

白洞

宇宙中的喷射源

〔英〕J. 格里宾 著



科学出版社

57.3103
46619
12

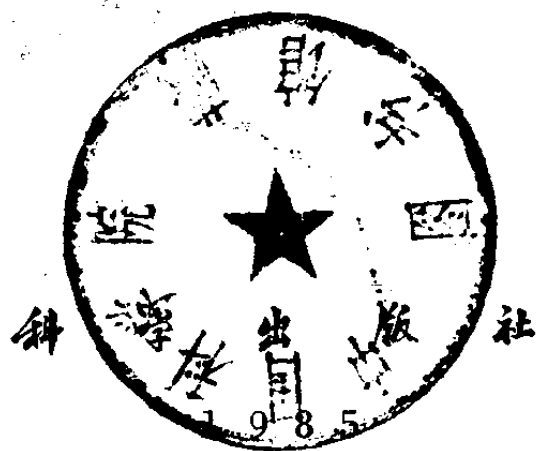
白 洞

宇宙中的喷射源

〔英〕J. 格里宾 著

刘金铭 译

杨 建校



46619

内 容 简 介

本书介绍了近年来天文学领域中出现的一种新理论——白洞。作者通过对黑洞的产生以及宇宙间的一些物理现象的解释，进而提出白洞这一新的学说，其中不仅谈到白洞的本质及其在宇宙演化等方面的地位，而且还涉及了宇宙论各方面的问题。

该书叙述简明扼要、内容新颖、全面系统，是一本很好的科普读物，可供广大青年及天文爱好者阅读。

John Gribbin

WHITE HOLES

Cosmic Gushers In The Universe

Published in 1977 by Paladin

白 洞

宇宙中的喷射源

〔英〕J. 格里宾 著

刘金铭 译

杨 建校

责任编辑 黎昌颢 彭 英

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985年7月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1985年7月第一次印刷 印张：67/8

印数：0001—2,500 字数：156,000

统一书号：13031·2957

本社书号：4139·13-5

定价：1.30元

白洞——宇宙喷射源

研究宇宙喷射源(白洞),是为了使我们进一步理解现实宇宙的开始和终了。

事实上,宇宙可以同时处在向外爆发、向内爆聚和振荡状态。

目前,我们只能谈谈自己的宇宙,它的诞生(作为宇宙喷射的白洞)、向外膨胀和向外涡旋,以及所有我们现在可接收到的、在绝对零度以上背景辐射的微弱射电辐射。

现代天文学家的物理图象包括:红巨星、白矮星、视界、红移、夸克、中子、超光速粒子、类星体和黑洞,已初步建立起一门全新的宇宙学。

如我们所知,能量和物质、空间和时间,它们仅仅可能在某种较大的和难以确切表达的通道和隧道内存在。我们的“常识”所说的空间是这样的区域:除了稀疏地充满气体和星系之外,就一无所有了。这些气体和星系从一个无形的中心一直向外膨胀,而它们的变化过程受到相对论定律的限制,这种“常识”所说的空间,可能证明仅仅是情况的一部分。

“这里有吸引人的素材——足够写出一百篇新的科幻小说——但是,更重要的是,这里证明:宇宙的新数理图象的真实要比任何作家能想像的更加引人入胜,汲取养料和不断提高——由此得到在宇宙尺度上研究的信心”。

L. 沃森

目 录

天文学上的“虎”和“羊”	(1)
序言一 黑洞是想像出来的虚构物吗?	(9)
序言二 黑洞之前	(22)
第一部分 我们来自何处?	(33)
第一章 大爆炸和膨胀宇宙	(33)
第二章 我们在膨胀宇宙中的地位	(49)
第三章 星系喷射源	(81)
第二部分 我们现在何处?	(97)
第四章 我们的银河系	(97)
第五章 白洞为何喷射?	(115)
第六章 地球和宇宙	(139)
第三部分 我们正在向何处去?	(156)
第七章 宇宙中的对称性	(156)
一、双面气球?	(156)
第八章 宇宙中的对称性	(173)
一、重复振荡的宇宙?	(173)
后记 为何烦恼?	(187)
附录	(191)
术语解释	(201)
参考文献	(207)

天文学上的“虎”和“羊”

