

科技史·

# 史蒂芬·霍金的科学理论观

贺天平 郭贵春

(山西大学科学技术哲学研究中心,山西太原 030006)

**摘要:** 史蒂芬·霍金(S. W. Hawking)是20世纪具有很强国际声誉的理论物理学家之一,这位伟人在科学理论的认识上具有独到的见解:对物理理论持典型的朴素证伪主义的观点;在物理学统一上,谨慎而乐观地相信存在一种完整的统一理论;而且,“实在”在某种意义上以理论为前提。

**关键词:** 史蒂芬·霍金;科学理论;统一理论;实在

**中图分类号:** N09 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 5680(2004)04 - 0071 - 04

史蒂芬·霍金是20世纪享有国际声誉的伟人之一。他以辉煌的科学成就、畅销的科普专著和传奇的个人生平而闻名于世。霍金生于伽利略300周年纪念日——1942年1月8日,现在剑桥任牛顿、狄拉克等人曾担任过的卢卡逊数学讲座教授,是当今世界上继爱因斯坦之后最杰出的理论物理学家。

1988年,史蒂芬·霍金率先撰写了一本探讨天体物理学以及时空本质的通俗读物《时间简史》,是国际罕见的如此畅销的高级科普著作。他还有专著或与他人合著诸如此类的科普著作多部,如《时间简史续编》、《时空本性》、《未来的魅力》等等。这位科学巨匠赐予人类的宝贵财富,不仅仅用通俗的语言将深奥难懂的科学知识展示给大家,而且字里行间流露出作者丰富的想象力和深邃的哲学观。

## 一 “任何物理理论总是临时性的”

科学理论始终是科学哲学考察的核心,科学理论的发展模式是科学哲学家和科学史学家、科学家长期探索的一个重要问题。科学理论的发展是科学理论在历史上的更替与演变,更替的判断标准构成了这一中心问题的关键,通常被称为“科学理论的检验问题”。史蒂芬·霍金在这方面有自己独特的观点。

首先,霍金明确阐述了“什么是科学理论”。在谈论宇宙的性质和讨论诸如它是否存在开端或终结的问题时说:“采

用头脑简单的观点,理论只不过是(描述)宇宙或它的受限制的一部分的模型,一些连接这模型和我们所观察的量的规则。”<sup>[1]</sup>霍金认为,科学理论仅仅是一些模型或规则,而且这些模型和规则“只存在于我们的头脑中,(不管在任何意义上)不再具有任何其他的实在性”<sup>[2]</sup>。显然,霍金的这种观点存在着很大的局限性,因为科学家必须“尽可能把它们(指自然界的结构和作用)归结为一些普遍的法则和一般的定律”<sup>[3]</sup>,这些是纯粹思维的结构,当它把符号同观察到的现象联系起来时,思维就过渡到了实在,思维结构就过渡到了现象结构,物理学家把现象结构“看作是主观现象后面的客观实在”<sup>[4]</sup>,在这个层面上来讲,科学理论是客观实在的。然而,霍金强化真理的主观性、弱化真理的客观性,突出科学理论的经验性、否定科学理论的实在性,强调科学理论的认识论性、抹煞科学知识的本体论性,这是极其片面的和不合理的。

接着,霍金对一个“好的科学理论”作了界定。他认为一个好的理论必须满足以下两个条件:(1)简单性:它必须在只含一些任意元素的一个模型的基础上,准确地描述大批的观测;(2)解释力:对未来观测的结果作出确定的预言。例如,亚历士多德关于任何东西都是由四元素组成的理论是足够简单的,但它没有做出任何确定的预言,所以,霍金认为亚历士多德的理论并非一个好的理论。相反,牛顿的引力理论是基于甚至更为简单的模型,在此模型中两物体之间的相互吸

**【基金项目】** 受山西省教育厅社科项目“量子力学的模态解释”资助。

**【收稿日期】** 2003 - 05 - 19

**【作者简介】** 贺天平(1976 - ),男,山西蒲县人,山西大学科学技术哲学研究中心博士生,主要研究方向:科学哲学;

郭贵春(1952 - ),男,山西沁县人,山西大学校长,科学技术哲学研究中心主任,博士生导师,主要研究方向:科学哲学。

引力和它们称之为质量的量成正比,并和它们之间的距离的平方成反比。然而,它以很高的精确性预言了太阳、月亮和行星的运动,只有这样的理论才会被人们所接受。这里需要另加说明的是,到底怎样才算一个好的科学理论?至今没有一个标准的答案,科学家和科学哲学家也各执一词,霍金所说的也是一家之言。

