

# 基于地下实验室的暗物质直接探测实验

赵伟,程建平,岳骞

清华大学工程物理系,北京 100084

**摘要** 暗物质研究是当前基础物理研究的前沿热点课题之一,对天体物理学、宇宙学和粒子物理学等学科的发展具有十分重要的意义。暗物质的直接探测实验是进行暗物质研究的手段之一,也被认为是最为重要的一种方法。本文介绍:暗物质的不同探测方法、暗物质直接探测实验的原理;国际上主要的地下实验室、针对轻质量和重质量暗物质进行直接探测的典型实验及目前取得的进展;下一代实验将面临的挑战和机遇。

**关键词** 轻质量暗物质;重质量暗物质;直接探测;地下实验室

## 1 暗物质研究具有重要意义

自20世纪30年代“暗物质”提出以来<sup>[1]</sup>,就成了物理学家头顶的“一朵乌云”。暗物质既不发光也不吸收光,因此不能通过电磁相互作用去寻找。暗物质存在的证据主要来源于两个方面:引力效应和宇宙的演化。早期,科学家们通过观测和研究星系的旋转曲线提出并不断验证了暗物质的存在。随着探测技术的不断发展和进步,不同的探测手段被应用到暗物质的寻找,最新的空间卫星观测结果和理论计算表明宇宙中超过80%的物质都是暗物质<sup>[2]</sup>。虽然,暗物质研究目前取得了长足的进步,但是对于暗物质本质的认识还基本上是一无所知<sup>[1]</sup>。基于天文观测的结果,科学家们总结了暗物质可能具有的性质,并且构建了不同的暗物质粒子理论模型,其中弱相互作用重粒子(Weakly Interacting Massive Particles, WIMPs)是众多暗物质粒子模型中最为流行的一种<sup>[3]</sup>。

由于暗物质是宇宙组成中最重要的成分,并且极有可能是超出标准模型以外的粒子。因此暗物质的研究具有十分重要的意义,不仅可以促进人类更好地认识宇宙结构和演化、质量的起源等基本问题,还可以促进天体物理学、宇宙学和粒子物理学等学科的发展,并且可能带来物理学的重大变革,打开“新物理”研究的大门。

## 2 暗物质直接探测实验的重要性和方法

由于暗物质粒子是未知的,因此要从实验上探测暗物质粒子就需要“借助”于已知的标准模型的粒子。一般地,根据

暗物质粒子与标准模型粒子可能存在的作用方式,可以采用3种方法来探测暗物质粒子。

第1种方法是加速器实验。其原理是:利用加速器将标准模型粒子(如质子、电子等)加速到极高能量后再对撞,碰撞的过程可能会产生暗物质粒子。由于暗物质粒子与探测器的反应截面非常低(弱相互作用量级),因此不易被探测到而是直接逃走,称为“消失的部分”。相反地,碰撞产生的大部分次级的粒子属于标准模型的粒子,可以通过探测器系统记录下来。通过研究分析探测到的这部分,就可以反推“消失的部分”的各种性质。这种方法典型的实验是位于欧洲核子中心(CERN)的大型质子对撞机(LHC),其最大能量可达14 TeV<sup>[4]</sup>。LHC一期已经完成运行,但是并没有发现显著的暗物质粒子信号<sup>[4,5]</sup>。目前,LHC二期正在运行,将继续寻找暗物质粒子的旅程。

第2种方法是间接探测法。其原理是,假设暗物质会产生衰变或者与其反粒子(反暗物质粒子)湮灭产生次级粒子,这些次级粒子是标准模型的粒子(如光子,正负电子和中微子等)。通过测量这些次级粒子就可以进行暗物质粒子的测量<sup>[6-8]</sup>。这种方法主要的实验手段包括太空卫星、高空热气球和地面望远镜等,一般通过观测次级粒子在理论模型预期能谱上的超出。典型的实验如ATIC<sup>[9]</sup>、PAMELA<sup>[10]</sup>、Fermi-LAT<sup>[11]</sup>和AMS<sup>[12]</sup>等,观测到了正电子超出部分,疑似暗物质的贡献。2015年底,中国发射了第1颗暗物质探测卫星“悟空”,期望此空间卫星探测系统可以如中国神话中的“齐天大圣”一样用