事物并不像它们在我们宇宙密林中那样，在那里，每个阴影都包含某种神秘的虎的形象（往往不是燃烧发光），天文学家在电子仪器的支持下，与不适当的感觉作斗争，以便推测是什么神圣之手或眼睛塑造了宇宙。对于大多数人们（甚至对于许多天文学家）来说，宇宙看来是一个近似固定不变现象的非常壮观的实验室，其中每一现象都可以依次被观测到，等到拼图的足够的部件完成时，我们就可以看到整个图象。恒星和星系仅仅呆在那里，座落于空间中准备被我们观测，从人类的任何时间尺度的宇宙观来看，变化很小。可是，这种简单的宇宙观很快就变得过时了。从相对论得到的第一个启示：事物的整个结构是像这些细节（一切事物都彼此有联系）现已发展成为新宇宙观的基本范例一样重要。但是，在这个新的框架内解释我们的简单观测的问题，几乎显得像过去一样严重。

关于我们可以在多大程度上信赖我们的感觉的问题，哲学家已经争论了很久。这个故事是说有两个人在乡间野外散步，他们看见在遥远的山上有一些羊，一个人说：“唉，我看到那些羊最近已经剪过毛了”，另一个更谨慎地回答说：“从我们这边看，看来肯定是这样”。当然，我们从经验得知，在实际生活中，如果羊在一侧已剪过毛，它们在另一侧肯定也同样剪过毛了。但是，关于我们看到的宇宙深处的天体，我们也能如此肯定吗？天文学上的“羊”在我们看不见的另一侧真的也剪过毛吗？这可差得远呢。确实，导致我们宇宙观

研究取得最大进展的最好的见识，是来自那些思想家，他们能够对一切事物会怎么样的问题取得巨大的突飞猛进，如果它们不像我们被日常生活所决定的感觉看来的那样，——如果羊在另一侧没剪过毛会成什么呢？自从人类对宇宙发生好奇心的早期时代以来，这种取得进展的方法一直在继续着。

至少自从最早有文字记载的时期以来，人类一直在努力了解宇宙以及人类在宇宙中的地位，当然，在比史前时期更长的时期里，对这些问题我们找不到有文字可查的记录。寻求关于我们如何和为何来到这里的深奥知识的这种热情，是区分人类和其他动物的根本因素，从哲学上来说：狗没有考虑抽象的上帝存在的需要，对于狗来说，它们满足于真实的有形的上帝——人。甚至海豚，由于猜想它们的智力与人一样（有些人会说，它们可能有像人一样高级的能力），它们花费相当大的智能来控制它们附近的环境——海洋，它们完全适应于海洋，而且看来并没有被向外探索的热情（要求知道更多关于局部环境如何适应于行星、太阳系、星系和宇宙的更大的环境），所困扰，向外探索的热情一直是人类许多最重要的智力成就的推动力。不论我们选用“宗教”、“占星术”、“哲学”还是“天文学”和“宇宙学”来标记它，这种热情的基本性质仍然是一样的。在各种各样的假借词意下，这种向外探索热情已经带来了地球上几百年和几千年来的近期历史所取得的进展，以致于可以充满信心地说，我们已得出这样一种宇宙观，比起我们的任何祖先的知识范畴来，它相当满意地包含着更大部分（既指空间，又指时间）的宇宙。

但是，这并不是说有任何行将结束探索的迹象——我们仍然没有证据表明，对于为什么现在我们存在于地球上这个问题有任何简单的基本“答案”。实际上，我们知道得愈多，那么还有多少仍需要了解就变得更清楚。知识的增长可以同

一个膨胀的气球相比拟，气球内空气的体积代表已知的知识，其表面就标志着已知和未知知识的边界；由于“已知知识”体积的增加，气球的表面面积（已知和未知之间的边界范围）亦随之增加，因此，我们了解得愈多，我们看到需要了解的就更多。生活对于我们来说比古代人更复杂，古代人能把他们生活中的大多数事件看作是上帝或众神的意志。但是，我们的宇宙观的扩大在许多世纪中不能平稳地进行。而且，我们发现在整个历史上对宇宙本质及人在宇宙中的地位的新见识，已经看作是想像力或直观的巨大突飞猛进，这种突飞猛进经常是由一个人或者也以相似的形式差不多在同时由几个人作出的。在想像力取得的这些突飞猛进以后，紧跟着是巩固阶段，在这些阶段引人注目的新见识，变得渗透进总的意识结构，直到它成为平淡无奇时为止——甚至事后认识到是普通常识。那么，在适当的时间，另一次巨大的突飞猛进，可能会提供普通常识的新概念和提供编入不断发展及改进的整个宇宙观的新前景。