再次,霍金对科学理论的检验作了鲜明的论述。霍金认为,对某一科学理论而言,人们永远不可能将它证实,因为不管有多少回实验的结果和理论相一致,都不可能断定下一次实验结果不会和理论相矛盾。霍金从本质上反对了归纳主义的理论检验观,同波普尔反对实证主义的出发点是相同的。反过来,哪怕只要找到一个和理论预言不一致的观测事实,即可证伪之。用霍金自己的话说,所有现存的理论都处在被检验的阶段,他们只是千千万万科学理论中的“幸存者”,只是没有被马上淘汰而已。霍金在阐述宇宙理论的发展时对这一思想表现得尤其突出。稳态理论是宇宙理论发展过程中的一个很具有影响力的理论,而且它是一个很好的理论:它非常简单,并做出确定的预言期待检验——其中一个预言是,我们在宇宙的任何时候任何地方看给定的空间体积内星系或类似物体的数目必须一样。本世纪50年代晚期和60年代早期,由马丁·赖尔领导的一个天文学小组在剑桥对从外空间来的射电源进行了普查,普查结果表明:或者单位空间体积内普通的源在近处比远处稀少,或者宇宙在射电开始发出的过去的那一时刻具有比我们现有的更密集的源。但是,无论哪一种解释都和稳态理论的预言相矛盾。1965年彭齐亚斯和威尔逊的微波背景辐射的发现进一步指出,宇宙在过去必须密集得多。因此稳态理论必须被抛弃。霍金是反对稳态理论、挑战霍伊尔的主要人物之一,正是因为他毅然地抛弃权威才在新的领域做出了惊人的贡献。而这种精神无论如何是与他的科学理论检验观分不开的。

从以上分析可以看出,霍金的科学理论观有以下三个特征:

第一,典型的证伪主义倾向。科学理论的检验问题是一个方法论问题,由于不同的科学家和科学哲学家对这个问题的回答不同,给出了不同的判断标准,其中影响较大的代表性观点有实证主义、证伪主义和库恩的范式三种。(1)实证主义的科学发展是一幅“积累式”科学进化的静态图像,科学是通过观察证实,运用归纳方法而逐步积累,并在积累的基础上稳步进化。(2)证伪主义认为科学是一幅“革命式”的动态图像,科学理论通过不断证伪,通过不断发现和排除错误,运用演绎方法而向前发展的,一次证伪就是一次革命,只有证伪才是科学的特征。(3)库恩的历史主义认为,科学在周期式的循环中发展,它既蕴含了知识积累的过程,又离不开科学革命的更替,科学理论的发展是“积累”和“革命”交替变换的发展,事实上,库恩的范式汲取了实证主义和证伪主义的精华,纠正了实证主义和证伪主义的偏颇,是二者的中和与发展。我们采用符合论的观点来考察,史蒂芬·霍金的上述思想表现出了强烈的证伪主义的倾向,因为霍金的思想正如科学哲学家卡尔·波普尔所强调的,一个好的理论的特征

是,它能给出许多原则上可以被观测所否定或证伪的预言。每回观察到与这预言相符的新的实验,则这理论就幸存,并且增加了我们对它的可信度;然而若有一个新的观测与之不符,则我们只得抛弃或修正这理论。总之,霍金认为,科学理论是不能证实的,在理论只是假设的意义上讲,“任何物理理论总是临时性的”<sup>[5]</sup>。

