

编者按 我们的世界由一系列粒子组成。多年来,科学家从未停止对粒子及它们之前相互作用的探索,取得的成果也在不断地革新我们对世界的认知。4月初,美国费米国家加速器实验室公布的一项新的研究成果在国际物理学界掀起轩然大波,也再度引发了人们对于粒子物理学的关注与好奇。

基于此,本报推出粒子物理系列报道,关注粒子物理的基本原理与发展。

# 粒子物理新发现频出 标准模型能否“守擂”成功

视觉中国供图

## 粒子物理系列报道①

◎本报记者 吴长锋

3月23日,欧洲核子研究中心(CERN)LHCb实验的英国物理学家宣布,由LHCb(大型强子对撞机)合作进行的实验,可能发现了与标准模型矛盾的现象。但目前这些实验数据的可信度还不足以宣称“可靠

的发现”。

无独有偶,4月7日,美国费米国家加速器实验室召开网络视频发布会,公布了缪子g-2实验组对于缪子反常磁矩的首个测量结果:现有结果与粒子物理标准模型预言之间存在4.2倍标准差的偏离。一石激起千层浪,这个结果不仅吸引了全球粒子物理学家的关注,也引来了媒体的目光。两周时间内,超出标准模型的新物理再次成为热点话题。那么,这个所谓的“标准模型”到底是什么呢?

物理学家不断得出新的粒子。目前已经发现的组成物质的基本粒子有6种夸克,上夸克、下夸克、粲夸克、奇异夸克、顶夸克、底夸克;6种轻子:电子、电子中微子、μ子、μ中微子、τ子、τ中微子。

这6种夸克和6种轻子是物质组成的基础单元,目前它们不能再分割,也不能相容和叠加,而只能像乐高积木一样堆积成各种各样的物质。这6种夸克和6种轻子都是基本费米子。”

有了费米子,就可以组成物质了吗?还是不可以。就像建房子一样,有了砖块、瓦块还是不能堆成房子,还得有水泥等各种粘合剂才能把房间堆得牢固结实。费米子之间得有一种相互作用力,让它们结合在一起。”吴雨生告诉记者,物理学家们通过无数次的实验发现,宇宙间万物之间的相互作用是四种基本作用力:引力、电磁力、强作用力和弱作用力。“标准模型描述的相互作用包括:电磁相互作用,如最常见的与电和磁相

关的日常生活现象;弱相互作用,如核物理中的许多衰变现象;强相互作用,例如夸克组成成质子、中子等。”吴雨生说。

“标准模型是对微观世界的描述,这些极小尺度上的粒子的存在规律和相互作用现象,一步一步累加连接,最终构成了宏观物质世界乃至整个宇宙。”吴雨生说。

## 基本粒子的“元素周期表”

2012年7月4日,欧洲核子研究中心的主报告厅里举行了一场特别的报告会。这场报告会上,在欧洲大型强子对撞机LHC上运行的两个实验的研究者,分别宣布了最新研究成果:他们同时发现了希格斯玻色子。

半个多世纪以前预言了希格斯玻色子的彼得·希格斯和弗朗索瓦·恩格勒也被邀请到了这场报告会的现场。在公布最终结果的时候,科学家激动地向上台挥手,听众们也不断欢呼。

为什么这个发现如此令人激动?因为希格斯玻色子被认为是粒子物理学的标准模型框架下,最基本粒子中的最后一种,所以也被人称作“标准模型的最后一块拼图”。

希格斯玻色子的发现,起源于一个问题,即玻色子中有些粒子有质量,有些没有,如w、z玻色子有质量,而光子却没有质量。这些有质量粒子的质量又是如何来的?于是物理学家们假设,

“科学家希望标准模型是一个完备自治的理论,可以描述所有的物理现象,是一个‘一切事物现象之源头理论’。”吴雨生说,标准模型理论从上世纪60年代诞生至今,理论家与实验家互相合作,不断完善理论模型,并不断通过实验全方位验证理论预言,发现新现象来推进理论的发展。

冥冥之中应该有一个“场”,是这个场赋予了这些粒子质量。

随着被发现的粒子越来越多,粒子之间的关系也愈发复杂。正如门捷列夫建立元素周期表,人们隐约觉得,如此繁多的粒子背后,也应该有一个相似的“粒子周期表”。在这个思想指导下,标准模型就像是粒子物理学家的圣经,指导着人们对微观世界的研究。而此次欧洲核子中心的大型强子对撞机LHC发现的被戏称为“上帝粒子”的希格斯玻色子,完全是标准模型预言的粒子。这一战,标准模型大获全胜。

“如果我们把费米子和规范玻色子比喻成一个个棋子,那希格斯玻色子就是它们的棋盘。没有棋盘,棋怎么下呀?”吴雨生告诉记者,自2012年欧洲核子中心大型强子对撞机发现希格斯玻色子后,标准模型预言的最后一个未观测到的基本粒子也已在实验中找到,标志着其完备理论模型的确立。