以地球的形状为例。不久前，甚至著名的哲学家当凝视着原野和海洋时，撇开山脉河谷的不规则性，或许仅仅看到地球是扁平的证据。他或许考虑过世界边界的性质，或者扁平的地球如何受到下面的支持。但是，他不会考虑到地球是圆的可能性——即，没有放弃他那个时代普遍承认的宇宙观。要超出普通常识的宇宙观，必须有丰富的想像力，要查问“如果……将会如何呢？”（假若地球是圆的将会如何呢？假若太阳不是宇宙的中心将会如何呢？假若恒星不是固定在水晶球上的光点将会如何呢？），不局限于人们习惯的普通常识的这种想像力，有时会提出证明是错误的新的宇宙观，而且不成其为新的普通常识的一部分。仅仅在最初想像力的创造性的突飞猛进之后，我们才知道是检验假说的科学方法盛行起

来，伟大的思想家并不总是他们自己想像的概念的最好实际检验者，“假若地球是圆的将会如何呢？”在某人严谨地研究其含义之前，必定受到过多次嘲笑。假若地球是圆的，那么，即使当船的桅杆可见时，由于地球的曲率形成的“小山”也会挡住远距离船的船身，……假若地球是圆的，就能解释为何高高处于船的桅杆上的瞭望者可以比从甲板上看得更远…，以及为何甚至在最晴朗的日子里我们也不可能看到世界的边缘。因此，在这个使人感到满意的概念里看来毕竟有什么东西需要探索。

仅仅当圆形地球的概念成为新的普通常识，且仅仅在此之后，才能从新改进的宇宙观的可靠基础，作出想像力的新的突飞猛进。许多人从事于补充每一种新宇宙观的细节，但是，很少人具有提供可以被补充的总结构的想像力。在我们的宇宙观中，想像力最后一次重大的向前飞跃，是在六十多年前随着相对论和量子论的思想基础而明确表达的，但是，经过六十多年的不断补充，现在才得出一个清晰的新宇宙图像——要说新宇宙图象已成为公认的普通常识还为时过早。一个天体运动愈快，其质量增加愈大而其年龄增长愈慢是普通常识吗？要用文字准确地说明一个小粒子在何处和它在向何处去是不可能的吗？如果你对这些问题的回答是“否定”的，那么，我希望在阅读过这本书之后你会改变你的看法——因为你会发现这些是与新宇宙观最奇怪的含义完全不同的。根据同一思路，你可能必须修改有关质量、时间、甚至重量这许多熟知概念在普通常识下的含义。

我们都知道重量——它是任何物体的固有特性。实际上并不是这样。一个物体的质量才是它的固有特性，它量度物体内部物质的数量，实质上是组成物体的原子的种类和数目。物体的重量是一个力，它是由物体的质量同整个地球质量

相互作用引起的——这种相互作用力称为重力，迄今对这种力尚未能完全了解。如果你移动一千克重的物体到月球上去，它的质量不会发生变化，但是因为月球比地球小得多，以及月球的质量比地球少，我们在弹簧秤上的一千克的重量将会变成一千克的六分之一，恰像空间实验室飞行给我们表明的那样，在空间自由下落时，所有物体的重量都是零，航天员、工具以及食物等等都可以在航天器中漂来漂去完全不会落下。

美国和苏联的空间计划，的确为修改普通常识的宇宙观使其与想像力的新近一次突飞猛进更一致，提供了一种至今最大的支持（不是最近的一次突飞猛进——从自由落体条件得出的某些最明显的经验，证明不是爱因斯坦的想像力准确，而是牛顿的想像力准确）。在空间计划中我们看到科学幻想变成科学现实，我们得知科幻作家的想像力在许多情形下仅仅是伟大科学家想像力的再复现。这不是小看科幻，可是，牛顿或者爱因斯坦想像力的真实突飞猛进，远远超出了“普通常识”，以致于它们不能全部置信却是真的。科幻作家在调和这些概念、以幻想形式描述它们和小心地把它们移置到总的宇宙观中，却起着重要的作用。根据定义，科幻几乎必定像最伟大的科学事实的进展同样形式的想像推测——但是，根据定义，科幻几乎必定比不上科学事实的想像力，至少在其最主要的形式上是如此。在本书中我要经常回到这个题目上来，在我看来，科幻发展到其最高阶段大约在六十年期间已经实现，同迄今已经开始吸收科学中所产生的某些想像力的最伟大的突飞猛进，是更加一致的。仅仅在经过科幻的选择后，这些概念才变成工程计划和建设的实际现实——而且，还有更多的概念在其发展过程中要经过这种选择。

