# 第六章 6 经典力学的局限性

经典力学的基础是牛顿运动定律，万有引力定律更是建立了人们对牛顿物理学的尊敬。牛顿运动定律和万有引力定律在宏观、低速、弱引力的广阔领域，包括天体力学的研究中，经受了实践的检验，取得了巨大的成就。著名物理学家杨振宁曾赞颁道：“如果一定要举出某个人、某一天作为近代科学诞生的标志，我选牛顿《自然哲学的数学原理》在1687年出版的那一天。”

是的，从地面上物体的运动到天体的运动，从大气的流动到地壳的变动，从拦河筑坝、修建桥梁到设计各种机械，从自行车到汽车、火车、飞机等现代交通工具的运动，从投出篮球到发射导弹、人造卫星、宇宙飞船……所有这些都服从经典力学的规律。经典力学在如此广阔的领域里与实际相符合，显示了牛顿运动定律的正确性和经典力学的魅力。

但是，像一切科学一样，经典力学没有也不会穷尽一切真理，它也有自己的局限性。它像一切科学理论一样，是一部“未完成的交响曲”。

## 从低速到高速

上面提到的各种物体的运动，速度都远小于真空中的光速。处理这些运动，经典力学完全适用。20世纪初，著名物理学家爱因斯坦建立了狭义相对论。狭义相对论阐述物体在以接近光的速度运动时所遵从的规律，得出了一些不同于经典力学的观念和结论。

例如，在经典力学中，物体的质量*m*是不随运动状态改变的，而狭义相对论指出，质量要随着物体运动速度的增大而增大，即

*m*＝

式中*m*0是物体静止时的质量，*m*是物体速度为*v*时的质量，*c*是真空中的光速。

依上式计算，在低速运动中，如地球以3×104m/s的速度绕太阳公转时，它的质量增大十分微小，可以忽略，经典力学完全适用。但是如果物体的速度接近光速*c*，例如速度*v*＝0.8*c*时，物体的质量约增大到静止质量的1.7倍。这时，经典力学就不适用了。

又如，一条河流中的水以相对于河岸的速度*v*水岸流动，河中的船以相对于河水的速度*v*船水顺流而下。在经典力学中，船相对于岸的速度为

*v*船岸＝*v*船水＋*v*水岸

经验告诉我们，这简直就是天经地义的。但是仔细一想，这个关系式涉及两个不同的惯性参考系，而速度总是与位移（空间长度）及时间间隔的测量相联系。在牛顿看来，位移的测量、时间的测量都与参考系无关，正是在这种时空观念下，上式才成立。然而，相对论认为，同一过程的位移和时间的测量在不同参考系中是不同的，因而上式不能成立，经典力学也就不适用了。

## 科学漫步

**时间和空间是什么？**

物体运动时它的空间位置在随时间变化，因而要描述物体的运动，就应该对空间（space）和时间（time）有一些认识。

通过生活经验我们体会到，所谓空间就像一个广阔无边又硕大无朋的房间，它是容纳一切物体的“容器”。它给物体提供一个运动的“舞台”，但并不干扰物体的“演出”。也就是说，空间是独立于物体及其运动而存在的。

通过生活经验我们还能体会到，时间像一条看不见的“长河”，均匀地自行流逝着，它计量着物体运动的持续性，而任何物体都影响不了它。也就是说，时间也是独立于物体及其运动而存在的。

令人高兴的是，我们这种认识与物理学的伟大奠基者牛顿的看法是一致的。人们对时空的这种认识称为牛顿时空观，也叫经典时空观。

牛顿时空观与我们的经验是那样地吻合，以至于我们会情不自禁地想，时间和空间的概念太浅显了，牛顿时空观是天经地义的，而“时空究竟是什么”似乎是一个多余而又天真的问题！



然而，1905年，爱因斯坦提出了一种崭新的时空观念。他指出，在研究物体的高速运动（速度接近真空中的光速）时，物体的长度即物体占有的空间以及物理过程、化学过程，甚至还有生命过程的持续时间，都与它们的运动状态有关。这样，空间和时间不再与物体及其运动无关而独立存在了。你大概难以想像这是什么样的情景！

然而，物理学的进展表明，一些看似天真的问题，其答案却是惊天动地的。人们对空间和时间概念的扬弃与修正，推动着物理学研究的深化，扩展着人类的科学视野。即使在今天，还有许多物理学家正在花时间思考和研究时间和空间呢！让我们在今后的学习中去逐渐地领悟吧[[1]](#footnote-1)。

