中华文化撷英

奇妙的物理

（一）

黄兵明　主编

北京银冠电子出版有限公司

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

中华文化撷英/黄兵明主编．—北京：北京银冠
电子出版有限公司，2003

ISBN 7-900060-29-4
Ⅰ．中…　Ⅱ．黄…　Ⅲ．文化知识－普及读物－中国
Ⅳ．Z228.527
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 007295 号

北京银冠电子出版有限公司发行
(北京海淀区增光路 45 号　100037)
全国各地新华书店经销　北京双青印刷厂印刷
开本：787×1092　1/32　印张：512　字数：4 900 千字
2003 年 12 月第 1 版　　2003 年 12 月第 1 次印刷
印数：1～5 00 册
版号：ISBN 7-900060-29-4/Z·03
定价：9998.00 元(1CD,含配套书)

目 录

◎奇人霍金：果壳里的空间之王.....1
◎马 赫 原 理.....3
◎量子物理百年回顾.....11
◎探险者变豹王.....29
◎从相对论质疑说起.....33
◎惯性是什么.....43
◎基于经典时空观念的相对运动原理.....58
◎宇宙的四维空间结构及演变历程.....84

◎ 奇人霍金：果壳里的空间之王

相隔 17 年，霍金第二次踏上了中国的土地。坐着同样的轮椅，摆着同样的姿势，著名科学大师斯蒂芬·霍金今天从这里开始他的中国之行。

史蒂芬·霍金有着“继爱因斯坦以后世界上最杰出的理论物理学家”美誉。他 1942 年 1 月 8 日出生于英国的牛津，1959 年就读牛津大学，1962 年牛津毕业到剑桥读研究生，1963 年被诊断患了“卢伽雷病”（运动神经元疾病），不久就完全瘫痪，被长期禁锢在轮椅上。1985 年，霍金又因患肺炎进行了穿气管手术，此后，他完全不能说话，只能依靠安装在轮椅上的一个小对话机和语言合成器与他人进行交谈，而看书必须依赖一种翻书页的机器。在这种一般人难以置信的艰难中，霍金成为世界公认的引力物理科学巨人，提出了著名的“黑洞理论”。1974 年他当选为英国皇家学会最年轻的会员，1979 年任剑桥大学卢卡逊讲座教授——这是牛顿曾经担任过的职位。

霍金是随着他的名著《时间简史》走近中国读者的。这本“关于宇宙本性最前沿认识”的科普巨著被翻译成了 40 种文字，销售 2500 万册，把理论物理科学迁到了世界的每一个角落。不久前，他的新著《果壳中的宇宙》问世并获得了“安万特科学图书奖”。

40 年来，瘫痪的霍金只能靠轮椅来行动。他不能开口讲话，他的轮椅前装着电脑显示器，“讲”话则靠现在还可以动的一只手，掀动手中的开关，在电脑屏幕上选择词汇，然后他的“话”会从身后的扬声器中传出来。他的私人护理说，他靠控制声音的强弱高低来表达喜怒哀乐。就是借助这部语音合成电脑，霍金写出了科技专著、十几篇科学研究论文，还作了数场各类演讲。

霍金的魅力不仅在于他是一个充满传奇色彩的物理天才，更因为他是一个令人折服的生活强者。他不断求索的科学精神和勇敢顽强的人格力量深深地吸引了大众的注意力。霍金说自己是一个快乐的人，他热爱生活，对事物本质的洞察，使他拥有常人难以企及的幽默感。他鼓励年轻人喜爱天体物理，他还在编写少年版的《时间简史》，“希望更多的人能看懂。”

霍金是为参加国际数学家大会而来的。在杭期间，霍金将参加在浙江大学举办的系列国际数学大会。从 8 月 10 日至 18 日，共有 3 个国际数学家大会的卫星会议在杭举行，分别是数论会议、弦理论和调和分析会议。8 月 15 日，霍金将在浙江大学邵逸夫体育馆做演讲，题目为“膜的新世界”，浙大还将举行浙江大学授予霍金荣誉教授的仪式。之后霍金将赴北