举一个例子有助于弄清楚创造性科学家（和科幻作家）的

想像力和工程师在运用最新科学知识的技巧之间的不同。在科学和技术所应用的全部数学中，一个常常遇到的最普通的方程式是二次方程式，或与其等效的涉及未知量平方的方程式。当我们解这种方程式时，经常得出两个可能的解，这对应于这样一个事实：任何平方可以用两种方式实现（例如16，或者以 4×4 得到，或者以 $(-4) \times (-4)$ 得到）。这两个解一般并不仅仅是加正、负号的相同的数字这种最简单的形式，对一位工程师来说，要设计一枚月球火箭，也许他需要的是特定问题的解，通常是明显的——或者是普通常识，譬如，“负根”可能显然对应于一枚潜伏在地下后开始发射的月球火箭，而且“显然”可能作为不合理的“宇宙观”而被放弃了。可是，富有想像力的科学家，面对着同样的一组方程式，或许要问“如果……将会如何呢？”如果说我们有一枚潜伏在地下后开始发射的月球火箭将会如何呢？荒谬可笑吗？不会比超光速粒子更荒谬，超光速粒子问题将在本书第七章加以讨论。

当数学家解相对论的二次方程式时，他们也发现了两种解。一种解对应于总是比光速慢的粒子——爱因斯坦理论的一部分，现在几乎被公认为普通常识——而另一种解对应于总是比光速运动快的粒子。承认两种解的真实性所需要的想像力，甚至超出了爱因斯坦宇宙观的范畴，超光速粒子的概念（比光速粒子快）今天肯定远非公认为普通常识。我们在何处发现讨论了这一概念呢？是在一批科学论文中，但就扩大范围来说，也出现在科幻作品中。那么，在这部分想像力变成得到公认的普通常识之前，它将被认真的工程师用于设计通讯设备将经历多长时间呢？利用这种通讯设备我们可以发射和接收比光速还快地穿过银河系的信息。

因此，想像力是较好的宇宙图象的关键——为了发现哪

一种想像力的突飞猛进已可靠地建立起来了，想像力要紧跟着实际的检验。人同海豚或蚁类的区别就是想像力。这本书是最新的宇宙观的概括，这些最新的宇宙观是从富有想像力的思想家作出的最近一系列想像力的突飞猛进得出的，今天我们把这些最新的思想家称为“科学家”，而不称为“先知”或“预言家”或“贤哲”。当谈及新的基本见识时，这些词义是相同的。可是，想像力最新进展的一个方面，即黑洞，已经或多或少单独地引起人们很大的注意，以致于它是处于进入普通常识概念海洋的边缘，即使就大多数人来说，取得进展的基础仍然处在思维科学和科学幻想的范围内。我把黑洞的概念作为宇宙中最终的一种“排水口”或“塞孔”，将物质排出于我们的视野之外。

黑洞的传奇故事比新天文学的任何其他方面都引起更多公众的注意，要了解其原因是很容易的。这些最终的“排水口”是很久之前(根据人类的标准)在本世纪二十年代到四十年代末由相对论学者预言的。相对论现在是值得尊重的理论，黑洞也披上了同样的盛装。虽然从日常的说法看来，它们似乎是异常奇怪的，可是，从旧学校培育出来的天文学家，或许有点不适应，他能把他的想法延伸到与这些概念相适应，根据这些说法，黑洞是最奇怪的不可思议的现象，是旧天文学最终的怪物。可是，当然旧天文学还不是极终的宇宙图象，结果是，为了对付黑洞，仅仅延伸它是不够的，这些天体可能是旧天文学最独特的特征，可是，它们也是新天文学最简单和最“显著”的特征。一旦让黑洞的概念进入你的宇宙观，新天文学的其余部分也就不可抗拒地跟随而来，几乎好像新概念通过这些黑洞进入一样。