## 从宏观到微观

19世纪末和20世纪初，物理学研究深入到微观世界，发现了电子、质子、中子等微观粒子，而且发现它们不仅具有粒子性，同时还具有波动性，它们的运动规律在很多情况下不能用经典力学来说明。20世纪20年代，量子力学建立了，它能够很好地描述微观粒子运动的规律，并在现代科学技术中发挥了重要作用。这就是说，经典力学一般不适用于微观粒子。

相对论和量子力学的出现，说明人类对自然界的认识更加广泛和深入，而不表示经典力学失去了意义。它只是使人们认识到经典力学有它的适用范围：只适用于低速运动，不适用于高速运动；只适用于宏观世界，不适用于微观世界。

## 从弱引力到强引力

万有引力定律的发现解释了天体运动的规律，并预言了海王星的存在。它首次使地面物体的运动规律与天上星体的运动规律统一起来，把经典力学推上了当时科学的顶峰。

但是，按牛顿的万有引力定律推算，行星的运动应该是一些椭圆，行星沿着这些椭圆做周期性运动。然而，实际的天文观测告诉我们，行星的轨道并不是严格闭合的，它们的近日点在不断地旋进，如图6.6-1所示。

经典力学可以对此做出一些解释。不过，水星旋进的实际观测值比经典力学的预言值要大。自19世纪以来，这个问题就引起了科学界的注意，但得不到令人满意的解释。1915年，爱因斯坦创立了广义相对论，这是一种新的时空与引力的理论。他根据广义相对论计算出，水星近日点的旋进应有每百年43″的附加值，同时还预言光线在经过大质量星体附近时，如经过太阳附近时会发生偏转等现象，这些都被观测证实了。

**图6.6-1 水星的公转轨道在不断旋进**

根据牛顿万有引力定律，假定一个球形天体的总质量不变，并通过压缩减小它的半径，天体表面上的引力将会增加。半径减小到原来的二分之一，引力增到原来的四倍。这就是常说的“平方反比”规律。爱因斯坦引力理论表明，这个力实际上增加得更快些。天体的半径越小，这种差别越大。

在太阳或者行星的引力场中，由爱因斯坦或牛顿的理论得出的引力没有很大的差别。但是宇宙中有一些天体，例如白矮星，它们的质量接近太阳，半径却与地球差不多，因此密度密度高达108～1010kg/m3，中子星的密度更达1016～1019kg/m3。这些天体表面的引力比我们常见的引力强得多，牛顿的引力理论已经不适用了。

冬季的夜晚，北半球的人们可以看到全天最亮的恒星——天狼星。1844年，德国天文学家F．W．贝塞尔根据天狼星移动的波浪形轨迹，推测有一颗看不见的伴星在围绕天狼星运动。后来的观测证实了他的猜想。伴星很暗，质量为太阳质量的1.05倍，半径为太阳半径的的0.0073倍，密度达3.8×109kg/m3。这是最早发现的白矮星。

对于这样的科学发展过程，爱尔兰作家萧伯纳曾诙谐地说：“科学总是从正确走向错误。”这种调侃对于人类的以识过程不失为一种幽默的表述。

然而，历史上的科学成就不会被新的科学成就所否定，而是作为某些条件下的局部情形，被包括在新的科学成就之中。当物体的运动速度远小于光速*c*时，相对论物理学与经典物理学的结论没有区别；当另一个重要常数即“普朗克常量”可以忽略不计时，量子力学和经典力学的结论没有区别。相对论与量子力学都没有否定过去的科学，而只认为过去的科学是自己在一定条件下的特殊情形。

相对论和量子力学是哪一种更广泛理论的特殊情形呢？我们现在还不知道……

光速*c*＝3×108m/s

普朗克常量*h*＝6.63×10-34J·s

## 科学足迹

**牛顿的科学生涯**

牛顿（Issac Newton，1643-1727）——伟大的科学家，经典力学理论体系的建立者，1643年1月4日[[2]](#footnote-2)诞生在英格兰的林肯郡。他少年时代喜欢摆弄机械，喜欢绘画、雕刻，尤其喜欢刻日晷，用以观看日影的移动，从而得知时刻。12岁进中学，学习成绩并不出众，只是爱好读书，喜欢沉思，爱做小实验，对自然现象有好奇心。他还分门别类地记读书心得笔记，又喜欢别出心裁地做些小工具、小发明。他的中学校长和他的舅父独具慧眼，鼓励牛顿上大学读书。牛顿于1661年进八剑桥大学三一学院，1665年获得学士学位。

