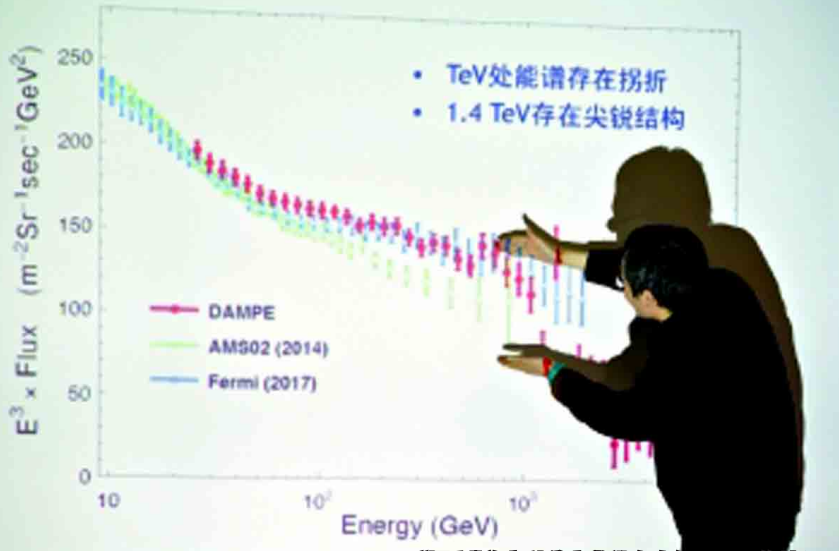


# “悟空”号的发现是怎么来的

北京时间2017年11月30日,《自然》杂志在线发表了我国暗物质粒子探测卫星“悟空”号的首批成果。评论认为,“悟空”在太空中测量到电子宇宙射线的异常波动,有可能为我们带来暗物质或天体物理领域的重大发现。

《环球科学》杂志记者专访了“悟空”首席科学家、紫金山天文台副台长常进,对此进行了深入解读。记者发部分内容,以飨读者。

## 悟空号的高精度电子能谱



“悟空”首席科学家常进在介绍卫星工作情况。

## 寻找暗物质的三条路线

科学家总能从怪异现象中找到灵感。上世纪30年代,瑞士天文学家弗里茨·兹维基发现,星系团的总质量远大于根据发光度计算的结果,最多可能有99%的质量无法解释。也就是说,星系运动速度太快,仅靠发光物质束缚不住这些星系。兹维基因此推测星系团中存在大量不发光的物质,善于创造新名词的他把这种物质称为暗物质。

这为物理学开创了新的研究领域。从上世纪70年代开始,这种神秘物质就一直处于物理学研究的最前沿。但长期努力未能求得理想结果,科学界只是知道这种物质不仅“看不见”,其特性和标准物理模型中的任何基本粒子也都不相同,是一类全新的物质形态。

科学进步就是这样。有人发现异常,就有人提出新理论去解释这种异常。很多物理学家相信,暗物质是由大质量弱相互作用粒子组成的。关于暗物质粒子最有吸引力的一个理论是超对称理论,该理论认为每种已知粒子都有一种对应的伙伴粒子,而大质量弱相互作用粒子就是这些伙伴粒子中最轻的。物理学家喜欢这种假设,因为大质量弱相互作用粒子总量的理论预测值刚好和暗物质总量差不多——巧合有时就意味着希望。

根据科学家的推测,可见物质的总质量大约只能占到宇宙总质量的5%,另外95%都是不可见物质——暗物质和暗能量,其中暗物质可以占到宇宙总质量的27%。科学家还推测出了暗物质的某些物理性质:不发光、数量多(每平方厘米每秒就有约10万颗暗物质粒子飞过)、寿命长(否则暗物质粒子早就在宇宙形成后的漫长岁月中衰变成了其他物质)、速度快(每秒运动速度可以达到220千米,相当于子弹速度的600倍)。

尽管听起来清晰明了,但要通过实验手段观测到这些物质从而证明科学界的猜测,其难度之高就完全是另外一件事情了。暗物质完全不会与任何可见物质发生作用,科学家也就不能做出一个容器来捕捉这些暗物质。但暗物质并没有暗到无法被发现的地步,它的湮灭会放出伽马射线、中微子和其他带电高能粒子,这就为暗物质的发现提供了理论依据。