## “完美”中的“不完美”

吴雨生告诉记者,标准模型从基本粒子种类、相互作用数学描述上来看是十分简洁的。但是,简洁数学形式演算预言实验结果,则往往极为复杂。例如在理论上,计算最简单的一些物理现象发生的几率,往往需要计算成千上万个公式,利用高性能计算机也可能得积年累月。“而从实验上来研究这些极微观物质世界中的现象,往往需要举全国乃至全球科技之力,历经数载甚至数十载,集中许多科学家的智慧与精力才能实现。”吴雨生说。

那么,堪称“完美”的标准模型,真正完美了吗?答案当然是否定的。随着时间推移,人们慢慢地发现,标准模型似乎也不是那么“标准”。如标准模型“规定”,基本粒子之一的中微子不能有质量,要以光速在宇宙中穿梭,然而实验测量发现,中微子竟然有一点点小质量,它以非常接近光速的速度运动,而且有非常小的质量。这种违背标

准模型的结果让人们很不爽。

“标准模型虽然已经极为成功,但仍远远称不上能‘描述一切的理论’,还有一个个神秘的物理现象无法解释。例如,你会发现,标准模型当中并不包含引力。”吴雨生告诉记者,目前标准模型尚不能解释的问题大致有以下几个方面:对于宇宙学观测到的暗物质是否有粒子属性,标准模型并未给出明确预言;对于宇宙中正物质明显多于反物质,标准模型无法解释;标准模型并不包含引力作用,目前是用广义相对论来描述引力相互作用的;基本粒子不同“代”之间为何质量差别如此之大?为何中微子的质量几近为零……

“正是这些未解之谜激励着物理学家继续在理论与实验上去探索超出标准模型的新理论、新现象,进而促使物理学家发现新的物理学。”吴雨生说。

## 宇宙物质构成的“砖块”

“简单来说,标准模型是描述微观世界物质组成与相互作用的理论框架。”中国科学技术大学近代物理系博士生导师、特任教授吴雨生告诉记者,标准模型理论框架是基于量子场论的,主要理论观点源自时间-空间的基本对称性,并包含基本物质粒子、传播相互作用的传播子以及给基本粒子带来质量的粒子。

物质由原子组成,原子则由原子核及绕核运动的电子组成。原子核内包含质子和中子,这些原子核内质子和中子不同的数目决定了不同原子不同的物理性质。

但质子、中子还能不能再分?电子还能不能再分?要解决这些问题,科学家采取的办法是:撞它!撞它!1968年,斯坦福直线加速器中心的实验者们利用强大的技术力量探索了物质的微观层次,发现质子和中子分别由三个夸克组成。

通过用更快更强的对撞机去撞击物质碎片,



粒子物理标准模型图 受访者供图

标准模型是对微观世界的描述,这些极小尺度上的粒子的存在规律和相互作用现象,一步一步累加连接,最终构成了宏观物质世界乃至整个宇宙。

吴雨生

中国科学技术大学近代物理系博士生导师、特任教授

# 植物“做媒”,让蜂蜜遇上半世纪前的铯137

◎杨心丹

当你舀上一小勺蜂蜜搅拌成蜂蜜水,或许就能见证几十年前核试验放射性元素在水杯中形成的漩涡。近日发表在《自然·通讯》上的一篇文章显示,这一切都要从上世纪50年代开始在大气中开展的核爆试验说起。

## 放射性元素激增

在上世纪50—60年代这段时间里,美国在位于新墨西哥州和内华达州的核试验场地上空引爆了数百颗核弹,后续场地转移到了太平洋岛屿,直到1963年整个核试验才告一段落。这意味着在极短的时间里,大量的放射性沉降物被抛射到了大气层中,在风和降雨的作用下,这些物质迅速地扩散到更广的地区。

这种短暂的放射性元素激增模式,已经成为地质学家甚至是刑侦学家确认年代的工具。上世纪90年代,维也纳大学法医学部的科学家就曾利用碳14破解了高度干尸化无名尸体的死亡年份,他们通过对比尸体骨头里脂质的碳14含量和各时间段的碳14水平得出了这一结果。

类似的方式对地质探测同样适用,威廉和玛

丽学院的地质学家Jim Kaste曾试图根据当地地层中精细沉积物的分布来判断工业化进程,“当你取出岩芯,就能看到有一层的放射性元素达到了顶峰,我们就知道这里代表的是1963年。”Kaste表示。

铯137是其中比较常见的放射性元素,它本身并不存在于核弹中,而是经过铀和钚的裂变生成。其半衰期大约为30年,会逐渐衰变成放射性的钡,最后变成稳定形式的钡元素。此前,已经有研究发现铯137会流入到人类的食物中。

