

# 希格斯粒子和超对称

杨 金 民

中国科学院理论物理研究所

----- 《物理教学》特约稿件 (09 年 31 卷 10 期 2-3 页)

**摘要：** 被称为上帝粒子的黑格斯粒子可能和超对称有密切关系，在超对称的理论框架内黑格斯粒子存在得自然、安逸、和谐，超对称是黑格斯粒子的天堂。本文结合 LHC 对撞机简要介绍黑格斯粒子和超对称。

**关键词：** 黑格斯粒子；超对称；LHC 对撞机

欧洲核子研究中心 CERN 的大型质子对撞机 LHC 已经开始试运行，这一能量极高的魔兽将毁灭质子而产生出宇宙创生之初的粒子大家庭，被称为上帝粒子的黑格斯粒子是这个大家庭的重要成员，它们的重生将再次彰显上帝的荣耀并给世人带来惊喜！

黑格斯粒子被誉为上帝粒子是当之无愧的，在粒子物理的标准模型中黑格斯粒子扮演着上帝的角色，所有粒子的质量都是由黑格斯给的（不带标准模型量子数的右手中微子的 Majorana 质量除外），若没有黑格斯粒子，整个宇宙都将是没有质量的缥缈之物，大千世界将处于原始的混沌之中。按照圣经，上帝一周之内就妙手创造了世界，但若没有黑格斯的帮忙，上帝他老人家恐怕难以完成这样的重任。其实，黑格斯机制和黑格斯粒子的存在可能也是上帝的妙笔。

按照粒子物理的标准模型，统一描述电磁作用和弱作用的对称性必须是自发破缺的，否则所有粒子都将没有质量。自发破缺的含义就是某一个场在能量的最低态（又称真空态）不具有这种对称性。什么样的场能够在真空态具有非零的取值（又称真空期望值）去实现电弱对称的自发破缺呢？只有不带颜色和电荷的标量场——黑格斯场！否则，久经考验的色荷、电荷或时空的对称性（又叫洛伦兹不变性）就被破坏。黑格斯粒子只是在宇宙创生之初昙花一现，它在完成使命之后马上就衰变掉而香消玉殒了，寻找它的踪迹一直是高能物理的一个重要目标。但由于黑格斯粒子本身比较重而且不带电不带色，它在对撞机上比较难以寻觅。和它差不多一样重的顶夸克，由于带色而参与激烈的色作用已经被美国费米实验室的 Tevatron 对撞机给发现了。那些好色的粒子由于参与色作用比较容易暴露自己（按照色紧闭理论，所有好色的粒子都被上帝囚禁起来而不能自由，它们永远破不了色紧闭的魔咒）。费米实验室也正在挖空心思对黑格斯粒子展开大追捕，但到目前为止还没有发现它的踪迹，其实，鉴于费米实验室 Tevatron 对撞机有限的能力（能量和亮度两方面），追寻不到黑格斯也是正常的。黑格斯正在那灯火阑珊处，没有足够的实力是寻觅不到它的，它在翘首等待 LHC 大哥的垂青呢！

如果存在基本的黑格斯粒子，那么标准模型就显得很蹩脚，超出标准模型的超对称理论就应该在 TeV ( $10^{12}$  电子伏特) 能标出现。只有在超对称理论的框架内黑格斯粒子才存在得自然、安逸、和谐，如果不存在超对称，黑格斯粒子的质量就稳定不了，它会像匹脱缰的野马随着能

标的跑动而狂奔不止。而由于所有粒子的质量都是由黑格斯给的，那么所有其它粒子也都会随着黑格斯变重而变重，这样就不会有氢原子，也就不会有生命，丰富多彩的大千世界就会变成一片死寂的混沌。标准模型驯服不了黑格斯这匹野马，只有超对称才能驾驭它，其原因是在标准模型中猖獗的量子效应主导了黑格斯粒子的质量而使得其烦躁不安，超对称以其优美的对称性压制住了量子效应这股黑恶势力从而稳定住了黑格斯粒子的质量。

那么，什么是超对称理论呢？超对称其实是时空对称性（平移和洛伦兹转动）的扩展，有了超对称，时空对称性才得以圆满。超对称自提出以来以它的优美征服了无数的理论家和实验家，它除了能奇妙地驯服黑格斯从而把黑格斯粒子的质量稳定在费米能标（大约 100GeV，一个 GeV 等于  $10^9$  电子伏特），在宇宙学中还能大显身手，不仅可以去实现宇宙早期的暴涨，还为宇宙中的暗物质粒子提供了一个很好的候选者：由于最轻的超对称粒子是电中性的、稳定的粒子，可以充当暗物质的自然的候选者。其实超对称理论预言我们世界中的每一个粒子都有它的超对称伴子（叫作超粒子），所以，如果超对称是真经的话，我们还有另一半超粒子世界。这些众多的超粒子在宇宙形成的极早期大量存在并甚是活跃，可惜这个家族的绝大部分成员都很短命，在宇宙的早期与其它众多粒子热闹一番后便纷纷衰变而退出历史舞台，到现在只剩下一个老么（最轻的超粒子）长生不老，其年龄和宇宙老人一样，至今已有 137 亿岁了。虽然绝大部分超粒子都早已仙逝而归于宇宙尘土，但我们可以在高能对撞机实验中让它们得以重生，从而揭示上帝创造宇宙的玄机并炫耀人类的智慧和文明。

作为暗物质候选者的最轻的超粒子特别值得表扬一番，它除了像标准模型的黑格斯粒子那样不好色不带电之外，它是宇宙中的真君子和真正的逍遥客，它是高尚的无名英雄。没有它，宇宙的结构就难以形成；它就像宇宙中的强力胶，没有了它，宇宙中的一个星体就会纷纷飞散，宇宙就会彻底散架而导致天下大乱，统领宇宙的上帝老人也会惊慌失措。它虽然在宇宙的形成和稳定中起着关键作用，它却选择不显山不露水的洒脱生活，它虽然象上帝一样时刻在我们周围，但却无影无踪，它的低调使得我们根本就看不到感觉不到它的存在。要感知它存在的妙音，必须有专门的实验设备（各种天体物理实验和高能对撞机实验），寻找这样重要而高尚的粒子是我们人类的光荣使命。

超对称除了预言包括暗物质粒子在内的大量超粒子之外，还预言黑格斯粒子有好几个兄弟姐妹，它们一起组成一个快乐的黑格斯家庭，它们联合起来一起给其它粒子提供质量，并且在完成任务后马上衰变而光荣殉职。LHC 对撞机将重生它们这个家族，向人类证实它们的作用和贡献。

值得注意的是，作为史无前例的人类科学实验装置的巨无霸，LHC 对撞机虽然有超强的能力去发现黑格斯粒子、超对称粒子和暗物质粒子，但它像一个猛男子一样，力很大但不够精细，它不能精细研究这些粒子的性质和品行。要彻底识别 TeV 能区的庐山真面目（特别是彻底明察超对称天堂），还需要下一代正负电子对撞机 ILC。