

CLASSIC WORKS OF
NATURAL SCIENCE

自然科学经典译丛

抓住引力

探索运动定律
和引力的艰难历程

THE GRIP OF GRAVITY

P.M. 贡德哈勒卡尔 Prabhakar M. Gondhalekar / 著
孙洪涛 / 译

 中国青年出版社

CLASSIC WORKS OF
NATURAL SCIENCE

自然科学经典译丛

抓住引力

探索运动定律
和引力的艰难历程

The Grip of Gravity

P.M. 贡德哈勒卡尔 Prabhakar M. Gondhalekar / 著

孙洪涛 / 译

(京)新登字 083 号

图书在版编目(CIP)数据

抓住引力/(英)贡德哈勒卡尔著;孙洪涛,束立虹译. —北京:中国青年出版社,2007

书名原文: The Grip of Gravity

ISBN 978-7-5006-7221-0

I. 抓... II. ①贡... ②孙... ③束... III. 引力—普及读物
IV. 0314-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127024 号

Cambridge University Press 2001

This book is in copyright. Subject to statutory exception
and to the provisions of relevant collective licensing agreements,
no reproduction of any part may take place without
the written permission of Cambridge University Press.

First published 2001

北京市版权局著作权合同登记章

图字: 01—2006—1866 号

责任编辑: 彭岩 徐泳

Email: pengyan@cyp. com. cn

*

中国青年出版社出版 发行

社址: 北京东四 12 条 21 号 邮政编码: 100708

网址: www. cyp. com. cn

编辑部电话: (010) 64034350 营销中心电话: (010) 64065904

三河市华润印刷有限公司印刷 新华书店经销

*

635×965 1/16 24 印张 1 插页 230 千字

2007 年 1 月北京第 1 版 2007 年 1 月河北第 1 次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 21.00 元

本书如有印装质量问题, 请凭购书发票与质检部联系调换

联系电话: (010) 84047104

前言

我们的世界受到两组定律的支配：引力定律与量子力学定律。引力定律描述宇宙中的大结构物体，如地球、太阳系、恒星、星系及宇宙本身。这些定律使我们能预见航天器和小行星的运动与路径，以及宇宙的演变。另一方面，量子力学定律则描述非常小的结构，如分子、原子和亚原子粒子。这些定律使我们能了解三种亚原子力、激光、CD唱机及核武器。20世纪令人大惑不解的谜之一，就是尽管这样两组定律各自采用不同的一组数学表达方式，并在各自的领域中做出了令人称奇的预言，但它们却完完全全不同，也不兼容。

量子力学是20世纪的产儿，它的起源可以追溯到1900年，当时普朗克建议用电磁辐射的粒子性解释黑体光谱。另一方面，运动定律和引力定律的性质已经阐明相当长的时期了。现在，质量、力和引力的概念已为大家所熟知，不过它们还是非常深奥神秘，并与我们对运动的理解密不可分。历史上，运动也许是第一个用科学方法研究的自然现象。2000多年前，希腊哲学家亚里士多德首次试图使运动的概念更为精确。可惜的是，他把此事与其含糊的天文学观点搞在一起，并将天体的运动与地球上的自由落体运动分离了。这一分离就阻止了对运动定律的了解和万有引力观念的发展，直到中世纪情况才有所改变。对运动的研究或者说力学，也是当代发展起来的第一门“科学”，是由牛顿在17世纪开始的。牛顿著作精美无比的内涵以及早期它对月亮与其他行星运动所作的成功定量分析，对哲学思维产生了巨大的影



响,并推动了20世纪科学的系统发展。牛顿通过引入万有引力的概念,把过去2000多年来一直为大家所认可的天体运动与地球上的运动是无关的观点摒弃了。空间、时间与相对性这些概念就自然地进入了对运动的研究之中。牛顿设想有绝对的独立空间和时间,但实际上并没有在其力学原理中用到这些概念。牛顿以后200多年,对绝对运动的疑问又产生了,这次与电动力学有关。最后,正是伟大的天才A.爱因斯坦认识到,绝对的独立空间与时间这样的事物是没有的。这一简单但是革命性的认识,使爱因斯坦导出了当代著名的方程式 $E=mc^2$ 。