Kaste也曾关注过放射性元素与食品关系的问题,他在4年前给自己的学生布置了一个假期任务:玩到哪儿买到哪儿,把吃的带回来。接着,学生们依次将拿回来的水果、坚果和蔬菜等各类食物放到了伽马探测器下检测。理论上,在长达数天的时间里,随着铯137衰变释放出的伽马粒子会在仪器上显示出来。

实验过程中,前面几个果蔬的样本还算正常,铯137只有非常微弱的痕迹。但是,一瓶蜂蜜在检测器上的反应却让Kaste感到惊讶,屏幕上显示,这瓶蜂蜜的铯137的含量比其他食物高了非常多。

为了找到蜂蜜富含铯137的原因,Kaste开始带着自己的学生在美国东海岸各地购买蜂蜜,一共买了122份蜂蜜,其中68份显示出了放射性元素的痕迹,并且大多数含有铯137的蜂蜜都来自

美国东海岸。这就产生了一个很有意思的问题,为什么离爆炸点更远的美国东部成了放射性沉降物更加富集的地方呢?

## 蜂蜜仍可安全食用

在那段疯狂的大气核爆岁月里,许多放射性沉降物被地抛到了平流层,紧接着载满这些物质的云朵开始缓慢地移动,它们慢慢地从干旱的美国西部和大平原区域移动,直到跨过了密西西比河东部,湿度开始增加,水珠越聚越多。化作含有放射性沉降物的雨水落到了地面。

但是,当我们看一看“蜂蜜地图”,就会发现一个区域铯元素的水平无法和蜂蜜是否含有铯137一一对应。

有一种元素的水平反倒能很好地显示该区域的蜂蜜是否含有铯137,这种元素就是钾。钾是植物生长必不可少的元素,如果没有钾元素,植物就会寻找一些替代品。打开元素周期表,能看到19号元素钾和55号铯元素在同一族,这意味着元素的外层电子和离子大小特性是相似的。“因此,在土壤中缺钾的地区,植物会选择不断吸收铯元素。”Kaste表示。

当然,植物是能够区分钾和铯的,在两者同时存在的情况下,会优先选择吸收钾。但在缺钾的情况下,植物不得不选择吸收铯。

这样,放射性的铯元素就可能顺着核试验地区上空,例如新墨西哥州,甚至更远的太平洋和俄罗斯上空一路来到了美国东海岸一株植物的花蜜中,然后被辛勤的小蜜蜂带走,一点一点收集起来。

上面那68份蜂蜜中,铯137的水平都大于0.03贝克勒尔/千克,即大约15毫升蜂蜜中有87万个放射性铯原子。其中,佛罗里达州的一份蜂蜜中,铯137的水平达到了19.1贝克勒尔/千克。

虽然结果会让许多人大吃一惊,但根据美国FDA的标准,食品的放射性元素水平应该低于1200贝克勒尔/千克,所以哪怕是在佛罗里达的那瓶蜂蜜也是符合安全食用标准的。

其实相比人类,蜜蜂才是更应该关注的对象。最近数十年,美国许多地区的蜜蜂种群都遭到毁灭性打击,有的地区更是一只蜜蜂都不见踪影。例如,切尔诺贝利核灾难之后,辐射损伤了附近大黄蜂种群的生育能力。相比之下,随着降雨来到美国的辐射水平可能只有前者的1/1000,但是这一过程对蜜蜂种群的作用却不得而知。现在,我们可以安心地食用蜂蜜。“但了解到我们的环境中发生了这一过程同样非常重要。”犹他大学的地质学家Thure Cerling表示。

(据《环球科学》)

## 新知

## 新型半导体催化剂 让阳光助力“空气发电”

科技日报讯(记者陈曦 通讯员吴军辉)“吸”入空气中的氧气,经过简单的化学反应,就可以实现发电;充电时,放电产物通过可逆反应被分解,又重新释放出氧气。锂—氧气电池正在让“空气发电”的奇妙思想走进现实。

科技日报记者4月23日获悉,南开大学化学学院李福军研究员团队研究获得一种具有表面等离激元增强效应的新型半导体催化剂,首次将可见光引入锂—氧气电池中,显著提升了正极反应动力学,有效降低了电池充/放电过程的极化,开辟了构筑高效金属—空气电池的新思路。日前,介绍该工作的论文发表在国际顶级学术刊物《美国科学院院刊》上。

据介绍,“空气发电”被认为是极具发展前景的下一代电池体系,但其正极迟滞的反应动力学导致的充放电过程极化大、能量效率低等问题极大地制约了锂—氧气电池发展和应用的脚步。

