

它是粒子界“隐士”也是宇宙奥秘“告密人”

本报记者 唐婷

“中微子的能量比我们之前看到的都要大,它可以达到世界上粒子加速器产生的能量的几百万倍。”近日,2015年诺贝尔物理学奖获得者亚瑟·麦克唐纳在世界科技创新论坛上表示。上述结论,源自他对“冰立方”中微子天文台最近发表的一项研究分析。

7月13日出版的《科学》杂志刊登封面文章,称“冰立方”中微子天文台找到超能中微子的证据。这篇文章中提到,

2017年9月22日,冰立方探测到一个能量为290 TeV(万亿电子伏特)的中微子。目前能量最高的加速器——欧洲核子研究中心的大型强子对撞机,只能把粒子加速到7 TeV。

众所周知,中微子质量很小,几乎不与物质作用,那么要捕捉到有“幽灵粒子”之称的它有哪些办法?目前有哪些项目正在寻找中微子?“冰立方”在寻找中微子方面有什么特殊优势?哪些过程可能产生中微子?探寻中微子有哪些科学意义?科技日报记者就此采访了业内专家。

不知不觉中带走能量

上世纪20年代,科学家在研究β衰变时,发现在这一过程中,有一部分能量不知去向。依照能量守恒定律,如果静止的中子衰变成一个质子和一个电子,那么电子的能量应该等于中子能量减去质子能量的结果。电子的能量约等于中子与质子的质量差,而实际测量到的电子能量都比预测的要小。

这让科学家们感到十分困惑,在亚原子过程中,能量守恒定律是否失效了?1930年,当时年仅30岁的奥地利物理学家沃尔夫冈·泡利,对此作出了一种大胆的推断。

泡利预言,在中子的β衰变过程中,除了产生质子和电子之外,可能还产生了另一个新的粒子,是它带走了“不知去向”的那部分

能量。新粒子不带电、质量极小,与物质相互作用极弱,以至于无法探测到。

这一假说引起了意大利物理学家费米的注意。1934年,费米建立了β衰变理论,定量地描述了β射线能谱连续性和β衰变半衰期的规律。该理论中包含了泡利所假设的新粒子,在实验上发现中子之后费米将其命名为“中微子”。

在理论界有了名分的中微子,在实验领域很长一段时间都处于“隐身”阶段。一直到1956年,美国物理学家柯万和莱因斯第一次通过实验直接探测到了中微子。获知这一消息后,泡利在回复的电报中写道:“感谢您的消息,对于懂得等待的人,一切终将了然”。

在闪烁液体中显形

由于中微子与物质的相互作用很弱,因此想要在实验室里直接找到它,是件很困难的事情。为此,科学家们想了很多办法。

理论上,只要发生核裂变反应,就会产生中微子。起初,科学家们选择在核反应堆附近建造对中微子特征敏感的粒子探测器。

上文提到的柯万和莱因斯便是将一个大型裂变反应堆作为中微子来源,用装有氯化镉溶液的容器来捕捉中微子。他们预计,中微子跟溶液中的质子碰撞后的一系列反应,会引起闪光。

果然,闪光出现了,被液体闪烁计数器记录下来。“闪烁液体是一种在射线下能发出荧光的液体,每来一个射线就发出一次荧光。由于中微子与质子碰撞时发出的频闪很有特异性,从而证实了中微子的存在。”中科院高能物理所研究员周顺顺解释。

人造核反应堆之外,太阳内部的核聚变

反应和超新星爆发过程都可以产生大量中微子。同时,当高能宇宙射线撞击地球大气层中的粒子时,也会产生中微子。为了寻找来自太阳和大气中的中微子,20世纪60年代以来,物理学家们在深部地下建造了多个探测器。

