了解答这些问题, 国家需要规划和设计相应的研究路线, 针对各方面条件进行优化, 以充分利用已有的技术和资源, 和世界上其他的研究团队进行竞争和合作, 并最终在相关问题的研究中获得突破进展.

1 国际研究和规划现状

国际物理学界对暗物质和暗能量的研究相当重视, 美国、欧洲和日本等国家和地区都进行了相应的规划和布局.

2007年, 美国自然科学基金会(NSF)、美国国家航空航天局(NASA)、美国能源部(DOE)联合成立的暗物质研究评估小组, 发布报告指出, 宇宙里面暗物质

引用格式: 季向东, 张新民, 谌勋. 中国暗物质与暗能量研究 5~10 年展望. 科学通报, 2016, 61: 1181~1187

Ji X D, Zhang X M, Chen X. A road-map for dark matter and dark energy research in China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 1181~1187, doi: 10.1360/N972015-01043

之谜的解决具有极特别的科学意义,并建议美国加大投入,以保持领先地位(http://science.energy.gov/media/hep/pdf/files/pdfs/dmsagreportjuly18_2007.pdf). 美国国家科学院发布的天文及天体物理2012至2021十年规划中,暗物质和暗能量是主要的研究方向(<http://www.nap.edu/catalog/13045/report-of-the-panel-on-implementing-recommendations-from-the-new-worlds-new-horizons-decadal-survey>). 2014年7月,DOE宣布将和NSF一起联合支持第二代暗物质探测项目LZ, SuperCDMS-SNOLAB和ADMX-Gen2 (<http://science.energy.gov/hep/news-and-resources/next-generation-of-direct-detection/>), 其中LZ预期在2018年建成,其灵敏区域将包含7吨氙¹⁾,到时候将是世界上最大的暗物质直接探测实验^[1,2]. 美国同时通过搭载于费米(Fermi)卫星上的大面积望远镜^[3]和位于国际空间站上的阿尔法磁谱仪(AMS-02)进行暗物质的间接探测^[4]. 自20世纪80年代以来美国先后通过COBE卫星^[5], WMAP卫星^[6]对宇宙微波背景辐射进行观测,从而发现了暗能量的存在. 从21世纪开始的斯隆数字巡天(SDSS)^[7], 暗能量巡天(DES)^[8]通过对超新星和弱引力透镜的观测,以试图获得更多关于暗能量的信息. 暗能量谱仪装置(DESI)^[9]、广域红外巡天望远镜(WFIRST)、大型综合巡天望远镜(LSST)正在建造当中,以期在建成后能对暗能量进行更加精细的测量^[10].

2008年,欧洲天体粒子物理联盟所规划的路线图中,吨量级的暗物质直接探测实验位于其所规划的7个项目之首(<http://www.appec.org/strategy/roadmap.html>). 欧洲方面对下一代暗物质实验的支持主要是基于2吨级液氙的XENON1T和后续的6吨级别的XENONnT^[11]以及基于液氙的DarkSide-50^[12],此外,20吨级的达尔文惰性气体暗物质探测器(DARWIN)也在进行积极的预研^[13]. 在暗能量方面,2009年发射的普朗克(Planck)空间观测站已经完成了它的使命,并于今年年初给出了最新的宇宙学参数限制^[14]. 欧洲下一步计划在2020年发射欧几里得(Euclid)航天器^[15]来精确测量宇宙膨胀,从而深入理解暗能量和暗物质.

2007年,日本成立了Kavli宇宙物理与数学研究所,暗物质与暗能量是其研究的重要课题(<http://www.ipmu.jp/research-activities/research-program>). 日本则正在为其昴星团望远镜(Subaru)升级HSC数字

照相机^[16],并成立了PFS合作组^[17],以进行高精度的深空观测,从而探索暗能量更多的细节.

