

· 访谈 ·



周宁,清华大学物理系助理教授,2014年“青年千人”。研究方向为超出标准模型新物理、对撞机实验 ATLAS 上暗物质及奇异物理的搜寻、暗物质方向性直接探测实验、中国未来大型对撞机实验的模拟。

周宁:LHC“重出江湖”探寻暗物质

在宇宙的物质成分中,大约70%不是由已知的物质构成,而是存在大量不可见的物质,天文学家很早之前就获得了支持这一观点的证据。20世纪,天文学家对许多涡旋星系的旋转速度进行了精确测量,他们发现星系外围部分的旋转速度远远大于预期,似乎有强劲的引力拉扯着那些外围的恒星,其拉扯强度远远超过可见恒星施加引力的总合。因此天体物理学家认为最合理的解释是,这些星系中包含一些无法被常规手段探测到的物质,却可能对星系施加引力作用,天体物理学家称这种目前无法探测到的物质为“暗物质”。

无论暗物质是什么,大多数天文学家始终相信它确实存在。科学家对于暗物质的找寻一直未曾停下脚步。对撞机、空间探测和地下探测一起构成了目前搜寻暗物质的3大主要手段。对撞机作为探测手段之一,试图通过加速粒子达到很高能量并发生碰撞,从而可以模拟宇宙早期的状态,如果能量足够高,就有可能产生出暗物质粒子。研究者们想要借对撞机揭开有关宇宙基本组成的更多谜题,他们希望能在未来几年首次获得暗物质存在及其组成的实际证据。2015年,欧洲大型强子对撞机LHC在休整2年之后,重新启动探寻暗物质,曾经作为ATLAS(LHC实验之一)奇异物理中暗物质寻找召集人的周

宁接受了《科技导报》采访,为我们揭开对撞机上探寻暗物质的发现之旅。

对撞机上创造暗物质

对撞机上搜寻暗物质采用了主动创造这些粒子的办法。爱因斯坦的质能方程 $E=mc^2$ 表明能量和质量是等价的,在一定条件下可以相互转换。大型强子对撞机上进行的粒子碰撞实验是把质子加速到足够高能量碰撞湮灭产生出新的四散逃逸的粒子,进而被设置在对撞点周边的探测器记录下来。理论上讲,如果能量足够高,对撞机内的碰撞就很有可能产生出暗物质粒子。但鉴于暗物质粒子是隐身不可见的,所以对撞机内的设置的探测器无法探测到暗物质的存在。周宁表示这样的话,对撞机内碰撞产生的粒子就会有一部分不翼而飞,如果发生这样的能量失踪,就可以直观地证实对撞机创造出了暗物质粒子。

对撞机上搜寻暗物质的方式,周宁认为有2种。一是入射粒子产生一些其他较重的新粒子,这些新粒子是不稳定粒子,它们会衰变到轻的、稳定的暗物质粒子。新粒子产生和衰变的过程中伴随大量标准模型粒子的产生,因此信号包括了多种粒子。另一种是入射粒子直接碰撞产生一对暗物质粒子。暗物质粒子的特别之处在于它和普通

物质的相互作用很微弱,即使产生出来也将迅速逃离出探测器而不产生任何的信号,这一点和中微子非常相像。由于暗物质会带走一定的能量和动量,因而在一个对撞事例中表现为存在“丢失”的能动量。

周宁介绍,欧洲大型强子对撞机(LHC)是目前全球最大、能量最高的粒子加速器,同时也是目前最复杂的实验系统。它通过埋入地下100 m深、总长27 km的超导磁铁加速并碰撞粒子,可在微观尺度上还原宇宙大爆炸后的宇宙初期形态,帮助科学家研究宇宙起源并寻找新粒子。大型强子对撞机的隧道里安放了4个探测器CMS(紧凑缪子线圈)、ATLAS(超环面仪器)、LHCb(底夸克探测器)和ALICE(大型离子对撞机)。科学家们希望通过这些探测器,在能量为数万亿电子伏特质子对撞中发现有意义的新物理。

曾经作为ATLAS奇异物理中暗物质寻找召集人的周宁,重点寻找暗物质和单个粒子共同产生的反应过程,对一系列暗物质产生模型给出了排除限。在他看来搜寻暗物质的3种探测方式相互补充、相互验证、在任何一种探测方式上发现暗物质粒子的信号,原则上就可以期待在其他探测方式实验上也能看到信号。他强调说,如果直接探测实验观测到暗物质碰撞原子核的信号,