引力强烈地吸引了人类的想像力,牛顿和爱因斯坦主宰着引力理论的发展。牛顿的经典理论支配了200年,20世纪初发现牛顿的理论不能说明引力场中物体的运动或速度接近光速的物体的运动。爱因斯坦在他的广义相对论中重新阐释了引力的概念,他证明引力可以根据空间——时间的几何结构来描述。除了在强引力场或非常高的速度情况以外,爱因斯坦的引力理论预示的结果与牛顿理论仅有些微差别。但是,爱因斯坦理论的重大意义在于它在概念上与经典理论有了根本性的背离,以及它对未来科学思维发展的蕴涵推动。

通常,引力定律与量子力学定律处理问题是完全独立的,但在引力吸引力特别强(如黑洞表面)或长度尺寸特别小(如宇宙的起始点)的情况下,这两组定律就会合在一起了。在这些情况状态下,这两组定律以什么方式一同起作用我们至今仍不知晓。现在看起来,似乎广义相对论接近引力的真正本质;而真实的形式只会在综合广义相对论和量子论或量子引力理论中才发现。令人惊讶的是牛顿之后300年,爱因斯坦之后100年,人们对引力的探索仍在继续。

我在本书中试图沿着历史的线索跟踪我们对运动定律和万有引力定律的认识过程以及相关的空间、时间和相对

II

性的概念。这个过程经历了很长时间(目前仍在继续),许多人格魅力迷人的名人投身于这一进程。实验验证在我们对这些定律的认识中起着实质性的作用,因而设计了许多挑战性的实验来使这个认识深化。

引力已经重塑了我们的宇宙。如果不对引力在其中扮演重要角色的天文学进程作简要的回顾,那么引力的故事就是不完整的。

本书针对的读者是非专业人员和理科学生。对理科学生与教师,我希望本书将为他们揭示近代物理学的部分基础。对于非专业人员,我希望通过描述科学上这一重大主题的进展(我相信我已使读者体验到这是一条长长的路),来引导我们走到“包罗万象的理论”的边缘。

许多人帮助我完成本书的写作:B.Kellett, D.Giaretta和Hanoun协助进行文字处理的方方面面及正文准备。D.Pike细心地阅读了本书的初稿并修补了我在英语写作方面的硬伤。F.Everitt仔细地阅读了手稿,我对他给本书许多方面作了详尽评注表示感谢。我特别感谢他对历史细节与最新的技术资料所提出的意见以及他对为检验引力理论而提出的太空实验方面的意见。J.Narlikar也对书中的许多论题提出了宝贵的意见。A.Gondhalekar审阅了接近完成的手稿:他对本书的各个方面所提出的评论和意见大大地提高了本书的价值。我也要感谢L.Nightingale,他仔细地阅读了本书的最终版本;他所提出的意见与问题非常有助于在本书多处地方“使科学清楚明晰”。最后,我在这里还要对剑桥大学出版社的编辑和出版团队表示感谢。当然,任何错误和遗漏应由我负全部责任。

最后,感谢我的妻子,感谢她的坚定的支持。

普拉勃哈卡尔·贡德哈勒卡尔

目录

前言

第一章 亚里士多德

希腊科学	2
亚历山大科学	12
伊斯兰科学	19

第二章 开普勒

哥白尼革命	28
专业天文学家	35
数学和天文观测联姻	42

第三章 伽利略

机械论哲学	55
实验物理学诞生	61

第四章 牛顿

动力学的起源	81
运动定律	91
万有引力	98
牛顿的宇宙	101



开普勒定律与牛顿定律	103
守恒量	105
作用量	109
“原理”之后	112

第五章 爱因斯坦

光的速度	126
什么是直线?	129
质疑牛顿力学	133
狭义相对论	144
广义相对论	157
牛顿与爱因斯坦之间的选择	172
广义相对论的替代理论	175
广义相对论的衍生结果	179

第六章 迪克

万有引力常数 G	192
平方反比定律	205
引力红移	209
“第四种试验”或无线电波的时延	219
等效原理	224
引力磁	234

引力波	239
-----------	-----

第七章 哈勃和爱丁顿

行星的形状	248
潮汐	249
冰川期	252
宇宙——不断膨胀的火球	254
星系、类星体和星系团	275
暗物质	287
恒星的诞生、寿命与死亡	296
中子星	308
黑洞	311
行星和行星系	321

