

# 大型强子对撞机(LHC)会导致世界

## 末日的来临吗

吴小刚 邢志忠

2008年8月8日，建在欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机LHC被注入了第一束粒子，即将开始它在14 TeV质心能量上的质子-质子对撞实验。粒子物理学家们对此翘首以待。尽管描述强、弱和电磁相互作用的标准模型已经取得了很大成功，但是它显然还不够完美。理论称，标准模型存在的漏洞应该由高能区的新物理来填补，这些新物理将得以通过LHC来研究。有些候选理论不过是对标准模型的简单修补，而我们最感兴趣是那些包含新时空观念的理论，这些新的时空正等着我们去发现。

然而，如果你去维基百科网上查一下LHC，你将会发现那里充满了对这个庞然大物安全性问题的担忧。在LHC上，我们将用超过以往任何加速器所能产生的高能量做实验，并希望能产生以前从未观测到的新粒子。那么，我们会不会因此撞出一些危险粒子呢？比如说，一种能吞噬正常物质的粒子，它们或许最终使地球也大煞风景甚至烟消云散。整天设想这类可怕的事情真是一种病态的癖好，不过一些可能的危险粒子还真就被臆造出来了。Jaffe, Busza, Wilczek 和 Sandweiss 在《现代物理评论》杂志上发表了一篇文章，对这些想法进行了分析，得到如下结论：根据现有观测事实和已知的物理规律，关于危险粒子的这些臆测都是站不住脚的。欧洲核子研究中心随后进行的一些研究支持了这一结论。

不过，有一种情形极其微妙，与之相关的想法如下：LHC 将会产生一些微型黑洞，它们将会“生长”到宏观尺寸，慢慢地把整个地球都变成一个黑洞。请先允许我申明，目前还没有任何一种理论会导致这个结论。从我的那些消息灵通同事目前的举动，你就可以判断出我所言非虚。他们现在正准备去日内瓦的欧洲核子研究中心休假，要是安全真有问题的话，他们应该躲到墨尔本去。只有做一系列的假设，假设我们现有的理论是如何如何不正确，这时才有可能导致那些安全性问题。在《物理评论

D》上发表的一篇文章中，加利福尼亚大学圣巴巴拉分校的 Steven Giddings 和欧洲核子研究中心的 Michelangelo Mangano 把这些假设作为对现有理论的一种挑战，并以这些假设为基础，做了一些新的、有趣的研究。他们问到，如果这些假设都是对的，那么由此导致的微型黑洞会不会已经吞噬掉了宇宙中的一些东西，而我们应该早已注意到了它们的消失？他们推断，如果LHC可以产生一些危险的微型黑洞，那么我们所熟知的那些天体应该在很久以前就被摧毁了。

为什么工作在  $10^4\text{GeV}$  能区的 LHC 应该产生很强的量子引力场呢？一般情况下，这么强的量子引力场不会出现在普朗克能标( $10^{19}\text{GeV}$ )以下的能区。弱相互作用的标准模型包含了规范对称性的自发破缺和一个对称性破缺的基态。这种对称性破缺所对应的能标是 100 GeV 的量级。标准模型的一个未解之谜就涉及到该能标的起源问题，即它为什么不像普朗克能标那么大？1998年，Arkani-Hamed, Dimopoulos 和 Dvali (合称 ADD) 把这个问题提到了台面上，同时他们怀疑量子引力的能标可能只有几百 GeV。他们猜想空间可能存在额外的维度，弯曲空间中的引力场可以填满这些额外的维度，而夸克、轻子、光子以及标准模型的其他粒子则被束缚在这个高维空间内的一堵三维墙上。由于随着  $r$  的减小，引力在高维空间中增长得更快，在  $3+n$  维空间中将以  $1/r^{2+n}$  而非  $1/r^2$  的形式增长，因此相对于三维情形而言，额外维空间的量子引力效应将会在较大的距离(例如毫米距离)或较低的能量(例如 TeV 能标)处变强。

在普朗克能标以上发生的粒子碰撞一定会产生黑洞，因为这将把大量的能量注入一个足够小的空间区域(即所谓的施瓦西半径)。Giddings、Thomas、Dimopoulos 和 Landsberg 意识到，如果将这种逻辑应用到 ADD 模型中，那将意味着在 TeV 能区发生的高能碰撞也应该产生黑洞。他们并不认为这是个危险情况，而视之作为一种令人兴奋的物理可能。他

们想象这些黑洞会以大约  $1\text{TeV}/k_B$  (约  $10^{16}\text{K}$ , 其中  $k_B$  为玻尔兹曼常数) 的温度发光发热, 同时通过霍金辐射释放出大量夸克、轻子和玻色子, 在  $10^{-26}$  秒之后蒸发掉。这个过程会产生一系列独特的、不可能误识的事件, 从而在 LHC 实验中被探测到。