原本,科学界认为通过加速器就可以找

到暗物质。从本质上说,加速器探测就是通过高能粒子碰撞模拟宇宙大爆炸,将暗物质粒子打出来,然后再观测其性质。在瑞士,当今世界上最大的加速器上有两个大型的实验装置——ATLAS和CMS就一直在做这方面工作。

这种方法在理论上简单直接,实现起来却困难重重,迄今为止都没有任何大型对撞机能给出让人兴奋的答案。其实,在发现新的粒子方面,对撞机的重要性似乎越来越不那么令人满意了:继希格斯玻色子以后,大型强子对撞机就再没碰撞出任何新的基本粒子了。

针对暗物质的第二种探测方法因此得到了大范围的应用。这种方法基于一种假设:暗物质粒子会和普通原子核碰撞(目前得到普遍应用的三种候选原子分别是硅、氙和氩),如果静止的原子核动了一下,就可能是暗物质碰撞引起的。之后,只要把这个碰撞转化成光信号、电信号或者热信号,科学家就能推断出暗物质的存在,进而研究它的性质。

但这种观测方法有着非常苛刻的要求。因为地面上使用的材料里都有很微量的放射性元素,这些放射性元素衰变的时候,发出的辐射的能量范围和暗物质粒子碰撞时一样;另外,天上也有大量高能粒子,高能粒子和大气作用产生的次级粒子也会影响对暗物质的观测。

要解决这些问题,最好的办法就是把检测装置埋藏在非常深的地下。实验室越深,宇宙射线对观测的干扰就越小。在四川的雅砻江锦屏山隧道里,中国就建成了世界上最深的地下实验室,在这个位于2500米厚的山体下面的实验室里,宇宙射线通量可以降低到地面水平的亿分之一。即便如此,在实际运行了6年时间之后,这里仍然没有发现暗物质的踪迹。

而第三条路线就是到空间探测暗物质粒子相互碰撞后产生的可见粒子。星系中,普通物质是盘状的,只有暗物质相互作用才可能产生云状的伽马射线分布。因此,只要在GeV以上级别的能段上探测到伽马射线谱线,或者发现了球状或云状分布的伽马射线辐射,那就是宇宙在向人类发出强烈暗示:我们可能找到了暗物质。

## 年轻中国科学家提出新的方法

1992年,常进在中国科学技术大学拿到硕士学位后,来到紫金山天文台,进入这里的空间天文实验室。年轻人的思维是最活跃的,很多重大的科学发现、创新都是科学家在年轻的时候做出的。刚过而立之年的常进提出了一种新的电子宇宙射线探测方法。

1998年在德国做访问学者时,常进得知美国要在南极开展一个名为ATIC的宇宙射线观测项目。根据自己的新方法,常进认为ATIC完全可以在不改动硬件的情况下观测高能电子和伽马射线,这可能会让自己的方法得到一个难得的验证机会。他成功说服美国科学家把探测器送到瑞士加速器上试验,试验结果证明他的方法完全可行。

2000年底,当几千立方米的气球在南极上空升起,并在37千米高的天空完成高能粒子观测时,惊喜出现了。常进发现,观测到的高能电子流量远远超出模型预计的流量。这些异常就像太空打出的惊叹号,每个曾试图窥探宇宙奥秘的物理学家都知道这意味着新的发现。

常进本能地想到了暗物质,这是一个已经萦绕在他脑海中太久的词汇。根据理论预测,暗物质的反物质就是其本身,两个暗物质粒子碰撞会产生电子、伽马射线等高能粒子。如果监测到的高能电子和伽马射线远超预期,不明来历的那部分很可能就源自暗物质。

这次意外让常进找到了事业新方向。2008年,他在《自然》上发表文章,介绍了宇宙高能电子的异常发现,这被美国物理学会和欧洲物理学

会评为当年物理学领域的重大研究进展。科学界认为,该观测如果被证实,有可能是人类第一次发现暗物质粒子湮灭的证据——湮灭意味着可观察,可观察又意味着可寻找和可理解,暗物质研究至此迎来曙光。

ATIC的气球留在空中的时间确实太短了——只有20多天,而且精度也不够高。与名声大噪的引力波探测不同,证明暗物质存在的最主要依据不是一个特异信号,而是要通过大数据分析避免统计涨落,从而证明一种具有完全不同性质的新物质存在于这个世界上。

要实现这些目标,最好的工具就是卫星。新世纪之后,常进不断申请太空暗物质探测计划,“从2002年算起,申请次数怎么也得十多次。”