第八章 普朗克	325
---------------	-----

大事年表	342
------------	-----

后续读物书目建议	344
----------------	-----

索引	347
----------	-----

第一章

亚里士多德

青铜时代（2000—1000 BC）是美索不达米亚、埃及、印度和中国的流域文化有长足进步和巨大变化的时期。灌溉和农业方面的迅猛发展导致了广泛的都市文明的建立，艺术和科学受到了鼓励与赞助。有足够的税收与预算为一批专心致力于学习、观察和研究的人们提供资助；字母文字与数字正式形成了，对民间及军事事件进行记录的活动也确立了。空间与度量的概念，以及对天体及物质结构的兴趣促进了算术与几何的发展。

预测学与真正的科学在研究太阳、月球和其他五个可见行星的过程中发展起来了。这些星体运动的周期性用以确立对时间的定量测定，星体起落与四季的关系演变成为我们现在使用的日历（稍微作了修正）。美索不达米亚的神甫——天文学家系统地研究了太阳和月球的运动情况，他们据此能够说明日蚀或月蚀的原因并预测未来日蚀或月蚀发生的时间。持续不断的记录使人们注意到天空异常事件及行星运动不规则现象的发生，由这些文明演进而来的信仰体系确定了人类在宇宙中的地位以及人类与自然的关系。他们建立的伦理道德体系产生了“因”和“果”的概念。这些概念



逐步延伸到哲学和科学的推理中，并形成了现代科学思想的基础。但是，这些思想文明在公元前600年时陷入了危机；青铜时代的精神遗产不断受到质疑。这一时期世界上有许多伟大的思想家：印度的释迦牟尼、古希腊的毕达哥拉斯与哲学家们、以色列的旧约长老先知、中国的孔夫子与老子。对自然和人生日的不断提出了许多带根本性的问题。这是贤哲们对自然世界广泛思索的年代，他们似乎已经认识到宇宙中“自然规律”的存在。这是个充满变化的时期，历史上称为轴心时代。

希腊科学

在欧洲，科学探索的躁动是在小亚细亚的爱奥尼亚古希腊人中起始的。现代西方文化中普遍认为希腊人，且惟有希腊人才“创造”了科学。这种欧洲中心（或希腊中心）观点缺乏对科学探索本质的了解。科学探索是一个过程，就其实质来说它是不断发展前进的。新概念、新发现是建立在前人创立的基础与结构之上的。爱奥尼亚人和希腊人与东方、南方遥远地区及亚洲的古老文化均有着密切的联系。就其源头来说，希腊科学明显地与埃及和美索不达米亚古代文明中的知识与习俗有关。希腊人，特别是希腊历史学家希罗多德（Herodotos）一直坚持这一观点，现代的种种发现也证实了这一观点。希腊人从其他文化“借用”的范围有多大我们无从知晓。但大家公认，是希腊人正式地、自觉地把科学发展成一门学科，并对观察的现象或经验之间的关系进行综合，从而揭示出统一的基本定律。

希腊科学的黄金时期是公元前5世纪和4世纪，这是著名的导师-门生辈出的时期；苏格拉底、柏拉图和

亚里士多德。他们奠定了自然哲学的基础，这一哲学支配着后来几个世纪的伊斯兰教和基督教文化。他们认为有绝对真理或普遍真理存在，这些真理可以被揭示或用一逻辑体系推导出来。这一“思想体系”的奠基者是苏格拉底(Socrates, 470—399 BC)，通过“引导”，其观点被广为接受，并成为定见。他坚定地相信世界万物均是上帝创造并由上帝精心地控制着，他也强调灵魂的重要性以及人死后灵魂仍继续存在，身体不过是灵魂的临时载体（这种观点与印度人/佛教徒关于肉体与灵魂的看法非常类同）。苏格拉底没有留下任何书面记载，但据他的门生柏拉图说，苏格拉底通晓几何学与天文学。他认为天文学对确定年或月中的日子很有用，但一切关于行星运动或轨道的思索却是完全全在浪费时间。公元前399年苏格拉底因“对神不敬”受到指控，被迫服毒芹液而死。苏格拉底学说的成功在一段时间内阻止了希腊科学和物理哲学的发展，不过却在公元前4世纪导致了两位科学巨人——柏拉图和亚里士多德的出现。

柏拉图(Plato, 427—367 BC)是苏格拉底的学生。他与苏格拉底一样关心的是伦理道德的旨义。他认为真正的道德与几何学一样是不可改变的、客观的，且可以用理智分辨出来。柏拉图学园持续存在了许多世纪，其形而上学的讨论占据了主要地位。柏拉图清晰地区分了实质和现象、知识和观念。对他来说，日常的感觉世界是没有价值的，因为它是观念的产物。真正的知识存在于心中，由纯粹的理想形式构成。言外之意，人的躯体本身不过是幻影；只有灵魂才是实实在在的。这成了中世纪新柏拉图主义基督教徒的主要信条。不



