研究希格斯粒子的物理学家，到底在研究些什么？

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/26157.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

研究希格斯粒子的物理学家，到底在研究些什么？。日前，《物理评论快报》刊发了欧洲核子中心（CERN）大型强子对撞机（LHC）的新成果，并被编辑部作为高亮文章（highlighted article）推荐。研究显示，科学家观测到了希格斯粒子的一种稀有衰变迹象。

中国科学家是此次联合测量的召集人和主要贡献者。论文的匿名评审认为观测到新的希格斯粒子衰变通道，是被物理学界广泛期待的消息。

希格斯粒子是赋予所有基本粒子以质量的上帝粒子。2021年，LHC上的两个探测器——超环面仪器实验（ATLAS）、紧凑缪子线圈实验（CMS），发现了希格斯粒子衰变成一个光子和一个虚拟光子的证据。如今，两个探测器团队又首度以联合测量的方式，寻找希格斯粒子衰变成一个Z玻色子和一个光子的信号，并观测到这一稀有衰变迹象。

这些研究的意义何在？粒子物理学家们为何执迷于研究希格斯粒子的衰变？他们一直希望斥巨资建设的希格斯工厂又会对这些研究有什么用？为探明这些问题，《中国科学报》采访了此次联合测量中的相关中国科学家。



《物理评论快报》网方网站

研究希格斯粒子稀有衰变有何意义？

希格斯粒子是粒子物理标准模型中，最后一个被找到的基本粒子，之所以如此，是因为它的产额极低，并在极短时间内自发地衰变成其他粒子。

2012年7月4日，CERN向全世界公布了希格斯粒子被发现的实验结果。很多科学家由此开始了新的研究旅程。

中国科学院高能物理研究所研究员黄燕萍就是其中一员。从2013年起，她便开始了与希格斯粒子相关的多项实验，其中之一就是寻找希格斯玻色子衰变到Z玻色子和光子的过程。

这是一种稀有衰变。黄燕萍告诉《中国科学报》，之所以稀有，是因为1000个希格斯粒子只有1-2个会衰变成一个Z玻色子和一个光子，又由于有限的实验数据和实验测量的有限分辨能力，当前科学家主要是通过Z玻色子衰变到电子对或者缪子对来实现。

在黄燕萍看来，这项研究非常困难，却非常重要。

粒子物理学家认为，研究希格斯粒子的衰变过程，将有助于确定一些重要参数，并理解质量是如何形成产生的等问题。

而他们之所以费尽力气寻找希格斯玻色子衰变到Z玻色子和光子的过程，是因为这种稀有衰变过程有可能帮助人们深入理解希格斯粒子与其他粒子相互作用时的圈图作用。

许多理论预言，希格斯粒子衰变到Z玻色子、光子的‘圈图作用’中可能存在新粒子，如额外的无色带电标量粒子、轻子或者矢量玻色子。黄燕萍说。

圈图作用是从粒子物理标准模型推导出的结果，被视为一种复杂的量子过程。按照粒子物理基本模型的解释，基本粒子通过与希格斯粒子发生相互作用而获得质量，但由于光子没有质量，因而原则上希格斯粒子与光子间没有直接的相互作用，然而，现实情况却是希格斯粒子衰变出了光子。唯一能自洽的解释就是圈图作用，即希格斯粒子没有直接和光子发生相互作用，而是通过与其他粒子发生量子作用，最终产生光子。

我们这次观测到希格斯玻色子的稀有衰变现象，为深入理解希格斯粒子参与的‘圈图作用’机制，检验标准模型以及探索新物理提供了新的窗口。黄燕萍说。

为什么要做联合研究？

ATLAS和CMS是大型强子对撞机上两个重要的实验组，早在LHC第一轮运行时期，两个实验组就在测量希格斯粒子质量时有过合作。

来自CMS的LHC希格斯联合分析组共同召集人、中国科学院高能物理研究所研究员陈明水介绍，这两个实验目标相似，但各有长处的探测器，CMS在缪子探测上具有很高的灵敏度，而ATLAS胜在对大动量末态粒子的监测。