需要全本请访问 www.ertongbook.com

京。“即便把我关在果壳里，仍然自以为无限空间之王！”莎士比亚《哈姆雷特》里的这句台词，霍金在他《果壳中的宇宙》一书中引用过。在记者招待会现场，一位同行说，这一句话我们完全可以用来形容他目前的生活及取得的成就。

◎ 马 赫 原 理

马赫关于惯性的思想萌发于贝克莱的著作中，大体可归结为：

(i)空间本身并不是一件“东西”，它仅仅是从物质间距离关系的总体中得到的一种抽象.

(ii)一个质点的惯性是该质点与宇宙中所有其它物质相互作用的结果(可偌这种作用还不能详细加以说明).

(iii)局部的无加速度判据决定于宇宙中全部物质运动的某种平均值.

(iv)力学的全部实质是所有物质的相对运动。马赫写到：“.....无论我们认为地球是绕自身轴旋转，或者认为是恒星绕地球旋转而地球处于静止，这都是无关紧要的.……惯性定律应当这样来表述：从第二种假定得到的结果与从第一种假定得到的完全相同.”也许值得注意的是，甚至在爱因斯坦之前，马赫就把自己和他的追随者归结为“相对论者”了。

一个旋转着的弹性球在其赤道附近鼓起．这个球是怎样“知道”它在旋转因而必须鼓起的呢?对于这个问题，牛顿可以这样回答：它“感觉”到绝对空间的作用．而马赫将这样回答：它“感觉”到围绕它旋转的宇宙物质的作用．对牛顿来说，相对于绝对空间的转动产生(惯性)离心力，这种力和万有引力完全不同；对马赫来说，离心力也是万有引力，因为它是由物质对物质的作用引起的。

爱因斯坦将这些思想的综合称为“马赫原理”.当然，马赫的这些思想还不成熟，因为还根本没有一个“质量感应”效应的定量理论．在通向广义相对论的某个阶段，爱因斯坦曾经设想，牛顿的平方反比律与一个完善的引力理论的差别，就象仅仅以库仑定律为基础的简单电学理论与麦克斯韦最终理论的差别一样．1953 年夏马复活并发展了 1872 年蒂斯朗的麦克斯韦形式的引力理论，发现它在很大程度上包括马赫原理：惯性力对应于宇宙的引力“辐射场”，并与距离的一次方成反比．不幸的是，这个理论在其它方面和相对论相抵触．例如在狭义相对论中质量随速度而变化，但在麦克斯韦理论中电荷应当是不变量．再者，由于公式 $E=mc^2$，物体的引力结合能具有(负)质量，因而系统总质量不等于各部分质量之和．而在麦克斯

韦理论中，作为线性理论的直接结果，电荷(类比于质量)是严格可加的.

爱因斯坦对惯性问题的解决办法，即广义相对论，要比麦克斯韦理论复杂得多.在“一级近似”下，它简化为牛顿理论；在“二级近似”下，它实际上具有麦克斯韦理论的特征.至于在什么意义上它是真正“马赫主义”的，还有争论。

事情并非如此.甚至不求助于详细的理论，马赫原理也导致某些可以加以检验的、非牛顿的预言:

(i)夏马曾作过如下论述：1926 年就已证明，我们的银河系在转动着，有些象巨大的行星系统，在太阳附近其转动周期约为 2 亿 5 千万年.为说明银河系为什么呈扁平状(正如在天空看到的银河那样)，康德就假设存在这种转动，若不作沿轨道的旋转运动，大约过两千万年太阳就要落到银河系的中心.如果马赫当时认识到这种转动，从他的原理出发，仅仅为了使银河系中的静止判据得以成立，也会作出存在着整个巨大的河外星系的假设，而实际上河外星系直到很久以后才由观测所发现。严格的牛顿理论则看不出银河系的转动有什么重要意义.