过柏拉图也是一个有造诣的数学家(“没有学过几何学的人不准入内”这句话就刻在柏拉图学园的人口处),他起用毕达哥拉斯学派的教师授课。柏拉图的许多思想具有数学外壳。柏拉图呼吁其他科学用数学来表明它们的准确性和严格性。他也高度关注天文学,因为在他看来,运动中的天体显示出由毕达哥拉斯所提出的完美无缺的几何形状。不过柏拉图希望能解释宇宙世界而不是简单地描述它,他的重点在于天文学的理论方面而不是天文学观察。柏拉图认为行星运动的不规则性和他的完美宇宙观点是相悖的,这些不规则性必须依据简单的圆周运动加以解释。柏拉图据此要他的弟子们寻找出一些规律,根据这些规律可以把行星运动转化为简单的圆周或球面。在以后的2000多年间许多天文学家均为此孜孜以求。

欧多克索斯(Eudoxus 409—356 BC)是柏拉图的首批弟子之一,在科学特别是天文学方面出类拔萃。他是一个观测天文学家,不是柏拉图希望的理论家。他精确地测定了一个太阳年的长度为365天6小时(埃及人当时也知晓这一数据)。但是,欧多克索斯最有影响的贡献在于将柏拉图关于天体运动的轨迹必定为完美的圆周这一论点做出了深入的探究。他提出天体在一系列同心球面上运动,地球则在这些球面的中心(假定地球是一个球体)。每一个星球绕一轴线旋转,该轴线附着在绕另一轴线旋转的更大的球面上。第二级球面之后还有第三级、第四级球面,这就可解释一个行星每年的运动及逆行运动了。对太阳与月球来说,欧多克索斯发现有三个球面就足够了。而解释其他行星的运行则需要四个球面。恒星的运动只要一个球面就可

以解释了。总的说来，天空中已知的全部星体的运动需要27个球面才能解释，当再发现天体的不规则性时就需要更多的球面才能说明。柏拉图的另一弟子赫拉克利特(Heracleides 388—315 BC)首次提出地球绕其轴旋转一周的时间为24小时。他也正确地把水星和金星的运动归结为它们绕太阳的公转，尚不清楚他是否认识到这一点对其他行星也是正确的。差不多1800年后赫拉克利特的思想才为人们普遍接受。

亚里士多德(Aristotle 384—322 BC)生于马其顿的斯塔吉拉城。公元前367年他17岁时到了柏拉图学园。公元前347年柏拉图去世时他移居莱斯博斯的爱琴岛上，因为那时雅典的反马其顿人情绪日益高涨。公元前343年，他返回马其顿，成为时年13岁的少年亚历山大的导师。公元前336年亚历山大大帝开始他的征战生涯，亚里士多德又回到雅典从事公众教学。他在雅典拥有一座名为吕克昂的花园，并在该处创办了一所后来叫做逍遥(Peripatetic)学园的学校(Peripatetic在希腊语中的含意是“漫步”)。他就在学校里讲学执教。他与他的助手和学生进行科学和哲学方面的研究。在他的指导下该校对古希腊城邦的建立产生了难以估量的作用。公元前323年亚历山大大帝去世，雅典再次成为对马其顿和马其顿人充满敌意的城市。亚里士多德受到“对神不敬”的指控(与过去对苏格拉底指控的罪名一样)而被迫向北逃亡到马其顿人的要塞迦勒西斯，而把吕克昂学府交给他的同事掌管。据说他曾讲过他“不会容忍雅典人二次背叛哲学”。由于离开并与雅典文化氛围和他的学校隔断了联系，亚里士多德于公元前322年62岁时郁郁孤独地去世。



了解每一个能涉及领域的知识的欲望激励着亚里士多德,他的著作涵盖从天文学(A)到动物学(Z)的每一个题目,有对自然世界的丰富详尽的观察,也有深邃的思索。他给予这个世界一份独一无二的礼物是他认为宇宙世界不是由难以理喻的命运与巫术支配的,而是由一套理性的规律控制的。这些规律可以被发现、分析和分类,用以指导人类的行为。他的著作数量巨大,可惜只有1/4留传至今。亚里士多德最早的著作是关于生物学的,可能是他居住在莱斯博斯时撰写的。以后的大多数著作可能是他第二次居住在雅典时写的。