收稿日期:2016-02-02;修回日期:2016-02-18

基金项目:国家自然科学基金项目(10935005,10945002,11275107,11175099,11475099)

作者简介:赵伟,博士研究生,研究方向为粒子物理实验,电子邮箱:w-zhao11@mail.tsinghua.edu.cn

引用格式:赵伟,程建平,岳骞.基于地下实验室的暗物质直接探测实验[J].科技导报,2016,34(5):26-31;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.05.003

“金睛火眼”在万千本底中识别出暗物质粒子<sup>[13]</sup>。

第3种方法是直接探测法。其原理是:暗物质粒子与靶物质发生散射(一般简化为弹性散射)产生反冲核,通过测量反冲核就可以测量暗物质粒子的相关性质。基于直接探测法的实验一般可以通过两种方式进行暗物质粒子的测量:一种是直接测量反冲核的能谱,再反推暗物质粒子的能谱,可以得到暗物质粒子质量和反应截面的限制信息(即排除线);另一种是测量暗物质粒子与靶物质弹性散射的反应事例率随时间的变化规律。由于地球公转,导致暗物质粒子相对于地球的相对速度会发生年度的变化,从而暗物质粒子的事例率会有一个年度调制的效应,将是暗物质存在的一个非常重要的证据<sup>[14]</sup>。

暗物质探测的3种方法相互补充、相互验证,都具有非常重要的意义。相比其他两种方法,直接探测法是最直接的方法,并且因为“年度调制效应”是暗物质存在的一个非常重要的证据,因此直接探测法也被认为是最有前途的一种方法。对于直接探测实验,一方面暗物质粒子散射产生的反冲核在探测器中沉积能量转化为电离、闪烁光或者热(声子等)信号,通过不同的探测器技术测量其中的一种或者多种信号就可以探测暗物质粒子,如图1所示<sup>[14]</sup>。另一方面,反冲核的理想能谱表现为指数衰减的能谱,并且因为散射截面很低,事例率很少(通常为每千克每keV能量区间每天1个事例率的量级)。因此,直接探测实验需要在本底很低的环境中进行。地下实验室为直接探测实验提供了很好的宇宙线屏蔽环境。

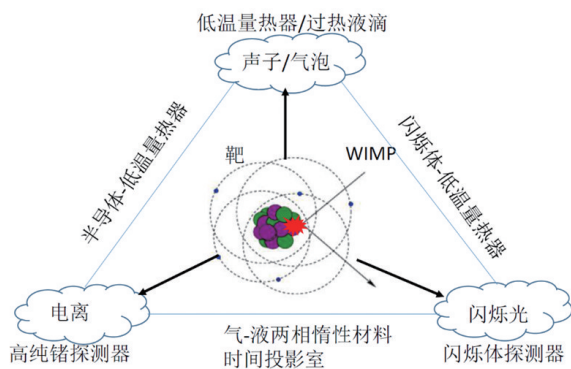


图1 暗物质粒子直接探测法的实验

### 3 暗物质直接探测的必要条件——极深地下实验室

#### 3.1 国际地下实验室超10个,多人由此获诺奖

地下实验室的岩石覆盖可以有效地屏蔽宇宙射线及其次级粒子或者产生的宇生放射核素等本底,为低反应事例率的物理实验提供了良好的环境,如暗物质粒子探测、无中微子双贝塔衰变( $0\nu\beta\beta$ )、质子衰变和中微子探测等,也为国家环境监测如极低放射性本底测量提供了很好的平台。同时,

也为岩石力学、地球科学和极深地下环境生态学等学科提供了良好的实验环境<sup>[15]</sup>。因此,地下实验室特别是极深地下实验室为重大基础学科研究提供了一个综合性的平台,对国家的科学进步具有十分重要的意义。