第二,霍金的证伪主义是朴素的,而不是精致的。证伪主义分为两种:一种是朴素的证伪主义,以波普尔为代表;另一种是精致的证伪主义,以拉卡托斯为代表。精致的证伪主义是从朴素的证伪主义演化而来的,朴素的证伪主义为精致的证伪主义奠定了理论基础。波普尔的证伪主义认为科学理论的发展模式是:假说——证伪——新的假说……;拉卡托斯的证伪主义认为科学理论的发展模式是:原始假说——证认与证伪——改进了的假说……。波普尔认为假说加上背景知识可以推出基本陈述,原来的假说要接受先验评价和后验评价的检验,如果经过后验评价,与观察和试验的结果不符,原来的假设被证伪,只要存在一个反例,就需要放弃原假说,提出新假说;而拉卡托斯认为出现了反例,可以对背景知识进行调整,改进假说,改进了的假说不是对原始假说的完全摒弃,“理论并不能……很快被经验所证伪,经验的破坏性反驳并不能淘汰一个理论。”<sup>[6]</sup>霍金的科学理论思想倾向于波普尔的朴素证伪主义。科学理论体系是一个有机的联系整体,构成了一个连续的纲领,他有个调整和发展的过程,霍金认为科学理论受到实验的否定就将理论完全抛弃,是极端的和朴素的。按照霍金的观点,量子力学实验检验量子力学和贝尔不等式各有千秋,难道我们把量子力学和贝尔理论都抛弃吗?

第三,霍金的证伪主义是不彻底的。他敏锐地觉察到:实际上经常发生的是,所设计的新理论确实是原先理论的推广。牛顿和爱因斯坦的理论是最典型的例子,对水星的非常精确的观测揭露了它的运动和牛顿理论预言之间的很小差异。爱因斯坦的广义相对论所预言的运动和牛顿理论略有不同。爱因斯坦的预言和观测相符,而牛顿的预言与观测不符,这一事实是支持新理论的一个关键证据。然而我们在大部分实际情况下仍用牛顿理论,因为在我们通常处理的情形下,两者差别非常小。(牛顿理论的另一个巨大的优点在于,它比爱因斯坦理论容易处理的多。)从这个意义上讲,霍金的证伪主义是一种弱的证伪主义,是不彻底的证伪主义。这种证伪主义过多地强调了科学理论检验过程中的证伪方法,而弱化了科学发展过程中的积累效应。

## 二 “谨慎而乐观的基础上,相信已接近于终点”

物理学的统一是大多数科学家追求的神圣目标之一。爱因斯坦将整个晚年生活投入到了对这个目标的追求,在他之后又有一代又一代的科学家为之坚持不懈的努力和奋斗,迄今为止,仍然是科学工作者煞费心机和绞尽脑汁的工作。史蒂芬·霍金在物理学的统一上一直保持着乐观的态度,不过他多次强调,我们必须谨慎地对待这项伟大而艰巨的事业,不可过于自信。

霍金认为对于终极理论,事实上至少存在三种可能性:

1. 存在一种完整的统一理论,如果我们足够聪明的话,总有一天将会找到它。
2. 不存在终极理论,仅仅存在一个越来越精确地描述宇宙的无限的理论序列,只要采取这个理论之链的足够远的一环,就能对任何特定种类的观测作出预言。
3. 不存在终极理论。在某种程度之后,人们无法描述或者预言观测,这些观测只不过以一种紊乱或任意的方式发生。

这第3种论断是作为和17、18世纪的科学家相对抗的观点提出的:如果存在完整的定律就侵犯了上帝干涉世界的自由。那么,如果将紊乱归结为上帝的干涉,有什么证据表明它的目的性?如果它是有目的的,又怎么会是紊乱的?这有点像古老的二律背反,而且,在不确定性原理的极限内预言事件,就可以有效地消除可能性3。可能性2归结为在越来越高能量下的结构的无限序列。这似乎是不太可能的,因为人们预料在1028电子伏的普朗克能量处有一个截断。

这样只给我们留下可能性1。霍金认为,我们会拥有一套物理相互作用的完整的协调的统一理论,这一理论能描述所有可能的观测,在此刻 $N=8$ 超引力理论是可见的唯一候选者。当然,“人们在去做这类预言之时必须十分谨慎”<sup>[7]</sup>。因为,以前我们至少有过两回以为自己濒于最后的综合。第一次是在19世纪末20世纪初,人们认为任何东西都可以按照连续体力学来理解,所剩的一切工作只不过是测量一些诸如弹性系数、粘滞性和传导性等参数,然而原子结构和量子力学的发现粉碎了这一希望。第二次是在20世纪20年代末,玻恩对一群访问哥廷根的科学家说:“尽我们所知,物理学将在六个月内完结。”这是发现狄拉克方程之后不久讲的。狄拉克方程制约电子的行为,人们预料似的认为此方程也会制约质子,质子是另一种当时仅知的假设为基本的粒子。然而,中子和核子的发现又使那些希望落空。