2 国内规划和研究现状

国家对暗物质和暗能量的研究非常重视. 国务院在2006年制定的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》里面定义了8个基础研究前沿领域,“暗物质和暗能量的本质”是“物质深层次结构和宇宙大尺度物理学规律”领域内的主要研究方向之一(http://www.most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/gjkjgh/200811/t20081129_65774.htm). 在中国科学院的战略研究系列报告《中国至2050年重大交叉前沿科技领域发展路线图》中,将暗物质和暗能量列为可能实现革命性突破的4个基本科学问题的第一位. 该路线图里面提到“揭开暗物质、暗能量之谜,将是人类认识宇宙的又一次重大飞跃,可能导致一场新的物理学革命. 为此,需投资建设几项关键性的探测暗物质、暗能量的重大实验装置,包括地下和太空的粒子探测器和在南极建立大口径天文望远镜,以取得第一手实验数据,在国际竞争中处于主导地位.”^[18]

2008年,由中国科学院牵头,中国科学家团队制订了一个“上天入地到南极”的暗物质和暗能量探测的发展路线图^[19],其中“上天”指暗物质探测卫星,“入地”指四川锦屏地下暗物质探测,“到南极”指在南极昆仑站建设大型天文望远镜来探测. 这些项目得到了积极的推进,并取得了丰富的成果. 2009年,名为“暗物质的理论研究及实验预研”的国家重点基础研究发展计划(“973”项目)得到了科技部批准,中国科学院多个研究所及多所教育部直属大学参与其中. 该项目的成功实施取得了丰硕的理论和实验研究成果,位于锦屏地下实验室的暗物质直接探测实验以及暗物质卫星实验都得到了该项目的支持.

最引人注目的实验进展来自于锦屏地下实验室的暗物质直接探测项目中国暗物质实验(CDEX)^[20]和粒子物理和天体物理氙探测器(PandaX)^[21]. CDEX合作组使用点电极高纯锗探测器来探测轻质量区域的暗物质. 2013年,CDEX发表了首批低质量区域暗物质直接探测结果^[22],这也是中国在暗物质直接探测方面从无到有的一个突破进展. 2014年底,该合作组

1) 本文以下提到液氙实验的质量均指探测器灵敏区域内的质量.

发表了国际同类型实验里10 GeV以下能区灵敏度最高的实验结果,确定性地排除了美国同类型实验CoGeNT实验组给出的疑似暗物质信号^[23]. PandaX合作组使用基于液氙技术的探测器探测大质量区域的暗物质,是中国首个大型暗物质直接探测实验,其首期实验也能对部分轻质量区域的暗物质进行探测. 2014及2015年, PandaX实验组先后发表了基于17天数据的首批暗物质探测结果和基于首期实验全部数据的分析结果,这两个结果对国际上其他实验所发现的所有疑似暗物质信号都提出了强烈的质疑^[24,25].

由中国科学院紫金山天文台、中国科学技术大学等单位合作研发的暗物质粒子探测器(DAMPE)卫星^[26]于2015年年底发射,通过探测来自宇宙空间的高能伽马光子、电子以及质子,以实现对宇宙空间中的暗物质的间接观测. 基于未来的中国空间站的高能宇宙辐射探测装置(HERD)也处于积极的研发中,并取得了相当的进展^[27].

在暗能量研究方面, LAMOST开始了银河系内观测^[28],但是由于所处地理位置的关系,实现大范围巡天还有困难. 南极的天文观测KDUST^[29]进入了“十二五”规划,但是由于种种原因未能立项. 观测中性氢产生的21 cm辐射的项目21CMA在进行中, 天玑计划还在进行原理验证^[30]. 空间站大规模光学巡天项目^[31]完成了前期的论证工作,目前正在解决巡天相机所需要的关键技术.

此外,国内的研究单位在暗能量研究方向参与了广泛的国际合作. 中国科学院国家天文台等单位参与了SDSS四期、重子振荡光谱巡天(BOSS)^[32]、扩展重子振荡光谱巡天(eBOSS)^[33]、CFHTLenS弱引力透镜巡天实验等国际合作项目^[34],力图通过天文观测手段对暗能量的物理性质进行限制.