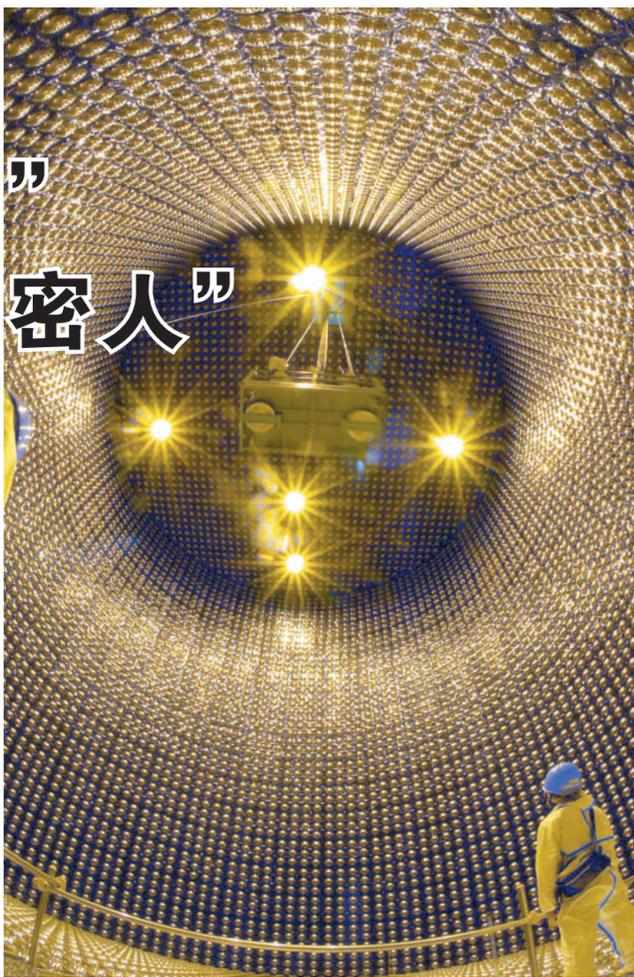
比如,日本东京大学在一个深达1000米的废弃矿洞中建造了大型中微子探测器——超级神冈探测器(Super-Kamiokande)。“这是一个能同时检测太阳和大气中微子的探测器。”周顺顺介绍。

“冰立方”中微子天文台的探测器则深埋在南极冰盖下1.5千米处,由86个传感器组成,分布在1立方千米的冰内。当中微子偶尔与冰中的原子发生反应时,会产生一大团带电粒子,带电粒子辐射出的蓝光会照亮周围的冰。这些被称为契伦科夫辐射的蓝光可以在纯净的、极透明的冰中传播几百米,被布置好的探测器尽收眼底。

不同探测方式构成互补

既然发现了中微子的存在,物理学家们就迫切想知道它的能量、质量、速度等各种物理性质。

中微子分三种:电子中微子、μ中微子和τ中微子。它们可以“振荡”——从一种类型变成另外一种。三种不同振荡模式的幅度可



日本超级神冈中微子探测器(Super-Kamiokande)位于一个深达1000米的废弃矿洞中。其容器的内壁上安装有11200个光电倍增管。

以由三个混合角 θ_{12} 、 θ_{13} 和 θ_{23} 来定量地描述。前两种已在太阳中微子和大气中微子振荡实验中找到。

2012年,大亚湾中微子实验国际合作组宣布,他们发现了新的中微子振荡模式,且实验达到了前所未有的精度,测得第三种中微子振荡模式的振荡幅度为9.2%,误差为1.7%,无振荡的可能性只有千万分之一。

不止是大亚湾实验,国际有多个装置都在对中微子振荡模式进行研究。在周顺顺看来,在振荡模式测量中,对3个中微子两两之间的质量差可以测得很精准,但无法测量出单个中微子的绝对质量。

那么,如何测量单个中微子的质量呢?费米曾提出,可以通过测量β衰变能谱来确

定中微子的质量。在一个典型的β衰变中,原子核内的一个中子变成质子,同时放射出一个电子和一个电子型反中微子。尽管反中微子无法直接探测到,但可以通过伴随电子的能量和动量,推测出这个反中微子的质量。

但是,由于中微子的质量实在太轻,想通过测量β衰变来测量其质量,要求探测器具备极高的灵敏度。令人兴奋的是,今年6月,德国卡尔斯鲁厄理工学院为中微子打造的迄今最灵敏的“体重秤”KATRIN正式开始运行了。

“通过振荡模式测量,我们知道三个中微子的总质量必须大于0.06 eV(电子伏特),目前粒子物理实验给出的质量上限是2 eV,KATRIN预计在几年内达到0.2 eV的灵敏度,这将是一个数量级的提升。”周顺顺说。

来自宇宙深处的信使

了解了中微子的各种“轶事”,你可能想知道,研究它有哪些科学意义?

