

## 科普小博士 从「暗体」 到「暗物质」

### 科学向未来

日前,暗物质粒子探测卫星“悟空”发表了首篇科学论文,打开了暗物质观测的新窗口。其实,在暗物质探测领域,我国不仅在空间探测上有所作为,地面探测也可圈可点——中国暗物质探测实验“熊猫计划”(PandaX)获得的数据,多次成为当年世界最好结果。在位于四川凉山彝族自治州的锦屏山下,在覆盖着2400多米岩石的极深地下,科学家们正在捕捉暗物质存在的最直接证据,不断刷新对暗物质粒子性质的限制纪录,为人类探索自然界奥秘贡献中国力量。

## 大国重器——

# 中国暗物质“捕手”后来居上

本报记者 颜维琦 本报通讯员 江倩倩

2400米深的中国四川锦屏山山体内部,中国首个极深地下实验室里的大型暗物质探测器日夜运转。

“如果把探测器中的原子比作一片树林,暗物质粒子则是成群结队飞奔而来、呼啸而过的兔子,难免有一只或几只不长眼的家伙迎头撞死在某棵树下,被农夫捕获。”上海交通大学鸿文讲席教授、“熊猫计划”(PandaX)项目负责人季向东为我们讲述锦屏山深地隧道中正在进行的PandaX。

从2014年3月23日取数到今天,PandaX已连续运行三年零六个月。2016年、2017年的两年间,PandaX发布的数据都是当年全世界最好的探测结果。“不断地改进仪器的灵敏度,有一天我们可能会探测到暗物质。对暗物质性质的研究,将使人类认知产生一个飞跃。”季向东说,“即便有一天我们探测不到暗物质,对暗物质的研究终将刷新人类对于世界的认知。”

早在19世纪末20世纪初,开尔文勋爵(即威廉·汤姆森,著名的“物理学天空的两朵乌云”的论断的提出者,也是热力学温标的发明人)在计算银河系的恒星质量时就提出,银河系中的大多数星体或许都是“暗体”(dark bodies)。

1906年,亨利·庞加莱(早期翻译作品多译作昂利·彭加勒,是法国著名的数学和物理学家,著名的“庞加莱猜想”提出者)在讨论开尔文勋爵的工作时,在《银河系和气体理论》一文中首次使用暗物质(dark matter)这一词汇。

20世纪30年代到70年代间,不少科学家在观测不同星系时发现引力质量比星系的光度质量大的多。自此,科学家指出宇宙间存在大量看不见的物质——如果只有可见物质参与引力相互作用,那么从星系中心到旋臂,随着半径的增大,旋转的速度会越来越低。根据天体物理理论,这会导致星系的不稳定。我们通过中学物理学过的引力圆周运动公式,也可以简单地得到这一结论。

但实际观测表明,稳定星系旋臂的转动速度随着半径增大,呈现出一个恒定速度,这样才会使星系保持稳定。而这个现象也说明,星系的大部分质量并不是集中在星系中心,而是有许多看不见的“暗物质”分布在整个星系,可见物质只是星系质量的一小部分。

我们知道,物理学发展至今,虽然理论物理已经可以完全独立发展,但理论正确与否,最终要经过可靠实验的检验,理论和实验相辅相成。暗物质的提出,虽然只是来源于科学家们的头脑风暴和数学计算,但是对于人类认识宇宙有着重要意义。至于理论最终会得到证实还是被推翻,还是要靠具体的实验探测来说话。

(本文由科普中国融创创作提供)



新华社发

## 地心“熊猫”的诞生

科学家认为,人类的身边游荡着数量众多的暗物质,看不见,摸不着,总量大约是常规世界物质的6倍。过去十多年,许多科学家穷尽各种实验方法,试图与占宇宙质量85%的暗物质“接触”。这是全世界公认的人类21世纪最重要的科学问题之一,所有的实验合作组都期望率先发现暗物质粒子的信号。

2009年以前,中国本土的暗物质研究还是一片空白。改变始于锦屏山。2008年8月8日,北京奥运开幕当天,锦屏山交通配套隧道贯通。得知这一消息的物理学家们兴奋了,他们敏锐地感到,中国缺乏开展暗物质研究条件的历史,或许将被改写。