但是, 万一霍金关于黑洞辐射的预言是错的, 那将会怎样? 目前还不存在支持霍金辐射的直接证据。我们在自然界中已经观测到的黑洞都是恒星或星系的尺度, 它们的霍金辐射是看不见的。在霍金辐射的假设下, ADD 模型所预言的黑洞将是稳定的, 而且很有可能被地球俘获, 而这将导致灾难性的后果。由于我们还没有一个关于量子引力的完整理论, 所以尚不能彻底驳倒这种推测。毕竟霍金辐射的理论证据还是很有力的。很多从不同角度出发的计算结果, 都和霍金温度及其辐射谱的具体公式一致。一个与霍金辐射相关的效应, 即加速物体辐射的 Unruh 效应, 通过量子电动力学就能推导出来。但是, 科学家们也提出了一些不发生辐射的黑洞模型, 其中有一个恰是 Unruh 本人提出的。这个模型要求破坏洛伦兹不变性, 这只有在  $10^{19}\text{GeV}$  的能区才有可能, 而在  $\text{TeV}$  能区是绝对不可能的。

倘若不考虑这些强有力的理论依据, 我们也可以换个思路来看 LHC 的黑洞产生问题。在漫长的岁月中, 地球曾被大量的高能宇宙射线击中。因此可以说, 自然界实际上已经进行了很多次 LHC 实验。如果我们现在还活在这里, 那就意味着 LHC 实验一定是安全的。这是由 Jaffe 等科学家经过认真的研究而做出的一个权威性论断。Giddings 和 Mangano 具体分析了地球和太阳由于暴露在宇宙射线中每 10 亿年所遭受的能量高于某一质心能量的高能质子碰撞的次数。我发现在 LHC 上发生此类事件的次数要低得多。该论据有力地排除了任何被地球俘获的假想粒子可能带来的危险。然而, 黑洞仍有可能不受这一论据的制约。一个 ADD 模型中无结构的中性黑洞, 其半径只是一个原子核尺寸的千分之一。这样一个“容易滑脱”的黑洞有可能在 LHC 上产生出来, 随后它会停下来滞留在地球中。而产生于宇宙射线的同类黑洞则会以光速穿越地球, 在此过程中它仅仅遭遇些微的碰撞而已。在这样一个物理图像里面, 基于宇宙射线的论断似乎就丧失了说服力。

从这个意义上讲, ADD 模型中绝大多数从 LHC 产生出来的黑洞应该是不容易滑脱人们的视线的。

质子是一个由夸克和胶子构成的束缚态。在质子-质子对撞机中, 最基本的反应是单个的组分夸克和胶子的碰撞。黑洞将经常从夸克-夸克或夸克-胶子的碰撞中产生出来, 这样的过程需要尽可能高的能量。这些反应产生的黑洞携带电荷, 并且具有很强的强相互作用。它们将会和强子等物质发生相互作用, 甚至那些相对论性的黑洞也会在几十米的行程内停滞。这些黑洞中的某一个有可能吃掉另一个夸克, 中和自己的电荷, 变得容易滑脱掉。吸收一个夸克的反应是和通过霍金辐射发射出一个夸克的反应相联系的。因此如果没有霍金辐射, 我们预期中和反应也不会发生。但是鉴于我们一直都是在做思辨, 那就不妨再假设 LHC 产生的黑洞几乎都是容易滑脱的。

现在我们面临一个难题。为了把它研究清楚, Giddings 和 Mangano 从两方面着手进行了新的分析。首先, 取代地球和月亮这样的常规天体, 他们考虑了白矮星和中子星上黑洞的产生。白矮星和中子星的密度比岩石分别大  $10^9$  和  $10^{15}$  倍, 因而即使是容易滑脱的黑洞也能够停滞下来, 并有可能对天体本身造成破坏。白矮星和中子星确实在宇宙中大量存在着。我们现在对白矮星的冷却机制非常了解, 所以通过温度就可以推断出它的年龄。中子星和伴星可构成 X 射线双星系统, 其中伴星的质量会不断地流入中子星。从系统的半径、周期和伴星的性质, 我们可以推断出中子星的年龄。目前已经找到了很多年龄超过 10 亿年的白矮星和中子星的例子。其次, Giddings 和 Mangano 仔细分析了微型黑洞的物质增长。增长的速率取决于额外维模型的具体细节。在某些情形下, 微型黑洞只有很小的引力效应。一个被拦截的微型黑洞最终将一个原子接一个原子地吞噬整个地球, 但是吞噬的过程需要 1000 亿年。而在 ADD 模型的另外一些情形下, 则可以在半径远大于原子间距的范围内感知到较强的额外维引力场。这时必须采用一种不同的、流体力学的描述方式。Giddings 和 Mangano 用 Bondi 的经典理论分析了这种情况, 发现微型黑洞在较短的时间内增长从而吞噬地球也是可能的, 大概只要几千年。但是高密度的白矮星和中子星将会更快被所俘获的黑洞毁灭。对白矮星而言, 它被吞噬所需的时间比地球被吞噬所需的时间短上万倍。假如黑洞吞噬地球真的仅需要几千年的话, 那么黑洞吞噬白矮星可能就只