1665～1666年伦敦鼠疫流行，学校停课，牛顿回到故乡。牛顿在剑桥受到数学和自然科学的培养和熏陶，对探索自然现象产生了极浓厚的兴趣。就在躲避鼠疫这两年内，他在自然科学领域思潮奔腾，思考了前人从未想过的问题，创建了惊人的业绩。

1665年初，他创立了级数近似法和把任何幂的二项式化为一个级数的方法。同年11月，创立了微分学。次年1月，牛顿研究颜色理论，5月开始研究积分学。这一年内，牛顿还开始研究重力问题，并把重力与月球的运动、行星的运动联系起来考虑。他从开普勒定律出发，通过数学推导发现：使行星保持在它们轨道上的力，必定与行星到转动中心的距离的二次方成反比。由此可见，牛顿一生中最重大的科学思想，是在他二十多岁时思想敏锐的短短两年期间孕育、萌发和形成的。

牛顿于1684年8～10月先后写了《论运动》《论物体在均匀介质中的运动》，1687年出版了《自然哲学的数学原理》，1704年出版了《光学》。他在1727年去世前，说了一段有名的话：“如果我所见到的比笛卡儿要远些，那是因为我站在巨人的肩上。”

牛顿所指的巨人及其成就，包括欧几里得的数学、阿基米德的静力学、开普勒的行星运动定律、伽利略的运动理论和突验结果，还包括惯性概念、笛卡儿的动量守恒、惠更斯的向心力，等等。在科学方法上，他以培根的实验归纳方法为基础，又吸收了笛卡儿的数学演绎体系，形成了以下比较全面的科学方法。

（1）重视实验，从归纳入手。这是牛顿科学方法论的基础。他曾说过：“为了决定什么是真理而去对可以解释现象的各种说法加以推敲，这种做法我认为是行之有效的……探求事物属性的准确方法是从实践中把它们推导出来。”牛顿本人在实验上具有高度的严谨性和娴熟的技巧，在《原理》一书中他描述了大量实验。

（2）为了使归纳成功，不仅需要可靠的资料与广博的知识，而且要有清晰的逻辑头脑。首先要善于从众多的事实中挑选出几个最基本的要素，形成深刻反映事物本质的概念，然后才能以此为基石找出事物之间的各种联系并得出结论。牛顿在谈到自己的工作方法的奥秘时说，要“不断地对事物深思”。

伽利略和笛卡儿、惠更斯等已经用位移、速度、加速度、动量等一系列科学概念代替了古希腊人模糊不清的自然哲学概念；牛顿的功绩是，在把它们系统化的同时贡献出两个关键性的概念：“力”和“质量”。他把质量与重量区别开来，并把质量分别与惯性和引力相联系。牛顿综合了天体和地面上物体的运动规律，形成了深刻反映事物本质的科学体系。

（3）事物之间的本质联系只有通过数学才能归纳为能够测量、应用和检验的公式和定律。牛顿的数学才能帮助他解决了旁人解不开的难题。他把上述基本概念定义为严格的物理量，并且创造出新的数学工具来研究变量与时间的关系，从而建立了运动三定律和万有引力定律。

此外，牛顿勤奋学习的精神，积极思索、耐心试验，以及年复一年坚持不懈地集中思考某一问题等优秀品质，也是他取得伟大成就的内在因素。

牛顿还有一句名言：“我不知道世人怎么看，但在我自己看来，我只不过是一个在海滨玩耍的小孩，不时地为比别人找到一块更光滑、更美丽的卵石和贝壳而感到高兴，而在我面前的真理的海洋，却完全是个谜。”从这句话中，我们可以窥见他那博大深邃的精神境界。

当然，并非他做的每件事都值得尊重。他有许多年陷入炼金术及其他神秘探索，也很难包容持不同意见的人。他犯过的错误和性格上的弱点也许比人们知道的更多，但他仍是一位无与伦比的巨人。

1727年3月31日凌晨一点多，牛顿在睡梦中溘然长逝，终年84岁。他被安葬在威斯敏斯特教堂，那是英国人安葬英雄的地方。

## 问题与练习

1．有些情况下，经典力学的结论会与事实有很大的偏差，以至于不再适用。请说出哪些情况下经典力学显现了这样的局限性。

2．根据狭义相对论，当物体以速度*v*运动时，它的质量*m*大于静止时的质量*m*0，两者得关系为*m*＝。处理问题时若仍然使用*m*0的数值，便会发生一定的误差。问：当物体的速度*v*达到多大时，*m*相对*m*0才会有1%的误差？

1. 《物理选修3-4》将对上面提到的问题做些稍微深入的讨论。 [↑](#footnote-ref-1)
2. 即英国旧历1642年12月25日。 [↑](#footnote-ref-2)