2009年3月17日,季向东第一次来到锦屏山。那时锦屏山隧道刚贯通一年多,洞壁一直在冒水。穿着长雨靴,深一脚浅一脚,

季向东进了隧道。那天,一行共7人,现任上海交通大学校长的林忠钦院士带队,还有清华大学、中科院、美国普林斯顿大学、加州大学洛杉矶分校的几位教授。

站在隧道中间,头顶上是厚达2400多米的山体。整条隧道70%以上的部分,埋深大多在1500米以下。在极深的地下,绝大多数宇宙射线被隔离,岩层越厚,屏蔽效果越好,实验环境就越纯净,隧道岩层所含的放射性之低也出乎意料——锦屏山底部是暗物质探测的绝佳宝地。

兴奋,激动,热望,在泥浆满地的煤黑色隧道中央,雅砻江流域水电开发有限公司和清华大学共建中国首个极深地下实验室,“PandaX”计划随之起步。

季向东说,起名“熊猫计划”,一来锦屏山所在的四川是熊猫的家乡,二来也是一个有趣的巧

合——“粒子和天体物理氙探测器”(Particle AND Astrophysical Xenon Detector)的英文缩写里本来就有这几个字母。实验原理是用纯的惰性元素氙(Xe)作为“靶子”来寻找暗物质,由上海交通大学牵头,国内多个合作单位包括北京大学、山东大学、中科院上海应用物理研究所、中科院国家地下实验室进行

的XENON暗物质实验、美国南加州大学大型地下氙项目LUX,以及中国锦屏山实验室的PandaX项目。早在2014年PandaX项目取得首个结果时,《科学》杂志就以《探索暗物质,中国团队迎头赶上》为题,进行了报道。

这三个项目是目前中国暗物质探测的主要科研团队。在与世界“赛跑”的同时,中国的暗物质“捕手”后来者居上,不断刷新“世界纪录”,领跑暗物质探测的国际前沿。

“中国的三支暗物质探测队伍虽然使用了不同的探测途径,但都在各自实验的基础上取得了非常好的成果。”季向东说,“在未来的时间里,PandaX项目打算进行4吨级液氙探测器探测实验,甚至联合世界科学家进行30吨级液氙探测器的大型实验,一步一步将实验向前推进,相信会有乐观的结果产生。”

“暗物质研究的意义非常重大,中国的科学家有能力为人类探索未知宇宙做出自己的努力。”季向东说。

暗物质探测的主要科研团队。在与世界“赛跑”的同时,中国的暗物质“捕手”后来者居上,不断刷新“世界纪录”,领跑暗物质探测的国际前沿。

“中国的三支暗物质探测队伍虽然使用了不同的探测途径,但都在各自实验的基础上取得了非常好的成果。”季向东说,“在未来的时间里,PandaX项目打算进行4吨级液氙探测器探测实验,甚至联合世界科学家进行30吨级液氙探测器的大型实验,一步一步将实验向前推进,相信会有乐观的结果产生。”

## 三支“国家队”共探“幽灵粒子”

“尽管我们目前还没有发现暗物质的踪迹,但这些实验结果使暗物质的轮廓越来越清晰,我们正处在发现暗物质的边缘。”季向东表示。

在锦屏山的隧道中央,清华大学牵头的CDEX研究计划也在持续进行,他们选择了高纯度锗作为“靶子”,提出利用极低能量阈高纯锗探测器探测较低质量范围的暗物质粒子的研究计划。

2015年12月,由紫金山天文台暗物质与空间天文研究部和中国科技大学、中科院兰州近代物理研究所、中科院高能物理研究所等合作研发的暗物质“捕手”探测卫星“悟空”发射升空,标志着中国正式进入暗物质空间探测领域。如今,“悟空”正在陆续产出科研成果。

这三个项目是目前中国暗物质探测的主要科研团队。在与世界“赛跑”的同时,中国的暗物质“捕手”后来者居上,不断刷新“世界纪录”,领跑暗物质探测的国际前沿。

“中国的三支暗物质探测队伍虽然使用了不同的探测途径,但都在各自实验的基础上取得了非常好的成果。”季向东说,“在未来的时间里,PandaX项目打算进行4吨级液氙探测器探测实验,甚至联合世界科学家进行30吨级液氙探测器的大型实验,一步一步将实验向前推进,相信会有乐观的结果产生。”