3 5~10年展望

在过去的几年里面,我国科学家在暗物质和暗能量的研究中实现了跨越式的发展,取得了重要的成绩,形成了若干在国际上有竞争力的研究队伍. 这些基础让我们跟上了国际前沿研究的步伐,并在某些方面能够和国际上最高水平一较高下. 我们认为,我国应该在已有的基础上,迅速开展先进探测技术的研发,在5~10年内完成一系列互相关联的探测项目,使中国的暗物质和暗能量研究能够有机会做出引领世界的贡献.

在暗物质探测方面,近年来高纯锗探测器和惰性气体探测器技术的发展使得暗物质探测的灵敏度得到了快速的发展,基于液氙探测器的XENON100实验^[35]和LUX实验^[36]在大部分暗物质质量区域内给出了最为严格的暗物质与普通物质反应截面上限,基于高纯锗技术的SuperCDMS实验在低质量区域给出了最好的结果^[37]. 下一代的暗物质直接探测实验的主流将是使用100 kg级别的高纯锗和吨级的惰性气体探测器,有望将现有的探测灵敏度提高到一到两个数量级. 而十年时间内,更大质量的探测器有望探索到中微子本底区域.

建设中的锦屏地下实验室二期^[38]为进行下一代的暗物质直接探测实验提供了良好的实验环境,我们在暗物质直接探测方面积累了人才和技术储备,因此需要抓住这个机会,将相应的研究推向深入,力争在5~10年内做出有价值的成果. 在暗物质探测方面,提出建议如下.

(1) 利用锦屏地下实验室,进行暗物质粒子的终级探测. 其中可选的实验包括: 20~30吨级的液氙实验,用于探测大质量暗物质粒子; 1吨级的高纯锗实验,以探测轻质量暗物质粒子; 通过国际合作的方式进行300吨级的液氙实验.

(2) 发射暗物质探测卫星DAMPE,间接探测暗物质.

(3) 参与暗物质探测的国际合作,例如,参与AMS-02,基于液氙的Darkside,基于液氙的LZ等实验,以吸收先进技术及分享项目经验; 参与大型强子对撞机(LHC)实验,研究可能产生的轻质量暗物质粒子; 参与法国MIMAC暗物质方向性探测实验,以实现对可能发现的新信号是否属于暗物质的检验.

在暗能量研究方面,对其性质的研究将是未来一段时间内主要的研究方向,另外研究的热点是区分修改引力和广义相对论宇宙学. 暗能量研究的方法主要通过超新星观测、宇宙大尺度结构观测和弱引力透镜观测. 暗能量的研究可能在5~10年内出现突破进展,五年内可能在高置信水平上发现暗能量动力学. 国际上大部分重大实验将在2020年前后开始运行,为此我们建议如下.

(1) 利用空间站开展大规模光学巡天项目,通过大天区深度成像等方式来进行暗能量动力学性质研究. 空间站多色成像与无缝光谱巡天在国际同期项目中像质最好,覆盖天区最广,近紫外波段极具特

色,兼具成像与光谱观测能力,有很强的竞争力,同时在观测上与其他项目互补,有望实现前沿领域的重大突破.

(2) 在西藏阿里地区建设宇宙微波背景辐射观测望远镜,实现对宇宙原初引力波的精确探测,并实现对暗能量状态方程的测量.西藏阿里观测站是北半球最佳观测台址,经过十余年的发展建设已经较为成熟.北半球的观测空白是我国率先开展相关实验的极好历史机遇.

(3) 在新疆红柳峡地区开展21 cm天文学(天籁计划)的研究.

(4) 在南极昆仑站开展KDUST巡天望远镜观测,通过观测超新星来研究暗能量的性质.

(5) 参与国际暗能量方面的合作,参与SDSS四期, DESI, LSST, Euclid等项目.