在旧的图象中，空间中的这些黑洞是物质的最终结局——任何东西最终坍缩后进入这样一种状态：强的引力阻

止任何东西甚至光线逸出后进入外界宇宙。这就是物质的终结。可是在新天文学中，这些黑洞是可见的，甚至更加重要的是把黑洞作为一种起始。假若事物可以进入黑洞，那么，在方程中改变一个符号（假若……将会如何呢？）我们发现事物可以从洞中出来——让我们称它们为白洞。稍加一点想像力，这些方程式可以解释为表明黑洞和白洞以及形成宇宙地铁的隧道之间的联系，因此，在实际意义上，进去什么就出来什么。这并不是无用的推测。旧天文学从未曾成功地解决过的最大难题，是要解释宇宙中很强的高能源，在那里的物质似乎是从很小的中心区域抛出的。新天文学一举解决了这个问题——而保留作为特殊简单的情形，例如像核物理学更简朴的物理现象的通常解释，它说明了为何太阳和恒星可以如此长时间地维持热和光。

作一个不太恰当的比喻，黑洞仅仅是新天文学冰山的顶峰，新宇宙观才是一个重大的进展，就像推翻学说的革命以及地球是圆的概念和地球绕太阳旋转的事实的全盛时期那样。而且，像那些一度革命性的概念一样，根据事后的认识，新宇宙观是很易理解的。我们可能会说：当然那些羊显然只在一侧剪了毛，可是为什么？在本书中很少有什么新的东西，在某种意义上，这些概念已为今天继承了伽利略、牛顿和爱因斯坦传统的哲学家、相对论学者和数学家讨论了很长时间。可是，除了这些社会名流之外，甚至科幻读者还必须通晓新宇宙图象的惊险前景。专家们可能会发现什么是熟悉的，什么是模糊的；但是，在低级刊物的词汇里，新的读者却会由此得到启蒙的。

序言一 黑洞是想像出来的 虚构物吗？

关于黑洞并没有什么新的概念。早在1798年，伟大的数学家拉普拉斯认识到，甚至在简单的牛顿引力理论范畴内，或许存在不能射出光线的恒星，以致于会把它们看成是宇宙中的黑洞。要证明这一点是简单的。由于引力的吸引，任何具有某种速度——逃逸速度的物质，就会从行星、恒星、月球或其他天体喷射和发射出来，只能逃逸到空间。任何比逃逸速度慢的物质，不是落回到母天体就是象一颗人造卫星那样进入环绕母天体的封闭轨道。如果母天体的质量较大或母天体的半径较小，这种临界速度是较大的，以后我们将分析第二种可能性；但是，拉普拉斯注意到，如果我们可以给空间中的天体增添更多的质量，增大它的半径而不增加它的密度，那么，逃逸速度会增加到无限大。假若我们取一颗像太阳一样密度的恒星，而其半径像地球绕太阳的轨道半径一样大，那么，任何物质离开这颗恒星表面的逃逸速度，将变得比光速（惊人的每秒30万公里的速度）还要大。对这样的天体，甚至光线会在恒星表面弯向它们的起点，而且光子可以绕恒星旋转，就像月球绕地球一样。但是，多年以来，拉普拉斯的概念没有被认为有什么重大意义——没有理由使人相信，可能存在与太阳密度相同而半径扩大到地球轨道半径的那样的恒星，而且即使它存在，正是由于这种黑洞效应，我们也不能发现它。直到1917年，黑洞的概念才以颇为不同的

方式再次出现，当时天文学家和数学家正在争论(这种争论持续到现在)爱因斯坦广义相对论的全部含义，以取得一致的意见；在本世纪内，正是由于这一理论，才使我们对有关引力的概念发生了革命性的变化。

甚至在三十年代后期，当数学家开始导出详细的方程来描述黑洞的性质时，看来这些天体必定仍然处于科学的想像的范围内。观测者怎么能根据这些方程式预期发现不辐射任何物质的天体呢？黑洞研究的哲学基础，看来呈现古时候关于在针头上可以跳舞的天使数目的那种争论的味道。按照常理，假若你的最好的宇宙学说认为存在某种天体而这种天体都是看不见和不能检测到的，你能说这种天体真正存在吗？看来黑洞可能是虚构出来的想像物，或者说是我们用来描述宇宙的数学的虚构物。这可能不是完美无缺的。当改正了广义相对论的不完善性而丢开黑洞概念的数学基础之后，也许有较好的理论可以代替爱因斯坦的概念。看来那仍然像是没有实际价值的颇为深奥的理论，且没有一个理论能被观测所证实。但是另一方面，不到十年以前(指1968年以后)，为观测宇宙的新特征而利用新型仪器的天文学家，在我们银河系中发现了前所未有的强能源。数学家很快地认识到如此强大的能量必定与强引力场有关，而这些亮的X射线星和脉冲星，在强引力场区提供了验证广义相对论预言的机会；也许终究可以检测到黑洞，如果不是直接的，就是从它对其周围物质的影响而测出。