(ii)考虑一傅科摆.。为简单起见，假设它悬挂在地球北极的三角架上.当地球转动时，摆就在一个

相对于宇宙不动的平面内摆动．现在设想我们能够把除地球而外的所有宇宙物质移走。，按牛顿理论，摆的实验将不受影响；按马赫理论，摆将在相对于地球不动的平面内摆动．这时，地球显然已成为唯一的无加速度的判据．现再把宇宙物质逐渐引回来，直至这些物质产生的惯性效应再次取得支配地位．但由连续性，惯性并不完全由这些物质决定，地球总要对本地的“惯性罗盘”有某些贡献，因而在某种程度上总要拉着傅科摆的平面和它一道旋转，尽管这种效应很微小．若实验所用的仪器有足够的精度，就可以测到这种非牛顿效应．近来有人提出，也许可以用观察在极轨道上运行的人造卫星的轨道平面的办法来代替傅科摆．

月球宇宙系统．其中宇宙用一个具有很大质量的球壳来代表。“通常的”观点，相应的相对性的观点，即月球静止而宇宙旋转。我们已指出，按照马赫的说法，“惯性定律必须这样来表述：从第二种假定得到的结果与从第一种假定得到的完全相同．”因此，旋转的宇宙必须提供一离心力场，以抵消地球的引力（也就是使地球在赤道附近鼓起来的力）．宇宙还必须提供科里奥利力，这个力具有使傅科摆的平面发生转动的附加效应．由直接类比，可以期望在每个具有

需要全本请访问 www.ertongbook.com

质量的旋转的壳体内部都呈现微小的离心力和科里奥利力，这是另一种完全非牛顿的效应**．为使地球从静止得到某一给定方向的加速度，必须对它施加某种力(例如用火箭)．但也可以这样解释：’地球需要一个力以保持它在作加速运动的宇宙中不动；再引伸一步，只要质点附近的物质作加速运动，我们就可预期它受到个个为的作用，其方向和加速度的方向相同．

(iv)由于否认绝对空间是存在，马赫原理实际上意味着不仅万有引力、而且全部物理学都不需要相对于某个优先的惯性参照系来表述，这个原理所倡导的不是别的，正是全部物理学的相对性．它甚至还预言了惯性和电磁之间的相互作用，考虑一个带正电荷的，旋转的绝缘球体，其上每个电荷提供：一圆电流及相应的磁场．

(v)由马赫原理，处于空洞无物的宇宙中的单个试验质点不会有什么可观的惯性(仅有“自身惯性”)，向宇宙引进其它物质将逐渐增加它的馈性．推广一步，可以预期在引进大质量物质后，任一质点的质量将增加．进而还可合理地认为这种惯性具有方向性，这方向性和质量分布有关(在麦克斯韦型的理论中就一定会是这样)．

在我们所处的这部分宇宙，惯性在很高的精度上是各向同性的，因此有人得到一些结论：第一，由于在我们的近邻，物质(太阳、行星等)的分布显然不是各向同性的，所以惯性感应效应中决定性的部分应当来自遥远的物质，“1／r”定律和这点是相适应的．第二，这些遥远的物质，即宇宙，对于我们一定是各向同性的．这使得由光学方法观测到的宇宙大体上各向同性这一结果更有价值，而不利于各种非各向同性的宇宙模型．必须指出，要观测惯性在方向上或其它任何变化都是困难的，因为为测量这些变化而设计的任何仪器也会受到同样影响，从而把这种效应完全掩盖了．如果爱因斯坦强等效原理正确，情况就一定是这样的．即使承认最后这种说法，上面(ⅰ)一(ⅴ)已清楚地表明马赫原理是具有物理内容的．但迄今未能用实验证明，而且正如已经指出的那样，能否用现代的公式描述它还成问题．撇开美学上的要求，我们对这个原理不要下结论，特别是马赫为反对绝对空间而提出的解决办法、即把空间作为一件“东西”完全抛弃掉，可能是过于偏激了．反对绝对空间的主要理由是它能施作用于物体却不能被物体所作用．这个问题也可以这样解决，即仍保留空间的独立存在，但却让它与物质相互发生作用．广义相对论就是这样做的。我们曾