虽然探测卫星的计划一直没有得到明确支持,情况仍然在不断改善。这几年间,常进参与了载人航天和探月工程,对神舟系列飞船、嫦娥系列卫星的研发做出了重要贡献。他甚至还参与了日本的暗物质探测器——量能器电子太空望远镜(CALET)的研发,受邀对探测器进行新的物理设计,他的技术路线正一步步地获得国际认可。

“国际上几个同类探测器使用的都是常进的方法,只是做了适度的改进。”同样在紫金山天文台工作的伍健,在苏黎世工作期间参与过AMS01的工作,这块永磁体是阿尔法磁谱仪最核心的部件之一:“这种方法让探测器的重量降低了三分之一,观测灵敏度提升了50%以上,探测器的效率相当于翻了一番,而且,项目需要的费用也大幅度降低了。”

## “悟空”号果然不负众望

2011年5月,正是在阿尔法磁谱仪被送上太空后,国际上围绕暗物质探测的竞争渐入高潮。中国科学院也开始启动一系列大型的科学项目。很快,间接探测暗物质就入选了中国科学院的战略先导专项空间科学项目,一直在做这项工作的紫金山天文台和常进终于从幕后走到前台。

2015年12月17日,肩负着寻找暗物质粒子重任的“悟空”号从酒泉卫星发射中心成功发射。常进和他的团队终于进入暗物质间接探测竞赛的前沿。

按照最初的规划,“悟空”号将在升空后的两年时间内完成一次全天扫描;之后一年,“悟空”号将对暗物质较多的地方进行针对性扫描。这样,在三年设计寿命到期前,“悟空”号将给出很多关于暗物质的证据,由此积累的大量数据也是进一步分析的基础。

不只常进,甚至不只紫金山天文台和这个机构的合作伙伴,所有关注暗物质的科学家都在关注这个团队的进展,即便大家使用的是完全不同的研究方法。因为,这三种方法在理论上来说可以互为补充。如果“悟空”号找到的暗物质粒子的质量超过现有加速器的能量上限,加速器的能量就必须提高,地下直接探测实验的方案也就有了明确的努力方向。

这一点在去年更加明显了。2016年3月,丁肇中宣布最快可能在2024年通过观测证实暗物质的存在;4个月后的7月21日,中国锦屏山地下实验室PandaX的负责人季向东宣布,在3.3万千克/天的曝光量下,实验室没有发现暗物质粒子踪迹,实验室在此前100天记录的3000万次事件中仅有一个可疑,这个事件最后也被证实源自材料的放射性。越来越多的人都从那时开始等待南京的响声,大家都期待这个团队能给这项事业带来好消息。

通过空间探测器寻找暗物质粒子碰撞后产生的可见粒子,是“悟空”号探测暗物质粒子采用的手段。如果暗物质湮灭产生正、负电子对,将在电子宇宙射线的能谱上留下异常的特征性谱线。根据此前阿尔法磁谱仪、费米卫星等探测器传回的能谱数据,科学家在1TeV(1012电子伏特)以下的能谱中,已经发现了一些异常。如果能够发现1TeV以上的区域进一步发现暗物质特有的“截断”,将为部分射线起源于暗物质提供关键的证据。

根据理论预测,如果暗物质直接湮灭成正、负电子对,将在1TeV处出现一个非常陡的特征性截断。

但遗憾的是,这已经超出了先前的探测器的探测范围。而“悟空”号的一项重大突破,正是将空间探测器的探测波段提升至1TeV以上,为人类打开全新的观测窗口。经过近两年的观测,“悟空”号首次直接测量到1TeV处的能谱拐折。

令“悟空”号团队感到欣喜的,还有一项意料之外的现象:在1.4TeV处,探测器观测到尖锐的能谱结构。研究团队表示,这一现象仍需更多观测数据予以证实,他们期待“悟空”号接下来一年的数据能确证这一结构。一旦得以确认,理论物理学家将对其来源进行进一步分析。研究团队称,该结构隐藏着两类可能的解释:或是为暗物质粒子的存在提供新的证据;或是银河系中存在前所未见的新奇天体(它们可以加速出几乎单能的高能电子)。无论哪一种解释,都将成为引人注目的重大突破。

“我们还在按部就班地分析,要确保数据准确。”常进冷静地说:“观测数据的确令人振奋,但其意义还需要物理学家、天文学家分析和解读。”

据《北京日报》