目前,国际上有超过10个地下实验室正在建设和运行,实验室容积从几百到几十万立方米,岩石覆盖厚度从几百到几千米,主要分布在发达国家。表1列出了其中典型的实验室,岩石覆盖厚度从浅到深,大部分是在矿井的基础上建立起来的,还有一部分是在隧道里建设起来的。相比于矿井型的地下实验室,隧道型的地下实验室一般进出交通更为方便,便于大型设备的运输。目前,位于意大利的格兰萨索国家实验室(LNGS)是世界上容量最大的地下实验室,达到了180000 m<sup>3</sup>,位于一条长约10 km的隧道中间。LNGS目前已经开展了或者正在开展数十个不同学科的科学实验,包括暗物质找寻和中微子探测等。日本的神冈地下实验室容积达到了50000 m<sup>3</sup><sup>[16]</sup>。该实验室最著名的是太阳和大气中微子实验,观测到了太阳中微子振荡现象,该实验负责人小柴昌俊因此而获得了2002年的诺贝尔物理学奖。2015年梶田隆章也因为确认了中微子具有质量而获得了诺贝尔物理学奖。加拿大的SNOLAB实验室也进行了太阳中微子实验,确认了太阳中微子振荡和中微子具有质量,加拿大科学家麦克唐纳也因此分享了2015年的诺贝尔物理学奖<sup>[17]</sup>。

表1 国际上典型的地下实验室

实验室名称	岩石覆盖厚度/km	环境条件	所属国家
苏丹(Soudan)	0.6	矿井	美国
神冈(Kamioka)	1.0	矿井	日本
格兰萨索(LNGS)	1.4	隧道	意大利
杜塞尔(DUSEL)一期	1.5	矿井	美国
杜塞尔(DUSEL)二期	2.3	矿井	美国
莫丹(Modane)	1.7	隧道	法国
斯洛(SNOLAB)	2.0	矿井	加拿大
中国锦屏地下实验室(CJPL)	2.4	隧道	中国

#### 3.2 中国锦屏地下实验室建设进展

2010年以前,中国没有好的地下实验室,很多科学研究无法独立自主展开,只能以合作者的身份参加国外地下实验室的项目,如中国科学院高能物理研究所的科学家参加了意大利LNGS的DAMA暗物质实验,清华大学的科学家参加了韩国的暗物质实验等。

2008年,雅砻江流域水电开发有限公司(原名为二滩水电开发有限责任公司)为了满足水电站建设的需要,在中国四川省凉山彝族自治州内的锦屏山下开通了约17.5 km的交通隧道(如图2)<sup>[18]</sup>。2009年5月,清华大学和雅砻江流域水电开发有限公司联合在隧道中间位置修建中

国第1个粒子物理的极深地下实验室——中国锦屏地下实验室(China Jinping Underground Laboratory, CJPL)。2010年12月, CJPL一期(CJPL-I)正式建成投入使用,其垂直的岩石覆盖厚度约2400 m,相当于约6700 m的水深度,非常有效地屏蔽了宇宙线及其次级粒子,使其通量降至 $(61.7 \pm 11.7) \text{ m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ,是目前国际上宇宙线通量最低的地下实验室<sup>[19]</sup>。同时, CJPL周围岩石的放射性水平也很低。这些条件使得中国锦屏地下实验室拥有国际一流的实验环境<sup>[20]</sup>。

CJPL-I的容量达到了约4000 m<sup>3</sup>,其中主实验厅6.5 m(高)×6.5 m(宽)×40 m(长),包括了3个不同的实验:清华大学主导的中国暗物质实验(China Dark matter Experiment, CDEX)和低本底测量装置(Low-Background Facility, LBF)以及上海交通大学主导的PandaX实验。目前, CDEX和PandaX实验都发表了暗物质直接探测的物理结果,使得中国在自主暗物质研究领域取得了很大的进展,在国际暗物质研究的领域占有一席之地并且处于一流水平<sup>[21-23]</sup>。CDEX和PandaX实验都在计划下一代的实验,将需要更大的实验空间。同时,为了满足其他实验的需要, CJPL二期(CJPL-II)于2013年开始计划筹建,总空间将达到300000 m<sup>3</sup>,分为4个主实验大厅及配套连接隧道,2015年底实验室主体空间建成<sup>[24]</sup>。