欧洲大型强子对撞机 LHC(图片来源:周宁)

则这种暗物质和夸克或胶子有一定的相互作用,从而 Tevatron 或 LHC 这样的质子对撞机就可以产生出来这种暗物质。同样的,这种暗物质也可以湮灭产生出夸克,从而给出间接探测信号。3种暗物质探测方式各有自己的优势和劣势,结合不同探测手段以得到一个统一的暗物质图像。

LHC 升级再出发寻找暗物质

欧洲大型强子于 2008 年 9 月对撞机建成运行,2012 年末结束首阶段运行。这一阶段的 2 个强子对撞实验项目 ATLAS 和 CMS 均证实了“上帝粒子”希格斯玻色子的存在。2013 年 2 月, LHC 关闭进行维护和升级。科学家和工程师们在此期间对 LHC 进行了大规模的基础设施优化工作,升级了加速器和探测器。2015 年 LHC 重启的目标是以 13 万亿 eV 的质子束流能量进行实验,相较此前以 7 万亿~8 万亿 eV 的能量进行对撞实验,能量提高了约一倍。2015 年 4 月 7 日,欧洲核子研究中心发表公报称,欧洲大型强子对撞机当地时间 4 月 5 日 10:41 发射出第一束质子束流,12:27 从相反方向发射另一束质子束流,两束质子束流循环的注入能量为 0.45 万亿 eV。自此, LHC 重新出发,带着更高的能量搜寻暗物质。

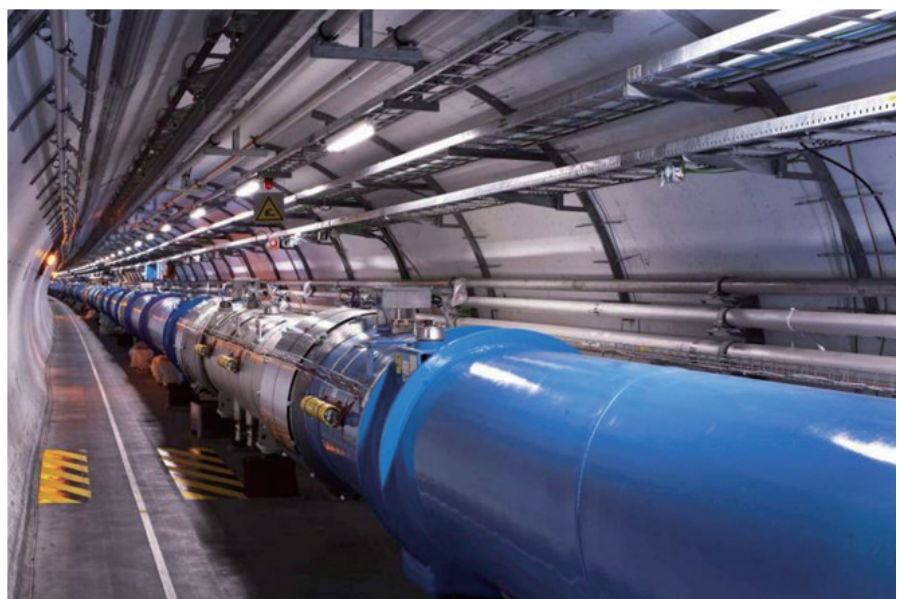
在第一阶段,周宁参与的 ATLAS 实验通过观测其它和暗物质一起产生

的粒子,来推算被暗物质带走“丢失的”能能量,并进一步确定暗物质粒子的性质。根据和暗物质共同产生的粒子种类和数目,他们划分了不同的反应道,有侧重的寻找暗物质的各种属性。在 LHC 一期数据分析中,周宁重点寻找暗物质和单个粒子共同产生的反应过程,对一系列暗物质产生模型给出了排除限。他提到,目前 LHC 二期数据采集已经开始,各个暗物质寻找工作正如火如荼的进行中。由于二期数据的对撞能量有大大提高,暗物质信号的灵敏度