在存在某些谨慎乐观的根据的基础上,霍金相信许多读者有生之年能看到一套完整的理论。“正如我将描述的,由于我们对宇宙知道得这么多,现在找到这样的一个理论的前景似乎是好得多了。但是我们必须小心,不要过分自信——我们在过去有过错误的奢望!……在谨慎乐观的基础上,我仍然相信,我们可能已经接近于探索自然的终极定律的终点。”<sup>[8]</sup>

霍金所称的统一理论有以下几点需要强调:

第一,统一理论是“基本定律的完整集合”<sup>[9]</sup>和边界条件的组合。一个完整的物理学统一理论是什么含义呢?物理学统一理论是一种特殊的科学理论,是描述物理实在的模型和这些模型与观察量的规则。霍金认为,我们对物理实在的模型应该由两个部分组成:

1. 一族各种物理量服从的局部定律。这些定律通常被表达成微分方程。

2. 一系列边界条件。这些边界条件告诉我们宇宙某些区域在某一时刻的状态以及后来从宇宙的其他部分传递给它的什么效应。

许多人错误地宣称,科学的角色仅局限于这两个部分的第一个,也就是说一旦我们得到局部物理定律的完整集合,理论物理也就功德圆满了。他们把宇宙初始条件的问题归于形而上学或者宗教的范畴。而霍金认为,宇宙的初始条件和局部科学定律同样地可以作为科学研究和理论的课题。如果一个理论包含有一些人们可以随意赋值的可调节参数,则我们不把它当成是完整的。事实上,初始条件不是任意的,它们是被非常仔细地选取或者挑选出来的。如果宇宙的初始膨胀稍微再慢一些或稍微再快一些,则宇宙就会在这种恒星演化之前就坍缩了,或者会膨胀得这么迅速,使得恒星永远不可能由引力凝聚而形成。“只有在我们比仅仅宣称‘事情现在之所以如此是因为它过去是过去的那种样子’更有作为时,我们才算有了一个完整的理论。”<sup>[10]</sup>

第二,统一理论并不是万能理论。即使我们发现了一套完整的统一理论,由于两个原因,这并不表明我们能预言所有事件。第一是我们无法避免不确定性原理给我们的预言能力设立的极限。然而,更为严厉的是第二限制。它是说,除了非常简单的情形,我们不能准确解出这理论的方程。例如,在牛顿引力论中,我们甚至连三体运动问题都不能准确地解出,而且随着物体的数目和理论复杂性的增加,困难愈来愈大。我们在从数学方程来预言人类行为上只取得了很少的成功!即使我们确实找到了“基本定律的完整集合”,在未来的岁月里,仍存在着发展得更好的近似方法,使得我们在复杂而现实的情形下,能完成对可能结果的有用预言。所以说,这一智慧的、富有挑战性的任务只是协调统一理论的第一步,我们更远的目标是完全理解发生在我们周围的事件以及我们自身的存在。

第三,统一理论的发现“不会影响我们的生活方式”<sup>[11]</sup>。在前面概括的关于科学理论的思想中,假定我们是有理性的生物,既可以随意自由地观测宇宙,也可以从观察中得出逻辑理论。在这样的方案里可以合理地假设,我们可以越来越接近找到制约我们宇宙的定律。然而,如果真有一套完整的统一理论,则它也将决定我们的行动。这样,理论本身将决定我们对之探索的结果!那么为什么它必须确定我们从证据得到正确的结论?它不也同样可以确定我们引出错误的结论吗?或者根本没有结论?我们的科学发现也可以将我们的一切都毁灭。即使不是这样,一个完整的统一理论对于我们存活的机会不会有很大影响。然而,假定宇宙已经以规则的方式演化至今,我们可以预期,自然选择赋予我们的推理能力在探索完整统一理论时仍然有效,并因此不会导致我们得到错误的结论。因为除了最极端的情况下,我们有了对所有一切都足够给出精确预言的部分理论,看来很难以现实的理由为探索宇宙的终极理论辩护。所以,一套完整的统一理论的发现可能对我们种族的存活无助,甚至也不会影响我们的生活方式。