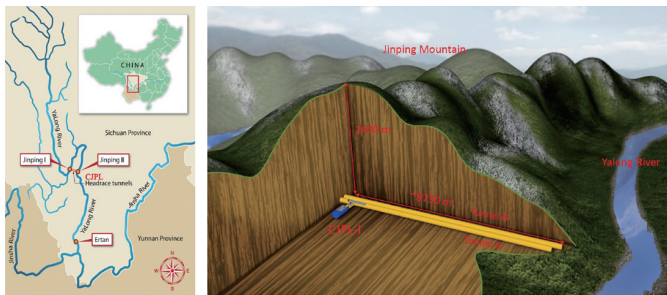


图2 CJPL地理位置(左)及CJPL-I在锦屏隧道中的位置(右)

#### 4 暗物质直接探测实验现状

经过几十年的发展,暗物质直接探测实验取得了很大的进展。一方面得益于探测器技术的进步,对暗物质粒子的探测灵敏度不断的提高,几乎每18个月灵敏度就会提高一个量级<sup>[25]</sup>。另一方面不同种类的探测器技术不断被应用到暗物质粒子直接探测实验中,包括电离型高纯锗探测器、半导体或者闪烁体低温量能器、液氩/氙两相时间投影室和单相液氩/氙探测器和阈值探测器等。如图3<sup>[26]</sup>所示为自旋无关作用机制的暗物质粒子-核子反应截面和暗物质粒子质量的二维相空间;实线为各个典型实验已经取得的成果(即排除线);虚线为各个典型实验下一代探测器设计预期达到的物理目标;阴影区域为几个实验得到的暗物质粒子存在区域。

由图3可见,在未来暗物质直接探测实验中将会面临着中微子本底(黄色粗实线),包括来自太阳的中微子、大气中微子和超新星中微子<sup>[25]</sup>。并且中微子本底在不同暗物质粒子

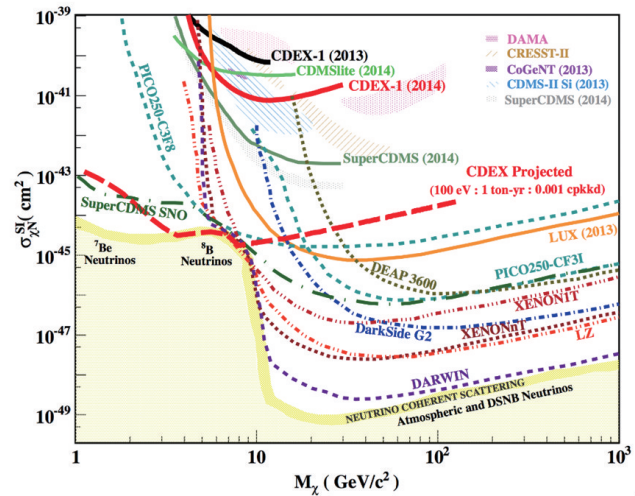


图3 WIMPs直接探测实验的现状和规划

质量区间有很大的差异,大致以10 GeV为“分水岭”,可以将直接探测实验分为轻质量和重质量暗物质两大类实验。下面将按这两类介绍其中典型的实验。

##### 4.1 轻质量暗物质粒子的直接探测实验

此类直接探测实验典型的探测器技术包括点电极高纯锗探测器(Point-Contact germanium, PCGe)和低温量能器等。目前直接探测实验取得的物理结果还没有得到统一的暗物质粒子存在区域,并且得到的排除线距离低质量区间的中微子本底还有较大的空间,各个轻质量暗物质粒子直接探测实验的下一代探测器设计的预期灵敏度都是接近中微子本底的水平。