亚里士多德的生物学著作是基于他对各种生物的第一手观察资料,正是这种研究确立了他作为科学家的地位。他所著的《动物的历史》一书中详细地阐述了从植物到人类各种各样生物的分类大纲。这是一个伟大的综合性理论,在他死后许多世纪仍是最高权威理论。亚里士多德重返雅典时期转向研究物理学和天文学方面的问题,并提出了对宇宙的总观点。与对生物学的研究比较起来,他对物理学和天文学的研究就逊色得多,缺乏实际的观测或独到的见解。他的物理学和天文学的思想概念曾经对后来的几个世纪产生深刻的影响,但他的生物学著作却没有受人重视,甚至被遗忘了,直到近代才被重新发现。亚里士多德有关自然哲学的著作表明他力图从总体上阐释物质世界的结构,一如他早期对生物学的阐述那样。他一直在寻求物理世界和生物世界中的规律,他认为二者是互相关联的。

亚里士多德的世界观支配欧洲人对自然的看法达

2000多年，这一世界观的基础是对宇宙的常识性的思维形象。可以概括如下：

物质是连续的。

苏格拉底时代前的希腊就对物质的本质有许许多多猜测和假说。公元前5世纪德谟克利特(Democritus 470—400 BC)及其后人伊壁鸠鲁(Epicures)就对物质的原子本质提出过假设。根据此理论，一切物质均由固态原子和原子间的空间或空穴组成。德谟克利特认为空穴与原子一样是原始的实体。原子是永恒不变的、不可分割且极小、看不见的。它们是不可压缩的、均质的，仅仅是形状、大小和排列方面不同。原子的运动和重新排列就使物体具有了不同的性质。德谟克利特及其追随者没有把他们所提出的科学思想再往前推进，在18世纪前，原子理论实际上被遗忘了。与原子论者持相反观点的是连续论者，其中有公元前5世纪的科学家和哲学家阿那克萨哥拉(Anaxagoras 488—428 BC)及后来的亚里士多德(当然包括苏格拉底和柏拉图)。连续论者认为一切物质均是由叫做原质(hyle)的原材料组成。亚里士多德的学识威望令其观点在中世纪基督教会中具有至高无上的权威，因此物质的原子论观点就完全不能被人们所接受。

在亚里士多德的宇宙中，月球层下面：

全部物质由四种基本“要素”组成：土、水、空气和火，它们相互作用并能互相转换。每个要素又可用四种“特质”表征：热、冷、干和湿，它们是成对发生的。

这个概念并非始于亚里士多德，其渊源可以追溯到更为古老的年代。它似乎是根据以下的观察而形成的，即自然界的每件事物以及我们的日常生活都具有



四分性：四季、四个方向、人的四个年龄段。这个概念与犹太教、基督教和伊斯兰教的思想完全符合，成为中世纪正统神学的一部分。直到17、18世纪人们才对这四种特质的概念提出异议。

在亚里士多德的宇宙中：

行星、恒星与月球是由另一种物质即第五种要素组成的。第五种要素的自然运动是圆周形的、永恒不变的。各个天体均依附在水晶球上，这些水晶球围绕着一根通过静止地球的轴线作匀速的圆周运动，地球处于中心位置，每个球体均会受到外界球体的影响。

大气球层围绕着地球，大气球层外面分别围绕着散土层、水层、空气层和火层。它们由纯要素构成，人类无法进入。在火要素层外是更为不可思议的物质层——以太(ether，希腊语“发光”的意思)或昆太斯(quintessence)，它成为天体的组成物质。以太球层外依次有月球、太阳和当时已知的5个行星，共计7个星球层，在它们之外则是恒星球体层。最后，在所有这些球体层外是神授的令所有别的星球和谐运动的球体层。亚里士多德教义坚持认为“第一推动者”上帝在创世时就已把天体设定在完美而永恒的圆周运动中。他十分晦涩地说，这些水晶球体层运动是由于上帝对永恒而坚定的活动的“渴求”。为使这些“渴求”能实现，他把“灵魂”授于这些球体层。运动是从第一推动者传递给它里面的球体层，然后依次传递到内里的各球体层。根本不存在空虚的空间，因为一切空间均有上帝的存在。与柏拉图一样，亚里士多德深受毕达哥拉斯“完美形式和图象”概念的影响，尤其认为圆周与球体是“最完美无缺的”。他的世界观就基于这些概念。他构想的