在周顺顺看来,除去物理学层面的意义以外,研究中微子对于了解恒星的结构和演化,乃至宇宙的起源都有着重要的科学意义。因此,天文学里专门有一个分支叫做中微子天文学。

来自宇宙深处的高能宇宙射线到达地球时,人们无法推断出它们从何而来。因为带电粒子在穿过太空时,星系和星系间的磁场会改变这些粒子路径。理论上,宇宙射线的源头也会产生中微子。

“耿直”的中微子,几乎不会和其他物质发

生反应,总是一条道走到黑。始终指向起点的它,可以帮助科学家找到宇宙射线的源头。

截至目前,“冰立方”已经探测到了多个超高能中微子,能量高达 10^{14} eV。科学家们正在努力探究这些高能中微子是如何产生的,以及来自宇宙何处。极端的宇宙现象,例如活动星系核和伽马射线暴,可能是它们的来源,这两种现象同样也可能是宇宙射线的来源。

周顺顺认为,如果高能中微子的来源能确切地追溯到这些可能的宇宙线来源上,将帮助科学家更好地理解那些产生高能中微子的、极其剧烈的天体物理过程。

光谱志

英仙座:天空中英雄的化身

戴建峰

巡视秋季夜空,飞马当空,银河斜挂。秋季星座虽没有夏季银河中心那样靓丽夺目,但它们却是最具诗情画意的。它们的名称都来自于希腊神话中的王室家族,比如仙王座、仙后座、仙女座、英仙座、飞马座和鲸鱼座。今天故事的主人公就是大名鼎鼎的英仙座了。

在希腊神话中,英仙座代表宙斯之子帕修斯。他要设法去取魔女美杜莎的头颅。美杜莎的头上长满毒蛇,谁看她一眼,就会立即变成石头。帕修斯在神的帮助下,借着青铜盾的反光,成功避开了美杜莎的目光,并用宝刀砍下了女怪的头。此后帕修斯又骑着飞马(座)从海怪(鲸鱼座)手中拯救了公主安德洛美达(仙女座),并与公主完婚,此后一家人都上天成为星座被人仰望了。



德令哈天文台上空的英仙座 戴剑锋摄

带着神话故事去看夜空中“人”字形的英仙座,就可以想象它是帕修斯一手拿着宝刀,一手拿着美杜莎的头颅。英仙座的β星就是美杜莎的“恶魔之眼”。这么叫它还真是有道理的——如果你仔细观察,你会发现它忽明忽暗,每隔2.87天就会从2.1等降至3.4等。我国古代称之为大陵五,实际上它是由两颗星组成的双星系统。这两颗星彼此相互旋转,其中主星较亮,伴星较暗。当伴星转到主星前挡住主星的部分星光时,我们就看到大陵五变暗了。天文学上将这类双星互相掩食导致光度衰减的变星称之为食变星或食双星。

除了美杜莎的魔眼,帕修斯的宝刀上还镶嵌着两颗绚丽的钻石,那就是英仙座双星团:NGC 869和NGC 884。在天空足够黑暗的地方,我们用肉眼就可以看到双星团的存在。如果使用双筒望远镜,它就显得更为夺目。英仙座双星团和地球的距离都约为7000光年,彼此之间也很近,距离仅为数百光年。根据天文观测,英仙座双星团的恒星年龄大约为1300万年,都比太阳要年轻。这显示它们很可能是在同一片恒星形成区内诞生的。

当然对于众多天文爱好者而言,认识英仙座最佳的方法就是英仙座流星雨了。作为北半球三大流星雨之一,英仙座流星雨以流量稳定、亮流星多著名。它每年在7月20日至8月20日前后出现,并于8月13日前后达到极大值,其峰值流量能有每小时100颗。英仙座流星雨的形成与周期彗星斯威夫特·塔特尔有关,其流星的特点就是带有绿色的尾巴,这可能是流星体中镁和铁等元素的作用。

为了享受流星雨的盛宴,全国天文爱好者可谓是不远万里进行追逐。在今年,笔者就从北京出发,一路来到安徽九华山,西递宏村,然后辗转江西、湖北进行观测,也是收获颇丰。当然错过这次流星雨的朋友们也不用灰心,十二月的双子座流星雨也同样值得观测。