采用点电极高纯锗探测器的主要实验有CoGeNT<sup>[26]</sup>、TEXONO<sup>[27]</sup>和CDEX实验。TEXONO和CDEX实验组开展多年的合作,在韩国Y2L地下实验室和台湾国圣中微子实验开展了先期实验,论证了低能量阈值的高纯锗探测器对于低质量暗物质粒子具有很好的灵敏度。CoGeNT实验利用330 g的PCGe实验,分别于2011年和2013年发表了轻质量暗物质粒子存在的区域,但是两次结果并不吻合,而且置信度也不高,所以具有较大的争议。CJPL地下实验室2010年建成后, CDEX实验组率先在其中开展利用1 kg级的PCGe探测器直接探测暗物质的实验。2013年CDEX实验组发表了第一次物理结果,接近了CoGeNT的信号区域;2013年底加入了NaI(Tl)反符合探测器技术并重新开始正式运行取数(如图4<sup>[28]</sup>), 2014年发表了第2次物理结果,完全排除了CoGeNT提出的暗物质信号区域。

采用低温量能器的实验目前主要有:SuperCDMS<sup>[29]</sup>和EDELWEISS<sup>[30]</sup>实验,两者均采用高纯锗低温量能器,而CRESST<sup>[31]</sup>实验采用CaWO<sub>4</sub>低温量能器。SuperCDMS实验采用1个600 g的低能量阈值Ge低温量能器测量声子信号,能量阈值达到了56 eVee,灵敏度在1.6~5.5 GeV的暗物质粒子

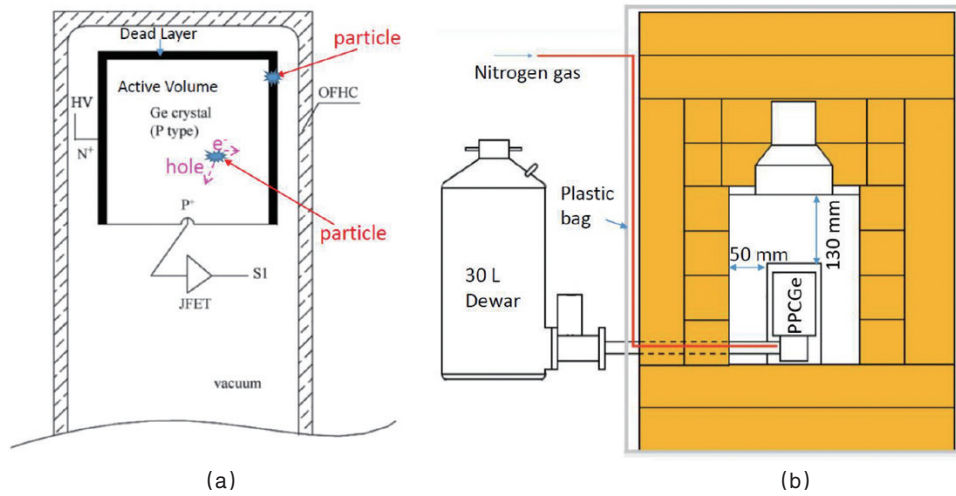


图4 CDEX点电极探测器的探头示意(a)及CDEX实验的实验装置示意(b)

质量区域达到了世界最好的水平。CRESST实验将暗物质粒子的灵敏度扩展至了 $<1$  GeV的区域。

#### 4.2 重质量暗物质粒子的直接探测实验

这类直接探测实验采用的探测器技术主要包括双相液氙/液氙时间投影室(Timing Projection Chamber, TPC)和单相的液氙/液氙探测器。目前,重质量暗物质粒子的直接探测实验的灵敏度在10 GeV附近已经很接近此区域内的中微子本底水平;在更高质量区域还存在一定的空间。

采用两相液氙TPC的典型实验是XENON<sup>[32]</sup>,实验装置和

工作原理示意图如图5<sup>[28]</sup>所示。入射粒子分别在液态和气态氙中产生闪烁光S1和S2,电子反冲和核反冲信号产生的S1/S2不一样,因此可以进行电子/核反冲的甄别。采用类似探测技术的还有LUX<sup>[33]</sup>、PandaX等实验。采用两相液氙TPC的典型实验是DarkSide<sup>[34]</sup>。采用单相液氙/液氙的典型实验有XMASS<sup>[35]</sup>和DEAP3600<sup>[36]</sup>等。