以上的终极规划让我们能够全面探索(高质量和低质量)暗物质可能存在的参数空间,发现或排除暗物质.如果能看到疑似信号,则可以利用液氙、高纯锗和液氙实验相互验证,确定暗物质粒子性质.我们还可能实现暗能量研究的突破,通过发现原初引力波,检验极早期宇宙暴涨理论,通过测量极化旋转角,检验CPT对称性,并能够精确测量暗能量密度及状态方程.

4 今后五年建议建设重点

以上建议项目的建设和运行需要综合考虑科学目标、国际竞争力和技术可行性.而在今后5年期间,建设的重点应该放在可能做出有价值的科学发现的项目上.

中国锦屏地下实验室正在进行二期的扩建.扩建后实验室将有13万立方米的探测空间,是世界上埋深最深、空间最大的地下实验室.这个实验室的建成将极大地推动中国和世界的暗物质地下直接探测.基于液氙探测技术的LUX实验目前在大部分暗物质质量区域给出了最好的结果,因此我们建议在前5年开展2~3吨的液氙暗物质探测实验,与欧洲XENONnT和美国LZ进行直接竞争,并能够为终极20~30吨液氙暗物质探测实验提供技术积累.根据PandaX合作组的经验,二相型液氙探测器在做大的同时会遇到一些重要的瓶颈问题,包括漂移电场难以达到实验的强度和液面上的空间电荷积累引起大量的电子本底信号.因此,诸如美国的7吨级的LZ实

验直接使用传统技术,存在着一定的风险.在完成PandaX二期500公斤级实验的基础上,再把探测能力提升4~6倍,是一个比较切实可行的方案.在今后的5年时间内,一个高水平的2~3吨级实验无论在速度上还是探测灵敏度上都有一定的国际竞争力. PandaX同时计划开展吨级的单相型实验,包括高压气体和液体实验.单相液体探测器将利用电子在液体强电场中的正比发光来测量电子信号,从而摆脱两相型实验所需要的气液界面正比发光.在单相液体实验中能够利用多模块的电子漂移室降低对漂移电场的需求,通过降低电子学噪声来对更小的电离信号进行触发.单相的气体探测器不但可以用来探测暗物质和它运动的方向性,还可以用来探测 ^{136}Xe 无中微子双贝塔衰变.中微子是我们唯一知道的暗物质粒子,但它是否是完全中性的Majorana粒子必须通过无中微子双贝塔衰变实验来验证.肯定的结果将导致轻子数不守恒的发现,为解释宇宙中为什么物质多于反物质提供了重要线索.

我们建议同时开展200 kg级高纯锗半导体探测项目,和美国的SuperCDMS计划进行竞争.争取5~10年内提前探测至中微子本底极限,并开展 ^{76}Ge 无中微子双贝塔衰变的研究.高纯锗探测器具有自身本底水平极低、探测器能量阈值低、探测器能量分辨率高等特点,是当前国际上最具优势的10 GeV以下低质量暗物质探测技术.当前理论研究指出,低质量暗物质粒子探测的重要里程碑是在10 GeV以下区实现 10^{-45} cm^2 的探测灵敏度,达到太阳中微子本底水平,实现终极探测.而要达到在轻质量区的终级探测,必须把锗探测器做到吨级.高纯锗探测器的技术优势就是模块化,通过保证单个高纯锗探测器的性能来建设成百上千个相同的探测器单元,这样吨级实验技术是有保证的. CDEX合作组计划在未来五年时间内,建设200 kg的高纯锗探测器阵列系统,将高纯锗阵列系统悬挂在直径为12 m左右的液氮低温系统中,开展暗物质实验研究.期间开展我国自主高纯锗晶体生长、自主高纯锗探测器研制、低温低噪声电子学前放研究、基于ASIC的前放主放数字化部分的集成电子学系统研制等方面的研究工作.