虽然我们对引力的本质真正了解得并不多(除了物体的下落之外)，但是我们却对引力作用在物体上的一些性能，了解得相当多。如果物体受引力的作用而下落，那么它就迅速地获得运动能，这是根据引力相互作用而得到的。一个从几厘米高处自由下落的瓶子，也许会完整无损地到达地面，因

为它没有获得足够的运动能，使它的结构发生太大的变化。但是，同一个瓶子从一个高塔上自由下落时，瓶子的结构将发生剧烈的变化，因为在瓶子撞击地面而停止下落时，以一种新的方式很突然地重新分配，由于在地球引力场中下落而获得的能量。在引力吸引下自由下落的任何物体遇到碰撞时，就会发生运动能的重新分配，以致于运动能在非自由下落物质的不同部分中均匀分配——最终会在下落物质的每个原子中均匀分配。在原子这一层次，运动能恰好等于热能，由这种方式获取的能量，以光或热的形式辐射出去，一个热铁棒恰好也是以同样的方式辐射它的能量，我们可以看到它发射的光，同时也可以感觉到它辐射的热。你注入的能量愈多，射出的辐射就愈多；如果你在宇宙中发现了很强的辐射源，显然它们是从某处得到能量的。从一个致密源得到大量能量的最好的方式之一，是使物质落向致密源，而让引力做功。落向的天体愈致密，进入发生碰撞的物质愈多，我们看到辐射出去的能量就愈大——而黑洞这一类型的致密天体为非自由下落的物质压向它既提供了很强的引力吸引，又提供了一个很小的目标。

这样发现的致密高能源是非常“热”的，它们辐射最强的不是可见光或热，而是X射线。这种X射线在七十年代打开了黑洞研究的新局面。即使黑洞的概念至少已经存在了一个半世纪，并且作为数学手段的抽象事例，在广义相对论的框架内已经研究了整整三十年，但是通过与拉普拉斯经典想像力恰巧相反的途径的研究，对黑洞又重新发生了兴趣。除了对一个常数密度的恒星增添更多的物质，从而扩大其体积之外，一个黑洞可以通过现有质量（无论它是一颗恒星、行星或一把茶匙）压缩到足够高的密度而形成。因为逃逸速度也取决于质量，对于大质量天体，这就容易得多；且大质量天体

有另外的好处——它本身的引力把天体内全部物质强有力地吸向其中心。

一个小的天体，很容易抵抗住其本身小质量的微弱引力；物质的引力吸引也取决于天体的质量，给予我们人体重量的是整个地球质量的引力，这个重量阻止我们落进空间。当然，对于我们所有的人来说，在重量似乎是重负载的情况下，即使向下吸引我的不到90公斤的力是由整个行星地球产生的，看来引力仍然是相当微弱的力，且地球本身可以抵住重力而适当地保持下去，这是由于岩石晶体结构对压缩的抗衡，实际上是由于原子本身的抵抗。但是这种微弱的引力具有两种性质，使它成为一个在宇宙中需要加以考虑的力。首先，它是很长距离作用的力；对任何质量来说，引力随距离的平方而减弱。但即使如此，太阳对离它比地球远40倍而沿太阳系边缘环行的小小的冥王星保持引力吸引，而整个太阳系保持环绕由许多恒星组成的银河系旋转，仍然决定于在更远千万倍的距离上还起作用的引力吸引。如同我们下面将会看到的，在这个意义上，你看得愈远，似乎引力就愈加重要。部分原因是由于引力的第二个主要属性——即物体的引力随它的质量而增加。一旦你开始处理像恒星这样大的天体时，要找出使物质保持抗衡连续持久的引力向内吸引的方法，就成了现实的问题。

当恒星年轻和炽热时，这个问题不会发生。事实上，首先形成了像太阳这样的恒星是引力作用，这是由于空间的气体云，在引力作用下坍缩而形成近似球形的气团；随着球形气团的收缩，当气体的位能转变成动能和热能时，就会加热起来，一旦其中心足够热，核反应就会开始，同时原子核发生聚变，释放出更多的能量，这种能量不仅会使恒星发光，还提供了一种压力来阻止恒星进一步坍缩。但是，这种核聚变