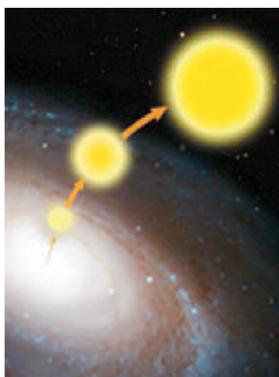
内蒙古上空的英仙座流星雨 李鹏摄

(本版图片除标注外来源于网络)

超高速星缘何在银河系狂飙

天文频道

实习记者 于紫月



超高速星可以摆脱银河系的引力束缚

近日,国家天文台发布郭守敬望远镜(LAMOST)一期巡天成果。作为我国自主创新研制的一架主动反射施密特天文望远镜,LAMOST大显神通,在近千万光谱中大海捞针发现了五颗超高速星,而目前世界上已认证的超高速星仅有几十颗。

超高速星是迄今为止人类在银河系中发现的速度最快的一类恒星,其速度可达1000公里/秒,远超其他恒星。如此“超速”足以让它们摆脱银河系的引力束缚,飞向更广阔的宇宙。

超高速星为何如此“超速”?“黑洞潮汐瓦解双星模型和超新星爆炸模型是目前主流的超高速星形成机制的理论模型。”国家天文台研究员刘超告诉科技日报记者,黑洞潮汐瓦解双星模型可以解释起源于银河系核心的超高速星的形成。

目前学者普遍认为,银河系中心存在超大质量黑洞,对进入黑洞影响范围内的星体产生引力潮汐作用。当环绕着共同质量中心运行的一对恒星靠近黑洞时,黑洞引力俘获其中一颗恒星,另外一颗恒星由于遵循角动量守恒而获得超高速,被黑洞“踢”出去。在黑洞潮

汐场的影响下,双星系统瓦解,超高速星诞生。

然而并非所有的超高速星都起源于银河系中心,还有少量起源于银盘位置,如2005年英国赫希团队观测到的超高速星US708,近期的研究指出其可能是超新星爆炸的结果。在超新星爆炸模型中,双星系统其中一位成员走到了生命的尽头,转变成超新星。在这颗超新星爆炸的时刻,距离它很近的伴星绕转速度已经达到几百公里每秒,接近了银河系的逃逸速度。在同伴璀璨的生命绝唱中,这颗伴星如同高速旋转的链球突然摆脱了铁链的束缚,箭一般飞向星系之外的黑暗深空。

“除了以上两种模型,天文学家还提出了多种模型,但是还有一些超高速星的形成无法解释,人们仍需继续探索。”刘超表示,无论现有的何种理论模型,支撑该模型的超高速星数量都很稀少。超高速星发生率低、数量少是其难观测的原因之一。另外,超高速星运行速度越快,其出现在观测仪器视野中的时间也就越短,人们对其捕捉的难度也越大。

“以目前现有的技术水平来看,探寻超高速星面临诸多技术难点。”刘超表示,前几颗超

高速星的发现激发了天文学家在海量星光光谱数据中搜寻的热情,但是恒星在宇宙中的运动速度可分解成方向相互垂直的切向速度和径向速度,光谱仅能测量恒星的径向速度,即远离银心的速度,而切向速度则是单位时间内恒星掠过的角度与其距银心距离的乘积。角速度易得,距离难测量,因此目前切向速度测量十分困难,恒星运动速度是否能达到逃逸速度更加难以确定。此外,由于望远镜口径限制,只能探测到具有一定亮度的恒星。超高速星距离远,亮度低,即使在望远镜视野范围内,也有可能轻松躲避望远镜的“搜捕”。

“超高速星起源本身就是一件很有意思的事情,而有些从银河系中心飞出的超高速星更是一种媒介,让人们推测出银河系中心发生过什么,其化学成分、轨道特征等也会带来银河系中心的信息。”刘超表示,这些超高速星能够逃离银河系,可想而知,星系之间的深空也许并非完全真空,很可能存在一些漂浮的恒星,就像哥伦布的一叶扁舟,在两个大陆间游荡,人类也会永远怀揣探索新大陆的求知欲去探索宇宙的奥秘。



扫一扫 欢迎关注 带你去看耿耿星河 微信公众号