另外需要迅速研发液氙探测技术,首先进行5吨级的技术验证,从而争取在10年内能够建设成百吨级的液氙实验,与终级液氙探测实验进行印证.液氙是国际上另一种受到高度关注的惰性气体探测技术.

一旦重质量暗物质在液氦探测器中被探测到,必须有一个独立的探测靶子来进行验证.中国科学院高能物理研究所的研究人员参与DarkSide暗物质直接探测的国际合作项目,以期在国际合作中学习技术与经验,培养和发展掌握液氦探测器相关技术的后备人才,同时立足国内工业技术与发展现状,独立开展液氦探测器技术的研究以及进行基于液氦探测器的暗物质直接探测.

我们建议在西藏阿里观测站开展一系列宇宙微波背景辐射观测实验,对其极化B模式进行高精度的测量,探测原初引力波的信号并研究暗能量的物理性质.宇宙微波背景辐射的地面观测一直以来只有在南极和智利开展,可以观测的天区有限,而未来十年没有进一步的空间实验项目实施.在北半球选择合适台址实现宇宙微波背景辐射观测的全天覆盖成为下一代地面项目的发展目标.西藏阿里观测站位于海拔5100 m的高原上,具有海拔高、云量少、水汽低、透明度高等优势,是北半球最佳观测宇宙微波背景辐射观测台址,这是我国开展微波背景辐射观测的历史机遇.阿里项目的第一步计划是建设一台小口径高灵敏度望

远镜,观测大尺度宇宙微波背景辐射的B模式极化,实现北天区首次对原初引力波的精确探测.

同时,对一系列投入建设中的暗物质暗能量项目进行必要的科学研究支持,包括暗物质卫星探测项目、南极冰穹的KDUST项目、空间站光学望远镜巡天项目、天籁计划和FAST望远镜等.

5 总结

在过去的几年里,中国本土的暗物质直接和间接探测方面的研究开始赶上世界的步伐,暗能量的追赶才刚刚开始.在“十三五”期间,规划项目的顺利实施将使我国暗物质、暗能量、原初引力波探测技术水平赶上和达到国际最好水平,有望取得突破性重大成果.以暗物质实验推动世界级大型地下实验室发展,为将来发展其他重要研究做好准备,特别是包括原子核双贝塔衰变在内的中微子性质的研究.以暗能量推动中国天体物理的发展,以小工程推动大科学.同时,能让我国掌握一系列先进探测核心技术,并在核技术、军工、环保、材料等领域得到广泛应用.

参考文献

- 1 Mallin D, Akerib D, Araujo H, et al. After LUX: The LZ program. In: Proceedings of the 2011 Meeting of the Division of Particles and Fields of the American Physical Society, Brown University, Providence, Rhode Island, USA. arXiv: 1110.0103
- 2 Harris A, Rosero R, Yeh M, et al. LUX-ZEPLIN(LZ) Conceptual Design Report. arXiv: 1509.02910
- 3 Ackermann M, Albert A, Anderson B, et al. Dark matter constraints from observations of 25 Milky Way satellite galaxies with the Fermi Large Area Telescope. *Phys Rev D*, 2014, 89: 042001
- 4 Aguilar M, Alberti G, Alpat B, et al. First result from the alpha magnetic spectrometer on the international space station: Precision measurement of the positron fraction in primary cosmic Rays of 0.5–350 GeV. *Phys Rev Lett*, 2013, 110: 141102
- 5 Smoot G, Bennett C, Kogut A, et al. Structure in the COBE differential microwave radiometer first year maps. *Astrophys J*, 1992, 396: L1–L5
- 6 Hinshaw G, Spergel D, Verde L, et al. First year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: The Angular power spectrum. *Astrophys J*, 2003, 148: 135
- 7 York D, Adelman-McCarthy J, Anderson J, et al. The Sloan digital sky survey: Technical summary. *Astron J*, 2000, 120: 1579
- 8 Sevilla I. The dark energy survey. In: Processing of Science-European Physical Society Europhysics Conference on High Energy Physics, Krakow, Poland, EPS-HEP 2009. 112
- 9 Flaugher B, Bebek C. The dark energy spectroscopic instrument (DESI). *PSPIE Int Soc Opt Eng*, 2014, 9147: 91470S
- 10 Weinberg D, Mortonson M, Eisenstein D, et al. Observational probes of cosmic acceleration. *Phys Rep*, 2013, 530: 87–255
- 11 Davide F. Direct WIMP searches with XENON100 and XENON1T. *EPJ Web Conf*, 2015, 95: 04019
- 12 Bossa M. DarkSide-50, a background free experiment for dark matter searches. *J Instrum*, 2014, 9: C01034
- 13 Baudis L. DARWIN: Dark matter WIMP search with noble liquids. *J Phys Conf Ser*, 2012, 375: 012028
- 14 Ade P, Aghanim N, Arnaud M, et al. Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters. arXiv: 1502.01589
- 15 Laureijs R, Amiaux J, Arduini S, et al. Euclid Definition Study Report. arXiv: 1110.3193
- 16 Miyazaki S, Komiyama Y, Nakaya H, et al. HyperSuprime: Project overview. In: Proc. SPIE 6269, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy, Orlando, Florida, USA, 2006. 62690B
- 17 Ellis R, Takada M, Aihara H, et al. Extragalactic science, cosmology, and Galactic archaeology with the Subaru Prime Focus Spectrograph. *Publ Astron Soc Jap*, 2014, 66: R1