两个相互独立的实验不仅可以交叉检验重要结果，还可以联合起来充分利用数据，提高测量精度与显著性。陈明水告诉《中国科学报》。

2020年，黄燕萍带领ATLAS团队，完成了希格斯粒子到Z玻色子、光子的寻找，但分析结果的统计显著性只有2.2倍标准偏差，而只有在这一结果超过3倍标准偏差时，才能被判定为观测到衰变迹象。

为了提高显著性，黄燕萍向ATLAS与CMS上设的管理组提出申请，建议对两个实验组在LHC第二轮运行时的探测数据进行联合分析。

2022年，CMS也独立完成了希格斯粒子到Z玻色子、光子稀有衰变的测量，统计显著性只有2.7倍标准偏差。

两个探测器团队经过内部协商后，决定将两组数据进行联合研究。

经过联合测量，分析结果的统计显著性达到3.4倍标准偏差。这一结果超过了通常被认为是实验证据的3倍标准偏差阈值，被判定为观测到衰变迹象。

研究希格斯粒子的终极目标是什么？

因为希格斯粒子产生后在极短时间内衰变成其他粒子，粒子物理学家对希格斯粒子的研究，大多围绕着其衰变产物进行。

陈明水告诉《中国科学报》，粒子物理学家正在研究希格斯粒子的各类衰变过程，如希格斯粒子衰变到正反底夸克、双光子、正反缪子等的过程。

黄燕萍表示，观测到稀有衰变迹象，只是研究这一稀有衰变的第一步，后续我们希望将实验结果的显著性提高至5倍标准偏差，以期从中发现符合预期或超出预期的实验结果。

不过，他们对希格斯粒子的研究，并不限于希格斯粒子的衰变过程。

希格斯粒子研究的终极目标是要发现并检验希格斯粒子本身的质量起源，也可以说是解剖‘上帝’。陈明水说。

最近，黄燕萍耗时近6年，终于完成了ATLAS探测器的能量精确刻度，由此提升了希格斯质量测量的精度。

除了不断完善研究工具之外，希格斯粒子的自相互作用也是科学家们关注的最重要问题。

目前，希格斯粒子与费米子、玻色子等粒子的相互作用已被陆续验证，而希格斯粒子自相互作用的具体机制仍不明朗。

标准模型预言，希格斯粒子可以通过自相互作用获得质量。陈明水解释，他们一直想弄明白的问题是希格斯粒子为所有基本粒子提供了质量，那它自己的质量从何而来。

正因如此，通过研究双希格斯粒子的产生过程，测量希格斯粒子自相互作用，已成为研究热点。

为什么要建希格斯工厂？

当前，不少希望做希格斯粒子研究的粒子物理学家都对希格斯工厂寄予厚望。日本的国际直线对撞机（ILC）、欧洲的未来环形对撞机（FCC）与中国的大型环形正负电子对撞机（CEPC）项目都是其中的代表性计划。

那么，既然现有装备可以开展希格斯粒子研究，为什么粒子物理学家还在呼吁建设希格斯工厂呢？

‘希格斯工厂’的物理过程更‘干净’。陈明水说。

目前，LHC采用质子对撞方式，尽管能够产生大量希格斯粒子，但碰撞过程复杂，会生成大量与希格斯粒子研究无关的物质，在探测器内造成干扰，使得实际采集到和用于分析的粒子数量有限。

如果采用正负电子对撞的方式，获得希格斯粒子的过程中，干扰粒子少，采集到的希格斯粒子都可以用来做精确分析，使得希格斯粒子的许多属性的测量精度提升一个量级。

据悉，目前，中国、日本和欧洲的希格斯工厂计划都在推进之中。中国CEPC项目研究工作组不断优化加速器的设计，于2023年12月25日正式发布了《加速器技术设计报告》。日本的ILC项目则调整了对撞机的设计规模，等待政府的进一步评估和决策。而CERN则从选址、技术等方面对FCC项目的可行性进行进一步的评估，有消息认为其最早可能于2033年动工。（来源：中国科学报 倪思洁 阚宇轩）

相关论文信息：https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.021803

https://doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135754

https://doi.org/10.1007/JHEP05(2023)233

作者：黄燕萍等 来源：《物理评论快报》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发