也显著增加,最近几年将是对撞机上寻找暗物质的一个激动人心的时期。

为何 LHC 能吸引 30 多个国家的科研人员协力实验,在周宁看来, LHC 是一个质子对撞机,是世界上目前最大的对撞能量最高的粒子对撞机,科学家冀希望通过这个大型对撞机解答众多自然界的未解问题。典型的有,标准模型中的给出基本粒子质量的希格斯机制是真实的么?有多少种希格斯粒子及其质量?自然界中是否有超对称粒子?是否存在额外维空间?宇宙中的暗物质与暗能量到底是什么物质?等等。关于这些问题的发现,都将是物理学的变革性突破,会为人类打开了崭新的物理世界。这就吸引了全世界众多国家的眼光和参与。LHC 建设及其复杂,技术要求及其前沿,因此,无论从资金还是技术上,不是少数一两个国家能够承担的起,而需要全球的物理学家一起努力。反过来,通过建设 LHC,各个国家自身的人才队伍也得到锻炼,科学技术也得到发展。

2015 年 LHC 重新开启,升级后的加速器会带来更高的对撞速度,周宁也对此充满希望和信心,期待能在“重生”后的 LHC 上搜寻到暗物质的蛛丝马迹。



世界最大粒子加速器欧洲大型强子对撞机(LHC)(图片来源:观察者)

LHC 发现希格斯粒子为搜寻暗物质提供窗口和契机

2012年, LHC 帮助科学家们发现追寻了很久的“上帝粒子”——希格斯玻色子, 这一粒子是物质的质量之源, 赋予所有粒子质量。希格斯玻色子本身也有质量, 为 1250 亿 eV, 约为质子质量的 130 倍。

对于希格斯粒子, 周宁说它是粒子物理标准模型中存在的一个粒子, 其于 2012 年在欧洲核子中心的 ATLAS 和 CMS 实验中被发现。至此, 标准模型中所有粒子都已经发现。目前, 周宁表示, 不断提高测量精度乃至计划建造新的对撞机去检验希格斯粒子的物理性质, 因为自然界的希格斯粒子有可能和超出标准模型的新物理相关联, 从而导致其性质和标准模型的预言有所差异。比如, 希格斯粒子有可能和暗物质这个超出标准模型的粒子存在耦合, 从而作为暗物质和可见物质联系的纽带, 这样就会导致希格斯粒子不可见衰变的分支比发生变化。周宁与其研究团队在 LHC 一期数据分析中系统性的测量了希格斯粒子的性质, 他在 ATLAS 实验上通过 W 玻色子和希格斯粒子共同产生的过程去进行不可见衰变测



周宁在 LHC 实验现场

量。在目前的测量精度下, 周宁等人尚未发现明显的超出标准模型的性质。但是随着以后测量精度的提高, 他们期待能有所发现。总之, 希格斯粒子的发现给科学界带来了一个发现新物理的窗口和契机, 这个新物理有可能和暗物质联系起来。

虽然 LHC 是通过间接手段推断暗物质的存在, 但周宁表示, LHC 的搜寻试验一样具有很强的科学性。在他的理解看来, 如果暗物质粒子和标准模型粒子有一定的相互作用, 那么可通过标准模型粒子对撞产生出暗物质, 同样,

暗物质也可以湮灭到标准模型粒子, 形成宇宙中的伽马射线、中微子、反物质等成分。丁肇中先生主持的 AMS 实验以及中国刚刚发射升空的暗物质探测卫星“悟空”, 就是这样间接探测暗物质的实验。其能够探测来自于远处的某个暗物质结构所产生的信号, 并可以同时多个能量段对不同宇宙线粒子进行探测, 从而覆盖很大暗物质质量区间。

期待中国大型对撞机

周宁非常期待中国建造自己的大型对撞机。在他看来, 中国未来大型对撞机实验目前计划分两步走, 第一步是在 2020—2025 年间开工建设能量为 250 GeV 的高能正负电子对撞机, 目标是产生大量干净的希格斯粒子, 从而精确测量希格斯粒子性质, 并可以寻找新物理可能出现的迹象。如果那时候高能物理出现了新物理迹象而且质子对撞机被证明有必要建设和关键技术取得突破, 第二步则是在 2040 年左右开始建设质子对撞机, 其对撞能量大大超越 LHC, 从而全面寻找新物理。

文/祝叶华(《科技导报》编辑部)
(责任编辑 陈广仁)