- 18 Research team on the strategy in important cross and advanced disciplines. Roadmap of Evolution in Important Cross and Advanced Disciplines of China towards 2050 (in Chinese). Beijing: Science Press, 2011 [中国科学院重大交叉前沿领域战略研究组. 中国至 2050 年重大交叉前沿科技领域发展路线图. 北京: 科学出版社, 2011]
- 19 Zhang X, Chen X. Progresses in the studies of Dark Matter and Dark Energy and China's opportunities (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2011, 5: 496–503 [张新民, 陈学雷. 暗物质、暗能量研究进展及中国的机遇. 中国科学院院刊, 2011, 5: 496–503]
- 20 Kang K, Cheng J, Li J, et al. Introduction to the CDEX experiment. Front Phys China, 2013, 8: 412–437
- 21 Cao X, Chen X, Chen Y. PandaX: A liquid xenon dark matter experiment at CJPL. Sci China Phys Mech Astron, 2014, 57: 1476–1494
- 22 Zhao W, Yue Q, Kang K, et al. First results on low-mass WIMPs from the CDEX-I experiment at the China Jinping underground laboratory. Phys Rev D, 2013, 88: 052004
- 23 Yue Q, Zhao W, Kang K, et al. Limits on light WIMPs from the CDEX-I experiment with a p-type point-contact germanium detector at the China Jinping Underground Laboratory. Phys Rev D, 2014, 90: 091701
- 24 Xiao M, Xiao X, Zhao L, et al. First dark matter search results from the PandaX-I experiment. Sci China Phys Mech Astron, 2014, 57: 2024–2030
- 25 Xiao X, Chen X, Tan A, et al. Low-mass dark matter search results from full exposure of PandaX-I experiment. arXiv:1505.00771
- 26 Fang C, Montmerle T. Past, present and future of Chinese astronomy. In: Proceedings of the International Astronomical Union, Beijing, China, 2012. 10: 19–29
- 27 Zhang S, Adriani O, Albergo S, et al. The high energy cosmic-radiation detection (HERD) facility onboard China's Space Station. Proc SPIE Int Soc Opt Eng, 2014, 9144: 91440X
- 28 Deng L, Newberg H, Liu C, et al. LAMOST experiment for Galactic Understanding and Exploration (LEGUE) the survey science plan. Res Astron Astrophys, 2012, 12: 735–754
- 29 Zhao G, Zhan H, Wang L, et al. Probing dark energy with the Kunlun dark universe survey telescope. Publ Astron Soc Pac, 2011, 123: 725
- 30 Chen X. The Tianlai project: A 21 cm cosmology experiment. Int J Mod Phys Conf Ser, 2012, 12: 256
- 31 Zhan H. Consideration for a large-scale multi-color imaging and slitless spectroscopy survey on the Chinese space station and its application in dark energy research (in Chinese). Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 12: 1441–1447 [詹虎. 中国空间站大规模多色测光与无缝光谱巡天的设想及其在暗能量研究领域的应用. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 12: 1441–1447]
- 32 Dawson K, Schlegel D, Ahn C, et al. The baryon oscillation spectroscopic survey of SDSS-III. Astron J, 2013, 145: 10
- 33 Dawson K, Kneib J, Percival W, et al. The SDSS-IV extended baryon oscillation spectroscopic survey: Overview and early data. arXiv: 1508.04473
- 34 Benjamin J, Waerbeke L, Heymans C, et al. CFHTLenS tomographic weak lensing: Quantifying accurate redshift distributions. Mon Not Roy Astron Soc, 2013, 431: 1547
- 35 Aprile E, Alfonsi M, Arisaka K, et al. Limits on spin-dependent WIMP-nucleon cross sections from 225 live days of XENON100 data. Phys Rev Lett, 2013, 111: 021301
- 36 Akerib D, Araujo H, Bai X, et al. First results from the LUX dark matter experiment at the Sanford Underground Research Facility. Phys Rev Lett, 2014, 112: 091303
- 37 Agnese R, Anderson A, Asai M, et al. Search for low-mass weakly interacting massive particles with SuperCDMS. Phys Rev Lett, 2014, 112: 241302
- 38 Li J, Ji X, Haxton W, et al. The second-phase development of the China JinPing underground Laboratory. Phys Procedia, 2015, 61: 576