指出，奇怪的是广义相对论在马赫原理中的逻辑地位至今尚未弄清楚．但有一点是肯定的：马赫原理为广义相对论的定量研究提供了大量的推测，这些推测往往得到证实．它们大都与加速或转动的物质产生的“惯性曳引”效应有关．马赫原理提供了凭直觉理解这些效应的方法，而广义相对论的方法则是高度数学化的。

宇宙学

马赫原理认为，宇宙的整体对局部有重大影响．因此，现在有必要对我们今天所了解的宇宙的主要特性作一简介。我们的银河系包括 10.11 颗恒星，夜晚在天空中所看到的星体大多属于银河系。除银河系而外，还有其它类似的星系，其形状和配置有如相隔为三英尺的一角银币；宇宙的“已知”部分半径约为 10.9 光年，包括约 10.11 个星系。这些星系以如下方式彼此作后退运动：如果目前观测到的这种后退运动在时间上是均匀的，则可观测的宇宙在几百亿年前可能是一个致密的球体．然而有很好的理由认为这种后退运动在时间上是不均匀的．例如，一次大爆炸之后万有引力将使膨胀减慢．由于这些事实，需要对惯性参照系原来的定义作某些修正．

我们来考虑一个无限系列的星系，把它作为非常

简化的、可能的宇宙模型．它们在整个空间大体作均匀分布，并相互作后退运动，就象一无限大多孔橡皮中的一系列节点，这橡皮以随时间而变化的速率、各向同性地被拉伸．这一模型符合所谓宇宙学原理：所有星系对于整个宇宙都处于相同地位．它实际上已被所有 现代宇宙学所接受(部分是根据经验，但主要是由于它的简单性)．它排除了浸沉于无限空间中有限的“ 岛 ”宇宙，因为这种宇宙包含一些“ 最外面的 ”星系，这是不符合上述模型的。在这样的宇宙中，怎样决定那些无限延伸的牛顿惯性参照系呢?在这样一个参照系中，假若银河系的中心处于静止，按照宇宙学原理或直接由对称性，其它各星系不也会在这个参照系中处于静止吗 7 然而，其它惯性参照系对于我们这个惯性参照系并不是均匀运动的！另外，在我们的惯性参照系中，自由质点在哪些地方服从牛顿第一定律呢?至多不过在银河系的附近．在遥远的星系之间，试验质点受到引力加速度的作用，这个加速度也拉着所有星系彼此靠近，特别地，向我们银河系靠近．除在我们近邻外，的确不存在这样的区域：它距所有引力作用的物质“ 足够远 ”而其中的自由质点对我们作均匀运动．由此可见，在这样的宇宙中不存在无限延伸的惯性参照系．

马赫原理明确提出，在这些条件下，每个星系的中心都提供一个基本的局部无加速度的判据．从每个星系的中心到其它星系的视线(不是到本星系星体的视线，因为这些星体可能转动)则提供一个局部无转动的判据．两者结合就构成一局部惯性参照系．这些惯性参照系不再是无限延伸的，它们之间的相对运动也不全是均匀的．若宇宙膨胀是非均匀的，则局部惯性系在远距离处将不再是惯性的，然而在每一点仍有一个作相对均匀运动的局部惯性系的无限集合．

◎ 量子物理百年回顾

全面列举一下 20 世纪最有影响的科学进展应当包含广义相对论、量子力学、宇宙大爆炸、遗传密码的破译、生物进化理论和其他一些读者喜欢的课题。在这些进展当中，量子力学深层次的根本属性使得它处在一个最为独特的位置。它迫使物理学家们改造他们关于实在的观念；迫使他们重新审视事物最深层次的本性；迫使他们修正位置和速度的概念以及原因和结果的定义。

尽管量子力学是为描述远离我们的日常生活经验的抽象原子世界而创立的，但它对我们日常生活的影响无比巨大。没有量子力学作为工具，就不可能有化学、生物、医学以及其他每一个关键学科的引人入