光激发半导体产生的光电子和空穴可极大提升电化学反应动力学。采用能带结构合适的半导体材料,将光引入锂—氧气电池中,可显著提升正极反应动力学,降低充/放电过电压。

目前采用的半导体光吸收主要集中在紫外光区,仅占太阳光谱的4%。李福军团队研究发现,金纳米颗粒的等离激元增强效应可大幅提升可见光的吸收,提升氧气还原反应动力学,促进放电产物过氧化锂的生成;充电时,空穴在外加电压驱动下高效氧化过氧化锂,释放氧气。

“这就好像给锂—氧气电池增加了一个聚光镜,使正极接收到更多的光能,从而加快了电池反应。”李福军说。

改进后的锂—氧气电池的放电电压提高,意味着在放电过程中,锂—氧气电池也可以将部分光能被转化成电能输出;充电时,光能被转化成化学能存储在锂—氧气电池中,使充电电压下降,电池的充/放电电压差减小,同时也获得了优异的电池倍率性能和循环稳定性。

李福军表示,这项新的突破将能直接将光能在电池中实现转化和存储,将为太阳能发电和存储提供新策略。

## 南亚季风中断期 青藏高原植被生长更旺盛

科技日报讯(记者陆成宽)4月25日,科技日报记者从中国科学院(以下简称中科院)青藏高原研究所获悉,利用多套土壤水分含量与植被指数数据,来自该所等单位的研究人员发现,南亚季风中断时期,青藏高原中东部土壤水分普遍下降,但植被生长活动却更旺盛。相关研究成果发表于《地球物理学通报》。

植被的生长活动受不同时间尺度气候变化速度的影响。过去40年,青藏高原普遍出现暖湿化趋势,这种趋势对植被的影响已得到广泛关注。同时,青藏高原的气候也存在着季节内变化,其中最典型的季节内变化就是季风中断,即在季风期间夏季西南季风减弱,高原中东部降水量减少,使得当地土壤含水量短暂下降。“然而,已有的研究很少关注这一变化对高寒生态系统的影响。”论文通讯作者,清华大学、中科院青藏高原所双聘教授田坤指出。

针对这一科学问题,科研人员分析了南亚季风中断期间的气候特征及其对高寒生态系统的影响。结合清华大学发展的新一代光能利用率模型,量化了季风中断时期各气象因子对高寒植被生长活动的贡献。

研究结果表明,季风中断时期,青藏高原中东部土壤水分普遍下降,但植被生长活动却更旺盛;季风中断时期,植被冠层吸收太阳辐射明显增加,有利于光合作用,且辐射增强的促进效应超过了土壤和大气干旱的抑制效应,这是季风中断时期植被生产力增加的主要原因。

田坤表示,这项研究首次发现并揭示了南亚季风中断对高寒植被生长活动的促进作用,强调了季节内气象因子变化对植被生长活动的重要性,研究结果对于正确认识高寒植被生态系统对气候变化的响应有重要意义。

## 云南高黎贡山 发现白颊猕猴新种群

科技日报讯(记者赵汉斌)科技日报记者4月22日从中国科学院(以下简称中科院)昆明动物研究所获悉,该所兽类生态与进化科学组与云南省高黎贡山国家级自然保护区怒江管护局及福贡管护分局合作,通过布设红外相机,在高黎贡山福贡片区拍摄到白颊猕猴视频和照片,发现了白颊猕猴高黎贡山新种群和新分布。

白颊猕猴隶属灵长目猴科猕猴属,由中国科学家于2015年在西藏墨脱首次发现并获报道,其最显著外部特征为颊部和下颌部呈灰白色或白色,并可延伸至耳后。近年来中科院昆明动物研究所蒋学龙和李学友团队在执行青藏高原第二次科学考察时,在西藏东南部米林、波密、察隅陆续也有发现。在2021年农业、农村部、国家林业和草原局新颁布的《国家重点保护野生动物名录》中,白颊猕猴被列为国家Ⅱ级重点保护野生动物。

此前,合作各方在高黎贡山地区南、中、北段及其东西北14个样区布设了372台红外相机。整理回收数据时,发现在云南省怒江州福贡县马吉乡样区海拔梯度布设的30台红外相机中,有17台记录到高黎贡山地区一种新的灵长类动物,经鉴定是2015年描述的新物种白颊猕猴。在为期一年的监测中,这17台相机共拍到702张白颊猕猴照片和4段视频,这些白颊猕猴在海拔1887至3041米之间分布,并栖息于中山湿性常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔混交林中。

研究提示在云南福贡与西藏东南部之间区域,可能还存在其它潜在的白颊猕猴种群。此次发现,也使高黎贡山地区灵长类动物增加到10种,成为国内灵长类动物最丰富的区域,其中高黎贡白眉长臂猿、怒江金丝猴、肖氏乌叶猴在国内仅分布于高黎贡山及其邻近区域,表明高黎贡山在我国灵长类动物及其它野生动物保护中有着重要地位。