霍金认为,即使只存在一个可能的统一理论,那只不过是一组规则或方程。是什么赋予这些方程制造了一个为它们所描述的宇宙?为何必须存在一个为此模型所描述的宇宙?是否统一理论是如此之咄咄逼人,以至于其自身之实现成为不可避免?或者它需要一个造物主?若是这样,它还有其他的宇宙效应吗?又是谁创造了造物主?从这里可以看出,霍金所谓的统一理论是永远不统一的。到底物理学的统一理论前景是什么样的?大家都拭目以待,或许更多的工作需要物理学家去完成,不过会有更多的哲学家会比物理学家更能喋喋不休。

### 三 “实在以理论为前提”

科学哲学家更擅长于将某个科学家冠以“什么主义者”的光荣称号,对待霍金同样不例外。所以霍金首先对哲学家给予了很犀利的批评。霍金认为,讨论如何理解宇宙的方法作为“万物理论”的大统一理论的现状和意义,存在一个真正的问题。研究和争论这类问题应是哲学家的天职,可惜他们多半不具备足够的数学背景,以赶上现代理论物理进展的节拍。“还有一种科学哲学家的子族,他们的背景本应更强一些。但是他们中的许多人是失败的物理学家,他们知道自己无能力发现新理论,所以转业写作物理学哲学。他们仍然为本世纪初的科学理论,诸如相对论和量子力学而喋喋不休。他们实际和物理学的当代前沿相脱节。”<sup>[12]</sup>“也许我对哲学家们过于苛刻一些,但是他们对我也不友善。我的方法被描述成天真的和头脑简单的。我在不同的场合曾被称为唯名论者、工具主义者、实证主义者、实在主义者以及其他好几种主义者。其手段似乎是借助污蔑来证伪:只要对我的方法贴上标签就可以了,不必指出何处出错。无人不知这些主义的致命错误。”<sup>[13]</sup>事实上,霍金:

第一,不在乎自己是什么主义者。霍金并不在乎或者不认同于哲学家和科学史学家给他们的发明冠以这样或那样的名称或范式,霍金认为,“我敢断定,爱因斯坦、海森堡和狄拉克对于他们是否为实在主义者或者是工具主义者根本不在乎。他们只关心现存的理论能不能相互协调。”<sup>[14]</sup>在发展理论物理中,寻求逻辑自洽比实验结果更为重要。优雅而美丽的理论会因为不和观测相符而被否决,但是很难看到任何仅仅基于实验而发展的主要理论,首先是需求优雅而协调的数学模型提出理论,然后理论作出可观测验证的预言。所以说,逻辑自洽比冠以“什么主义”显得更为重要。爱因斯坦、玻尔、霍金等科学家在研究工作时从来不去考虑他们是什么主义者,即使他们肯定在骨子里蕴含着他们本质性方法论原则。从这个意义上讲,我们不得不扪心自问:有时候科学哲学家总是努力去挖掘著名科学家的方法论而规划他们的流派,是否显得有些偏颇或自以为是?

第二,愿意成为实在论者,但在科学的哲学方面很难成为实在论者。霍金在认为存在一个有待人们去研究和理解的宇宙的意义,霍金“愿承认自己是个实在主义者”<sup>[15]</sup>。但是“在科学的哲学方面很难成为实在主义者……”<sup>[16]</sup>霍金拿一个很有说服力的例子来阐述他的观点。1887年进行的

迈克尔逊——莫雷实验指出,不管光源还是观测者如何运动,光速总是相同的。这简直莫名其妙。人们原先以为,逆着光运动比顺着光运动一定会测量出更高的光速,然而事与愿违。在接着的十八年间,像洛伦兹和费兹杰郎德等人试图把这一观测归纳到当时被接受的空间和时间观念的框架中,他们引进了想当然的假设,诸如物体在进行高速运动时被缩短,这样物理学的整个框架变得既笨拙又丑陋。之后,爱因斯坦在1905年提出了一种远为迷人的观点,时间自身不是完全独立的。相反地,它和空间结合成称为时空的四维的东西。无论是爱因斯坦还是别的什么人在1905年都会意识到,相对性的这种新理论是多么简单而优雅。它完全变革了我们关于空间和时间的观念。霍金肯定地说,洛伦兹和费兹杰郎德在按照牛顿的绝对空间和绝对时间观念来解释光速实验都自认为是实在主义者,这种时间和空间的概念似乎和常识以及实在相对应。然而,今天仍有极少数的熟悉相对论的人持有不同的观点,我们必须不断告诉人们对诸如空间和时间的现代理解。这样一来,就很难成为一个真正的实在论者了,原因就归结于以下的第三点。