目前,LUX实验给出了重质量暗物质粒子区域最灵敏的实验结果,对于30 GeV的暗物质探测灵敏度达到了 $<10^{-46}$  cm<sup>2</sup>的水平<sup>[37]</sup>。

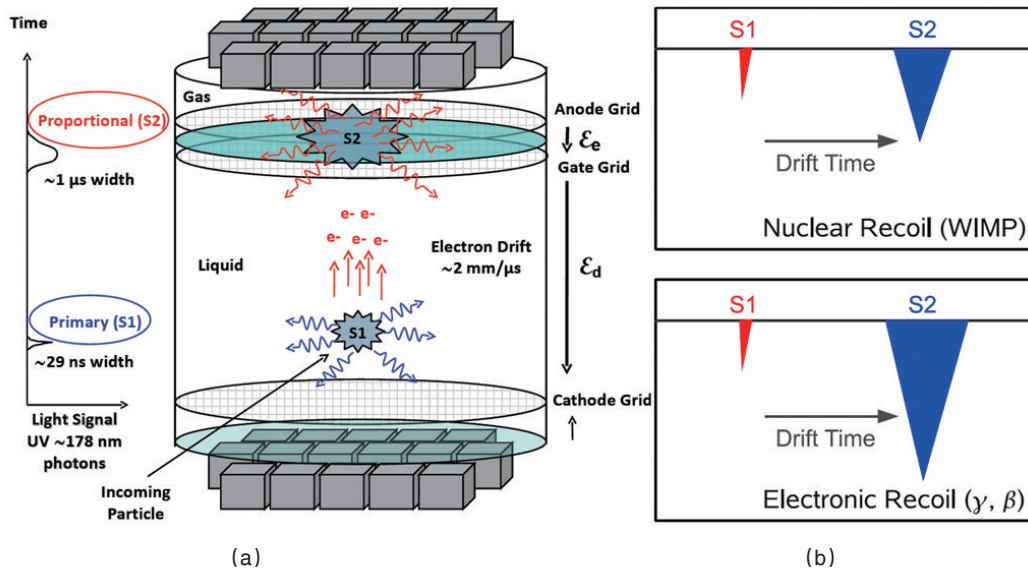


图5 XENON实验装置图(a)及核反冲核电子反冲信号(b)

### 5 暗物质直接探测实验展望

暗物质直接探测实验已经取得了很大的进展,暗物质可能存在的区域也在被实验逐步地缩小。目前的直接探测实

验都已经在开展或者正在进行下一代探测器的设计。下一代探测器总的趋势是提高探测器的质量和降低能量阈值。例如中国的CDEX实验下一代探测器将设计100 kg级的

PCGe 阵列探测器, PandaX 实验也计划开展数吨级的液氙实验。这将是国际暗物质直接探测实验继续处于国际暗物质直接探测研究前沿水平的一个重要机遇期,同时也是一个巨大的挑战,面临着很多技术问题,包括庞大的制冷系统、信号读出和有效的本底控制等。国际下一代暗物质直接探测实验的预期灵敏度将提高 2~3 个量级,希望直接探测到暗物质粒子或者接近中微子本底的水平从而进一步缩小暗物质存在的区域。

