

因为有暗物质存在,所以太阳没有飞出银河系

从太阳系的边缘看地球,地球就像一颗太阳里的浮尘。银河系里大概包含了一千亿个这样的太阳,当我们从银河系里看太阳的时候,它根本连浮尘都算不上,是一个点。

银河系是一个棒旋星系,包括一根棒,两个大的旋臂,两个大的旋臂又分了好多小的旋臂。我们的太阳与银河系中心的距离大概是 2.5 万光年。

在北京兴隆山上,有个 LAMOST 望远镜,它是我国目前最大的光学望远镜,通过测量大量的恒星光谱,得出太阳以每秒 240 公里的速度围绕银河系中间转,转一圈需要 2.3 亿年,所以你这辈子都不可能绕银河系转一圈了。



61种基本粒子最难测出来的是希格斯玻色子——“上帝粒子”。为什么它这么难探测?因为不知道它的质量多大。而寻找希格斯玻色子是大型强子对撞机的最初目标之一。图为欧洲核子研究中心(CERN)的LHC(Large Hadron Collider),其是目前世界上最大、能量最高的粒子加速器。(图片来自网络)

地球装满暗物质只有几公斤

我们知道,人造卫星绕地球转,离地球越近的时候速度越快,离地球越远的时候速度要慢下来。如果卫星在离地球很远的地方仍然保持高速,它肯定会跑出地球,飞进太阳系。

但是有一个很有趣的现象,银河系里的发光物质或者气体的分布,大概是 10 万光年这样的尺度,根据太阳和银河系中间发光物质的分布,科学家可以准确地把太阳绕银河系的速度计算出来,大概是每秒 160 公里。

但刚才我们提到,LAMOST 观测到的太阳实际绕行速度不是每秒 160 公里而是 240 公里,为什么太阳的速度这么快,却没有飞出银河系呢?是因为太阳和银河系中间存在着

大量我们还没看见、看不见的物质,可能是暗物质。

我们测量银河系外圈的星云也就是气体绕银河系转的速度,发现它的速度也在 200 公里左右。根据这些尺度、速度、距离,我们大概推断出银河系里的物质分布大概是发光物质分布的 10 倍,还有 90% 的东西是不发光的。

很多天文观测结果表明暗物质在宇宙中是肯定存在的,但是暗物质的物理性质是什么呢?

人类到目前为止已经弄清楚,物质是由 61 种基本粒子组成的。前几年“上帝粒子”被发现了,但是这 61 种基本粒子和暗物质粒子的物理性质都不吻合,那么暗物质粒子必

须具备什么性质呢?

长寿命、质量大,不参与强相互作用和电磁相互作用,只有引力相互作用,可能有弱相互作用,现在还未被证实。这就是暗物质粒子探测这么热门的原因,也就是说,如果我们在暗物质方面取得一些突破,肯定在标准的物理学上也会取得突破。

暗物质在宏观分布上占宇宙的主要部分,但在微观密度上并不强,在地球附近的分布大概在每立方厘米 0.3 个质子。这个数字比较抽象,比如地球这么大的体积装满了暗物质,大概只有几公斤,所以在地球附近找到暗物质是一件很难的事情。

“火眼金睛”的“悟空”

暗物质粒子探测卫星,实际上是一个望远镜。它工作在能量波段,大概比光学的波段要高 10¹²,所以这么高能的高能光子和探测器作用以后,它不会产生反射、折射等普通的波的光学性质。高能光子和探测器发生作用后产生正负电子对,我们这个望远镜通过探测正负电子对的方向、能量,来判断天上高能光子的方向和能量。

2015 年 12 月 17 日在酒泉卫星发射中心,“悟空”卫星成功发射。

整个探测器从上到下大概有四层,最顶部是塑料闪烁体探测器,区分粒子的电荷,它是兰州的中国科学院近代物理所做的,中间是硅阵列探测器,这是高能物理所和一些国际合作团队做的。