暗物质研究的意义非常重大,中国的科学家有能力为人类探索未知宇宙做出自己的努力。”季向东说。

2012年8月16日,我乘坐运送“熊猫计划”(PandaX)设备的卡车,三天三夜几乎没睡,奔波两千五百公里到达四川。那是我第一次到四川,到今天,整整五年。

今天,我不给大家科普暗物质,以参与者的视角讲讲背后的故事。

2010年9月,我还是一名上海交通大学致远学院大三学生,首次在季向东教授的物理课上听到暗物质,我深深为之着迷。得知PandaX需要有志从事物理实验的同学一起“玩”,我就申请加入PandaX实验组。两年准备中,我们跨过技术壁垒,成功研制设备。2012年8月,由我押车,陪伴襁褓中的“熊猫”开始从上海到四川的征程。

2014年10月,一期实验告一段落,“熊猫”度过了它的童年,要加入国际竞争了。实验组委派我负责协调从一期到二期实验的升级,之后还委任我作为二期实验的现场负责人。我们踌躇满志,认为有了一期的经验和前期研发,作一个体量大几倍的探测器不在话下。

可事与愿违,探测器在调试运行中发现有泄漏。这只是第一次失败。紧接着是第二次、第三次、第四次……每一次修复都要经过2、3个月的周期。

我也曾经动摇过。那一天,2015年9月26日,我开车穿过10千米的隧道,将小伙伴们送回营地后,独自留在车内。我彻底崩溃了:是不是整体实验设计有问题?是不是应该全盘否定推倒重来?我是不是不该读博士?我的学术生涯是不是就要这样结束了?我为什么不听劝告去当个程序员或者去银行找个工?我趴在方向盘上一动不动,哭了不少小时。

但我不甘心。我拿起电话打给刘江来教授,我有一个大胆的方案:在现场直接对零件进行切割,大幅度改变电路的设计。这会使设计不完美,但完成远比完美更重要。经过几天的讨论和争辩,团队优化了方案。2015年11月底,我们终于开始数据采集。那一刻,所有人都喜极而泣:我们成功设计、制造并运行了一台世界上最大、最灵敏的暗物质探测器。

然而,发展并不顺利。探测器的问题解决后,因为氙气的提纯和蒸馏又遇到数次失败。直到2016年3月9日,PandaX-II才开始稳定运行。

世界上探测暗物质的实验有不同美国,与我们采用类似探测技术的,有美国主导的LUX实验和欧洲共同主导的XENON实验。两家实验相互竞争着对暗物质参数空间限制的世界领先地位。科学研究只认第一、不认第二,我们必须分秒必争。

2016年7月21日,我与季向东教授参加了在英国的国际暗物质大会,发布了二期实验的第一个物理结果,对暗物质存在的参数空间做出了当时最强的限制,与同期发布的LUX实验的最后一个物理结果相当,引起国际同行的强烈反响,论文以《物

理评论快报》封面文章形式发表。不过,优势并没有保持太久。2017年1月,LUX实验发布的结果超过了PandaX-II的灵敏度。2017年5月,XENON1T实验结果又超过了LUX。而我们又经历了一次失败——氙气又需精馏提纯。2017年春节,我在锦屏度过。4月,我们恢复了实验数据的采集。8月,季向东教授在2017国际高能粒子天体物理大会上公布了PandaX-II最新结果。我们再次取得世界领先的灵敏度!

2015年,我在锦屏现场288天,2016年280天,2017年预计也会超过280天,我最美好的青春在四川大山中陪伴“熊猫”成长,成了一名不折不扣的山底洞人。

我是幸运的,我的祖国有足够的魄力和格局,去做一些仅有长远收益的投入;我的家庭非常开明,鼓励我去成为一个自己想成为的人。

很多人问我:暗物质有什么用?我很难回答这个问题。基础科学并不仅仅为了“有用”。我们的项目有可能首先直接探测到暗物质粒子,也有可能若干年后我们的方向被证实是错误的,但这都没关系,人类对于自然的探索绝非教科书那么简练。历史长河中绝大多数的科研工作都是“炮灰”,都是试错,但绝非毫无意义。它告诉后人,在不可数无穷多个探索方向中,有一个看似能有突破的方向很可能走不通。

基础研究99%的过程都伴随着超高强度的体力和脑力劳动,伴随着枯燥、乏味、痛苦和自我怀疑。但当初那1%“会当凌绝顶”的巅峰时刻来临,“幸福”二字不足以描述人类精神需求中自我实现层面的巨大满足。我只是想满足我的好奇心,也是人类的好奇心。我热爱这样的基础研究,热爱探究自然奥秘的真相。(作者系PandaX项目组成员,博士研究生)

谈安迪

见证

新华社发