### 参考文献 (References)

- [1] Sanders R H. THE DARK MATTER PROBLEM: A Historical Perspective [M]. New York: Cambridge University Press, 2010.
- [2] Cho A. Universe's High-Def Baby Picture Confirms Standard Theory [J]. *Science*, 2013, 339: 1513.
- [3] Bertone G, Hooper D, Silk J. Particle Dark Matter: evidence candidates and constraints [J]. *Physics Reports*. 2005, 405: 279-390.
- [4] CERN. The accelerator complex [EB/OL]. [2016-01-26]. <http://home.cern/topics/large-hadron-collider>.
- [5] Bi X J, Yin P F, Zhou N. Looking for dark matter in colliders [J]. *Physics*, 2015, 44(11): 714-721.
- [6] Chang J, Feng L, Guo JH. Detecting dark matter in space [J]. *Physics*, 2015, 44(11): 707-713.
- [7] Silk J, Olive K, Srednicki M. The photino, the sun, and high-energy neutrinos [J]. *Phys Rev Lett*, 1985, 55(2): 257-259.
- [8] Bertone G. The moment of truth for WIMP dark matter [J]. *Nature*, 2010, 468(7322): 389-393.
- [9] Adriani O, Barbarino G C, Bazilevskaia G A, et al. An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5-100 GeV [J]. *Nature*, 2009, 458: 607-609.
- [10] Adriani O, Barbarino G C, Bazilevskaia G A, et al. Cosmic-Ray Electron Flux Measured by the PAMELA Experiment between 1 and 625 GeV [J]. *Physical Review Letters*, 2011, 106 (201101): 1-5.
- [11] Ackermann M, Ajello M, Allafort A, et al. Measurement of Separate Cosmic-Ray Electron and Positron Spectra with the Fermi Large Area Telescope [J]. *Physical Review Letters*, 2012, 108 (011103): 17.
- [12] Accardo L, Aguilar M, Aisa D, et al. High statistics measurement of the positron fraction in primary cosmic rays of 0.5-500 GeV with the alpha magnetic spectrometer on the international space station [J]. *Phys Rev Lett*, 2014, 113(12): 121101.
- [13] 李强. 中国暗物质粒子探测卫星启运酒泉——择机年底发射 [EB/OL]. 2015-11-16. [http://news.xinhuanet.com/info/2015-11/16/c\\_134819779.htm](http://news.xinhuanet.com/info/2015-11/16/c_134819779.htm).
- [14] Lewin J D, Smith P F. Review of mathematics, numerical factors, and corrections for dark matter experiments based on elastic nuclear recoil [J]. *Astroparticle Physics*, 1996, 6(1): 87-112.
- [15] Kang K J, Cheng J P, Chen Y H, et al. Status and prospects of a deep underground laboratory in China [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2010, 203(1): 20-28.
- [16] 程建平, 吴世勇, 岳骞, 等. 国际地下实验室发展综述 [J]. *物理*, 2011, 40 (3): 149-154.
- [17] 刘仲华. 日本加拿大 2 位科学家荣获 2015 年诺贝尔物理学奖 [EB/OL]. 2015-10-16. [http://news.163.com/15/1006/18/B58V33JD00014JB6.html#from=relevant#xwzy\\_35\\_bottomnewskwid](http://news.163.com/15/1006/18/B58V33JD00014JB6.html#from=relevant#xwzy_35_bottomnewskwid).
- [18] 杨先武, 李胜蓝. 世界第二深埋隧道——锦屏山隧道贯通 [EB/OL]. 2008-08-10 [2015-11-25]. <http://scnews.newssc.org/system/2008/08/10/011024983.shtml>.
- [19] Wu Y C, Hao X Q, Yue Q, et al. Measurement of cosmic ray flux in the China Jinping underground laboratory [J]. *Chinese Physics C*, 2013, 37(8): 45-49.
- [20] Zeng Z, Su J, Ma H, et al. Environmental gamma background measurements in China Jinping Underground Laboratory [J]. *J Radioanal Nucl Ch*, 2014, 301(2): 443-450.
- [21] Zhao W, Yue Q, Kang K J, et al. First results on low-mass WIMPs from the CDEX-1 experiment at the China Jinping underground laboratory [J]. *Physical Review D*, 2013, 88(5): 1201-1205.
- [22] Yue Q, Zhao W, Kang K J, et al. Limits on light weakly interacting massive particles from the CDEX-1 experiment with a p-type point-contact germanium detector at the China Jinping Underground Laboratory [J]. *Physical Review D*, 2014, 90(9): 091701.
- [23] Xiao M J, Xiao X, Zhao L, et al. First dark matter search results from the PandaX-1 experiment [J]. *Sci China Phys Mech*, 2014, 57(11): 2024-2030.
- [24] JAINMIN LIA X J, et al. The second-phase development of the CJPL [J]. *Physics Procedia*, 2015, 61: 576-585.
- [25] Cushman P C G, Mckinsey D. N., Robertson H., et al.. Snowmass CF1 Summary: WIMP Dark Matter Direct Detection [DB/OL]. arXiv: 13108327v1, 2013, 8(2): 395-410.
- [26] Aalseth C E, Barbeau P S, Colaresi J, et al. CoGeNT: A search for low-mass dark matter using p-type point contact germanium detectors [J]. *Physical Review D*, 2013, 88(1): 012002.
- [27] Li H B, Liao H Y, Lin S T, et al. Limits on Spin-Independent Couplings of WIMP Dark Matter with a p-Type Point-Contact Germanium Detector [J]. *Physical Review Letters*, 2013, 110(26): 1-6.
- [28] Zhao W, Yue Q, Li J. Progress in the China dark matter experiment (CDEX) [J]. *Chinese Science Bulletin (Chinese Version)*, 2015, 60 (25): 2376-2386.
- [29] Agnese R, Anderson A J, Asai M, et al. Search for Low-Mass Weakly Interacting Massive Particles Using Voltage-Assisted Calorimetric Ionization Detection in the SuperCDMS Experiment [J]. *Physical Review Letters*, 2014, 112(4): 105-110.
- [30] Armengaud E, Augier C, Benoit A, et al. First results of the EDELWEISS-II WIMP search using Ge cryogenic detectors with interleaved electrodes [J]. *Physics Letters B*, 2010, 687(4-5): 294-298.
- [31] Angloher G. A B., et al. Results on light dark matter particles with a low-threshold CRESST-II detector [DB/OL]. arXiv:150901515v1, 2015: 1-8.
- [32] Aprile E, Alfonsi M, Arisaka K, et al. Dark Matter Results from 225 Live Days of XENON100 Data [J]. *Physical Review Letters*, 2012, 109 (18): 2669-2674.
- [33] Akerib D S, Araujo H M, BAI X, et al. First Results from the LUX Dark Matter Experiment at the Sanford Underground Research Facility [J]. *Physical Review Letters*, 2014, 112(9): 091303.
- [34] Agnes P, Alexander T, Alton A, et al. First results from the DarkSide-