底下是最主要的探测器——1 吨多重的 BGO(锗酸铋晶体)量能器。

这个探测器到目前为止各项性能工作正常,整个探测器重量是 1.4 吨多重,功耗 600 瓦,它工作在什么样的轨道上呢?500 公里的太阳同步轨道,太阳从早到晚任何一个方向都能照到这个卫星上,保证这个卫星的温度比较稳定。探测器由 7 万多个子探测器组成,整个探测器是一个大的望远镜,这个大望远镜由有 7 万多路小的传感器组成,所以每一个高能粒子打上去,有 7 万多个信号出来。根据 7 万多个信号,我们可以判断入射粒子的能量、方向、电荷。

我们的卫星发射上天,经过标定以后,在能量、方向、电荷,包括粒子鉴别方面,都达到世界最高水平。目前为止,我们大概每天探测 500 万个高能粒子,目前已经收集到 30 亿个高能粒子。围绕整个天区,整个宇宙我们扫描了三次。

“捕捉”暗物质粒子:对撞!“上天”和“入地”

国际上已经在暗物质探测方面耗资数百亿美元。探测方式包括在加速器上探测暗物质粒子,在地下直接探测暗物质粒子,和在天上间接探测暗物质粒子。

第一种是在加速器上探测。加速器上通过高温粒子碰撞模拟宇宙大爆炸,将暗物质粒子碰撞出来探测到它。目前最大的加速器,也就是发现上帝粒子的 LEP 强子对撞机,对撞能量目前已经到了 13 个 TeV(1000GeV),实际是 14 个 TeV。可惜四五年下来了,暗物质粒子探测方面没有取得什么成果。

(注:电子伏特 electron volt,简称为电子伏,缩写为 eV,是能量的单位。代表一个电子(所带电量为 -1.6 × 10⁻¹⁹C 库仑)经过 1 伏特的电场加速后所获得的动能

MeV 兆电子伏特, Mega or million Electron Volts

KeV 千电子伏特, Kevmagic Electron Volts

GeV 吉电子伏特, Giga Electron Volts

TeV 十亿电子伏特, Tera (Billion) Electron Volts)

第二种方法是地下直接探测法。让暗物质粒子与普通原子核碰撞,像打台球一样的,一个球撞另外一个球。暗物质本身不可见,但是暗物质碰撞另外一个球(原子核)以后,原子核会动,通过探测反冲原子核来探测暗物质粒子。

为什么放到地底下?因为球动的能量量级大概在 KeV 到 MeV 量级,而地面上这样的本底(环境中本身存在的)最多,尤其是宇宙射线,天上来的高能粒子轰击大气,产生的大量次级粒子也在这个能段里面。

所以为了屏蔽这一部分本底,必须把探测器放到地底下,放得越深本底会越低。我们国家将在锦屏山建立世界上最深的地下实验室,用来探测暗物质粒子,上海交和清华大学都有实验在那儿做。

第三种方法是空间探测暗物质粒子。因为暗物质粒子来自宇宙大爆炸,在宇宙大爆炸刚开始的时候,暗物质粒子和暗物质粒子碰撞产生看得见的粒子,但是普通物质粒子相互碰撞会全部产生暗物质吗?

到目前为止,研究表明是不可能的,否则我们就不可能存在,因为物

质都变成暗物质了。暗物质和暗物质碰撞肯定会产生看得见的粒子。所以从逻辑上讲,我们通过探测暗物质粒子碰撞所产生的看得见的粒子可以去探测看不见的暗物质粒子。

到目前为止,加速器上没有看到暗物质粒子的信号,地下实验也没有看到暗物质粒子的信号,天上也没有看到,但是看到了一些迹象。比如丁肇中先生领导的阿尔法磁谱仪(AMS)团队,通过在天上差不多 5 年多的数据,发现宇宙中高能正电子流量比理论模型要高。

理论模型预计,正电子流量随着能量的增加,应该往下降。但是在天上发现,随着能量的增加,流量并没有掉下来,反而增加了。这些增加的正电子,是来自于暗物质粒子,还是来自特殊的天体物理过程,我们并不是很清楚。

目前还没有办法下结论,主要原因是探测器不够大、灵敏度不够,观测的能量区间比较低。所以,我们需要一个新的探测器,通过探测天上的高能粒子能量、方向、电荷,鉴别出它的种类,来探测暗物质粒子。这就是我们暗物质卫星提出的主要的背景。