# 细数“嫦娥一号”的八大“宝贝”

王晓义 陈 闯

2007年10月24日18时5分，中国第一颗探月卫星“嫦娥一号”在四川西昌卫星发射中心成功升空。在克服了可靠性、无法预知的空间环境风险和技术方面可能的不确定性等诸多威胁，历时十天，经过多次变轨、中途修正、近月制动、捕获月球等数百个动作，“嫦娥一号”终于扑入了月球的怀抱。又经过多次调整，“嫦娥一号”进入了周期为127分钟、高为200千米的环月轨道。

“嫦娥一号”的成功发射标志着中国的深空探测正式启动。据此前公布的规划，中国探月工程将分为三个发展阶段实施：一期工程实现绕月探测，二期工程实现月球软着陆探测和自动巡视勘察，三期工程实现自动采样返回。作为“三步走”中的第一步的绕月探测工程是于2004年初才正式立项的。中国航天人仅用了三年的时间，就托举着完全自主创新的“嫦娥一号”进入了太空，使中国成为世界上第五个发射月球探测器的国家。

今天，距我国首次探月工程成功已一年有余，距“嫦娥一号”即将主动撞向月球所余的日子也不多了。但“嫦娥一号”那优美的身姿和不断传回神州大地的一个个佳音让我们仍对她常常梦绕魂牵。

成功绕月后，“嫦娥一号”便可以动用她的八

件“宝贝”来实现她预定的四大科学目标。这八件“宝贝”分别是：CCD立体相机、激光高度计、X射线谱仪、 $\gamma$ 射线谱仪、干涉成像谱仪、微波探测器、太阳高能粒子探测器和太阳风离子探测器。这八件仪器是相互配合使用去完成四大科学目标的。其中，CCD立体相机和激光高度计配合工作来绘出人类历史上第一幅月球的三维立体影像；X射线谱仪、 $\gamma$ 射线谱仪和干涉成像谱仪相互配合，来探测分析月球表面元素及物质类型的含量和分布，探测元素多达14种，居世界月球探测之最；微波探测仪则是在世界上首次利用微波遥感手段对月壤进行探测；而4万~40万千米间的空间环境的辐射探测则是由太阳高能粒子探测器和太阳风离子探测器来进行的。

那么，这八件科学仪器的原理是什么，又是如何工作的呢？值此“嫦娥一号”发射成功一周年之际，让我们来对它们作一个了解。

首先来看看第一组的两件仪器——CCD立体相机和激光高度计。

## CCD立体相机

CCD (Charge Coupling Device 电荷耦合器件) 是立体相机的重要组成部分，是一种光敏半导体器件。它上面的感光单元将吸收到的光线转换成电荷

花几个月的时间，但是这和我们目前的观测事实不相符。中子星已经致密到非常接近完全引力塌缩所对应的密度阈值了。这意味着甚至一个单独的微型黑洞都能催化整个中子星的快速塌缩，然而我们也没有观测到这类事件。就是说，无论地球看上去多么容易被摧毁，而白矮星和中子星实际上比地球更加不堪一击。因此，对LHC可能产生的微型黑洞而言，这些超致密天体就像是谚语中所谓的“煤矿里的金丝雀”一样敏感脆弱。只要脉冲星像唧唧喳喳的金丝雀那样保持着生命力，那么地球就没有危险。

在这篇文章的开头，我曾强调过高能物理学家对LHC的安全很有把握，依据是他们对TeV能区的物理的理解。我们利用从高能宇宙射线所获得的

经验也可以强化这个论断。如此诉诸经验，可能会比较容易得到公众的认同。但是众所周知，宇宙射线的能谱下降很快。因此我们对于能量在100TeV以上的宇宙射线碰撞几乎没有什么经验可言。为了说明未来建造更高能量的加速器的正当性与合理性，我们将需要让公众更多地了解我们已经从高能粒子所获得的知识以及探索新的物理规律是多么有趣。我希望，即将在LHC上做出的激动人心的发现能够推进这两个目标的实现。

(本文译自美国著名理论物理学家Michael E. Peskin 2008年8月发表在《Physics》杂志上的文章“The end of the world at the Large Hadron Collider?”，略有删改)。

(中国科学院高能物理所 100049)