- 50 dark matter experiment at Laboratori Nazionali del Gran Sasso [J]. Physics Letters B, 2015, 743(456-466).
- [35] Abe K, Hieda K, Hiraide K, et al. Search for Bosonic Superweakly Interacting Massive Dark Matter Particles with the XMASS-I Detector [J]. Phys Rev Lett, 2014, 113(12): 121301.
- [36] Boulay M G, Collaboration D. DEAP-3600 Dark Matter Search at SNOLAB[C]//12th International Conference on Topics In Astroparticle And Underground Physics (Taup 2011), Pts 1-6. Bristol: Iop Publishing Ltd, 2012: 012027.
- [37] Akerib D S, Araujo H M, Bai X, et al. Improved WIMP scattering limits from the LUX experiment[DB/OL]. arXiv:1512.03506v1, 2015: 1-6.

## Dark matter direct detection experiments in underground laboratory

ZHAO Wei, CHENG Jianping, YUE Qian

Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** The research of dark matter is one of the most fundamental and challenging topics in the frontier of modern physics, which is significant to the development of cosmology and particle physics. The direct detection experiment of dark matter is one of methods to the research of dark matter, which is thought to be the most compromising. This paper represents: the dark matter detection methods, especially emphasizing on the principle of the direct detection; the main underground laboratories in the world; the typical direct detection experiments aiming at light and heavy dark matter respectively; the prospects of the next generation of dark matter direct detection experiments.

**Keywords** light dark matter; heavy dark matter; direct detection; underground laboratory

(责任编辑 李娜)