第三,实在是以理论为前提和基础的。霍金认为,没有理论我们关于宇宙就不能说什么实在的;但是,如果我们认为,实在依我们的理论而定,怎么可以用它作为我们哲学的基础呢?因此,霍金采取被描述为头脑简单或天真的观点,物理理论不过是我们用以描写观察结果的数学模型,如果该理论是优雅的模式,它能描写大量的观测,并能预言新观测的结果,则它就是一个好理论。“除此以外,问它是否和实在相对应就没有任何意义,因为我们不知道什么与理论无关的实在。这种科学理论的观点可能使我成为一个工具主义者或实证主义者……他们是这么称呼我的。……但我所概括的实证主义者似乎是人们为描写宇宙寻找新定律新方法的仅有的可能的立场。因为我们没有和实在概念无关的模型,所以求助于实在将毫无用处。”<sup>[17]</sup>

霍金的这种观点是值得赞同的,有两个例子可以很好的支持霍金的思想。(1)“薛定谔猫论”:一只猫被置于一个密封的盒子中,有一杆枪瞄准着猫,如果一颗放射性核子衰变就开枪,发生此事的概率为百分之五十。如果人们开启盒子,就会发现该猫非死即生。但是在此之前,猫的量子态应是死猫状态和活猫状态的混合。这是科学哲学家觉得这很难接受的事实:猫不能一半被杀死。使他们为难的原因是什么?是他们隐含地利用了实在的一个经典概念,这个经典概念与量子理论模型的实在含义是完全不同的。在经典概念里面,一个实在对象只是有一个单独的确定的历史;而根据量子力学的全部要点,一个实在对象不仅有单独的历史,而且有所有可能的历史。在大多数情形下,具有特定历史的概率会和具有稍微不同历史的概率相抵消;但是在一定情形下,邻近历史的概率会相互加强。我们正是从这些相互加强的“历史中的一个”观察到该对象的历史的。在薛定谔猫的情形,存在两种被加强的历史。猫在一种历史中被杀死,在另一种中存活。两种可能性可在量子理论中共存。因为有

些哲学家隐含得假设猫只能有一个历史,所以就陷入这个死结而无法自拔。(2)“时间的性质”:不管发生了什么,时间总是永往直前被认为是显而易见的。但是相对论把时间和空间结合起来,而且告知我们两者都能被宇宙中的物质和能量所卷曲或畸变。这样,我们对时间性质的认识就从与宇宙无关改变成由宇宙赋予形态。这样,就会遭遇到一个不可逾越的障碍——奇点,人不能超越奇点。霍金拿虚时间的数学概念来更糟糕地为难哲学家,哈特尔和霍金提出,宇宙在虚时间里既没有开端又没有终结,因为谈论虚时间受到一位科学哲学家的猛烈攻击。哲学家说:像虚时间这样的一种数学技巧和实在宇宙有什么相关呢?这位哲学家把专业数学术语“实的”以及“虚的”数和在日常语言中的实在以及想象的使用方式弄混淆了。这刚好阐述了霍金的要点:如果某物与我们用以解释它的理论或模型无关,何以知道它是实在的?

总之,霍金认为实在脱离理论是无法成立的或者会遇到许多责难。科学哲学家们在对付量子力学和不确定性原理

时遭遇到前所未有的困难,依霍金的意见,隐含的“与模型无关的实在”的信仰是这个困难的根本原因。

#### 【参 考 文 献】

- [1][2][5][8][9][11]史蒂芬·霍金. 时间简史[M]. 许明贤、吴忠超译. 长沙:湖南科学技术出版社,1995. 19、19、20、141、152、22.
- [3]H. S. 塞耶. 牛顿自然哲学著作选[M]. 上海:上海人民出版社,1974. 1.
- [4]玻恩. 我的一生和我的观点[M]. 北京:商务印书馆,1979. 95.
- [6]张帆. 数学—科学—数学:拉卡托斯哲学思想轨迹[J]. 华南师范大学学报(哲社版). 2002(2):21.
- [7][10][12][13][14][15][16][17]史蒂芬·霍金. 霍金演讲录[M]. 杜欣欣、吴忠超译. 长沙:湖南科学技术出版社,1995. 35、37、30、30、31、32、32、32.

(责任编辑 许玉俊)