A road-map for dark matter and dark energy research in China

JI XiangDong¹, ZHANG XinMin² & CHEN Xun¹

¹ Department of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

² Institute of High-Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Dark matter and dark energy are two of the most fundamental research directions in physics and astronomy. Our understanding about the fundamental structure of the world and evolution of the universe will be greatly affected by the results of these researches. International communities have shown great interest in these frontier areas. A series of related projects have been planned and are being carried out in US and Europe. The next generation of dark matter searching programs have been supported officially. New ground and space observatories are being built. Study on the dark matter and dark energy are also parts of the domestic near and long term plans in fundamental science, and it is believed that revolutionary breakthroughs in these areas are imminent. A roadmap on the study of dark matter and dark energy released in 2008 lead to fruitful results in the past few years. Important progresses have been made on the direct detection of dark matter in China. Two dark matter direct detection programs located in the China Jinping underground Laboratory (CJPL), the CDEX and the PandaX, have released their analysis results. The sensitivities have reached the world's advanced level. The dark matter satellite will be launched at the end of 2015 for the indirect detection of dark matter. Astronomers joined international collaborations for the study of dark energy and made some progresses. Here we consider a possible roadmap for the study of dark matter and dark energy in China for the upcoming 5 to 10 years. For the study of dark matter, we suggest to carry out larger scale of dark matter direct detection and double beta decay experiments in the CJPL, including the liquid xenon based experiment at 20–30 ton level, high purity germanium based experiment at 1 ton level, and liquid argon based experiment at 300 ton level. We also suggest to start the indirect detection of dark matter with satellite based experiments and join international collaborations for various methods of dark matter searching. These efforts would help us to achieve a leading position in the world in the future. For the study of dark energy, the determination of its properties would be the main topic in the near future. So we suggest to build facilities for the cosmic background radiation at the Ali region in Xizang, start the deep sky survey at the space station, build ground based telescope in south Antarctica, and perform the initial research of 21 cm astronomy, forming a competitive program in the study of dark energy and primordial gravitational wave detection.

dark matter, dark energy, underground laboratory, cosmic microwave background radiation

doi: 10.1360/N972015-01043