胜的进展。没有量子力学就没有全球经济可言，因为作为量子力学的产物的电子学革命将我们带入了计算机时代。同时，光子学的革命也将我们带入信息时代。量子物理的杰作改变了我们的世界，科学革命为这个世界带来了的福音，也带来了潜在的威胁。

量子力学既不象广义相对论那样来自于对引力与几何关系的光辉洞察力，也不象 DNA 的破译那样揭开了生物学一个新的世界的神秘面纱，它的起源不是一步到位的，是历史上少有的天才荟萃在一起共同创造了它。量子的概念如此的令人困惑以至于在引入它以后的 20 年中几乎没有什么根本性的进展，后来一小撮物理学家花了三年时间创立了量子力学。这些科学家为自己所做的事情所困扰，甚至有时对自己的所作所为感到失望。

或许用下面的一段观察资料能最好地描述这个至关重要但又难以捉摸的理论的独特地位：量子理论是科学史上能最精确地被实验检验的理论，是科学史上最成功的理论。量子力学深深地困扰了它的创立者，然而，直到它本质上被表述成通用形式 75 年后的今天，一些科学界的精英们尽管承认它强大的威力，却仍然对它的基础和基本阐释不满意。

今年是马克斯·普朗克（Max Planck）提出量子

概念 100 周年。在他关于热辐射的经典论文中，普朗克假定振动系统的总能量不能连续改变，而是以不连续的能量子形式从一个值跳到另一个值。能量子的概念太激进了，普朗克后来将它搁置下来。随后，爱因斯坦在 1905 年（这一年对他来说是非凡的一年）认识到光量子化的潜在意义。不过量子的观念太离奇了，后来几乎没有根本性的进展。现代量子理论的创立则是斩新的一代物理学家花了20多年时间的结晶。

您只要看一下量子理论诞生以前的物理学就能体会到量子物理的革命性影响。1890 年到 1900 年间的物理期刊论文基本上是关于原子光谱和物质其他一些基本的可以测量的属性的文章，如粘性、弹性、电导率、热导率、膨胀系数、折射系数以及热弹性系数等。由于维多利亚型的工作机制和精巧的实验方法的发展的刺激，知识以巨大的速度累积。

然而，在同时代人看来最显著的事情是对于物质属性的简明描述基本上是经验性的。成千上万页的光谱数据罗列了大量元素波长的精确值，但是谁都不知光谱线为何会出现，更不知道它们所传递的信息。对热导率和电导率的模型解释仅符合大约半数的事实。虽有不计其数的经验定律，但都很难令人满意。比如说，Dulong-Petit 定律建立了比热和物质的原子重量

的简单关系，但是它有时好使，有时不好使。在多数情况下同体积气体的质量比满足简单的整数关系。元素周期表尽管为化学的繁荣提供了关键的组织规则，但也无任何理论基础。在众多的伟大的革命性进展中，量子力学提供了一种定量的物质理论。现在，我们原则上可以理解原子结构的每一个细节；周期表也能简单自然地加以解释；巨额的光谱排列也纳入了一个优雅的理论框架。量子力学为定量的理解分子，流体和固体，导体和半导体提供了便利。它能解释诸如超流体和超导体等怪异现象，能解释诸如中子星和玻色-爱因斯坦凝聚（在这种现象里气体中所有原子的行为象一个单一的超大原子）等奇异的物质聚集形式。量子力学为所有的科学分支和每一项高技术提供了关键的工具。

量子物理实际上包含两个方面。一个是原子层次的物质理论：量子力学；正是它我们才能理解和操纵物质世界。另一个是量子场论，它在科学中起到一个完全不同的作用，稍后我们再回到它上面来。

旧量子论

量子革命的导火线不是对物质的研究，而是辐射问题。具体的挑战是理解黑体（即某种热的物体）辐射的光谱。烤过火的人都很熟悉这样一种现象：热的

需要全本请访问 www.ertongbook.com