

牛顿力学与 星际航行



四川科学技术出版社

牛顿力学与星际航行

查 有 梁 编著

责任编辑:赵 健
封面设计:韩健勇
版面设计:吴向鸣
责任校对:李 红

牛顿力学与星际航行 查有梁 编著

四川科学技术出版社出版发行 (成都盐道街三号)
四川省新华书店经销 资中县印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 6.25 字数 125 千
1991 年 6 月第一版 1991 年 6 月第一次印刷
印数:1—3605 册

ISBN7-5364-1757-8/V·2

定价:2.25 元

内 容 提 要

本书由浅入深地介绍了圆锥曲线、牛顿力学与星际航行的基础知识。作者以一种新的方法，介绍圆锥曲线的一些基本知识；以一种简明的方式，讲述牛顿在其《自然哲学之数学原理》中所论述的一些基本内容；以一种浅显的形式，介绍了钱学森在《星际航行概论》中讲授的一些基本问题。作者引入了切线坐标，由此得出了天体运行的轨道方程、能量方程和离心率公式，进而讨论了发射人造地球卫星、洲际弹道火箭以及星际航行轨道的一些问题。对于具备中学水平的读者，本书能够引起他们对圆锥曲线、牛顿力学与星际航行的兴趣和思考。对于广大中学师生和大学学生，本书有助于他们把数学与物理结合起来，更好地掌握物理定律，了解这些物理定律在空间科学、航天技术

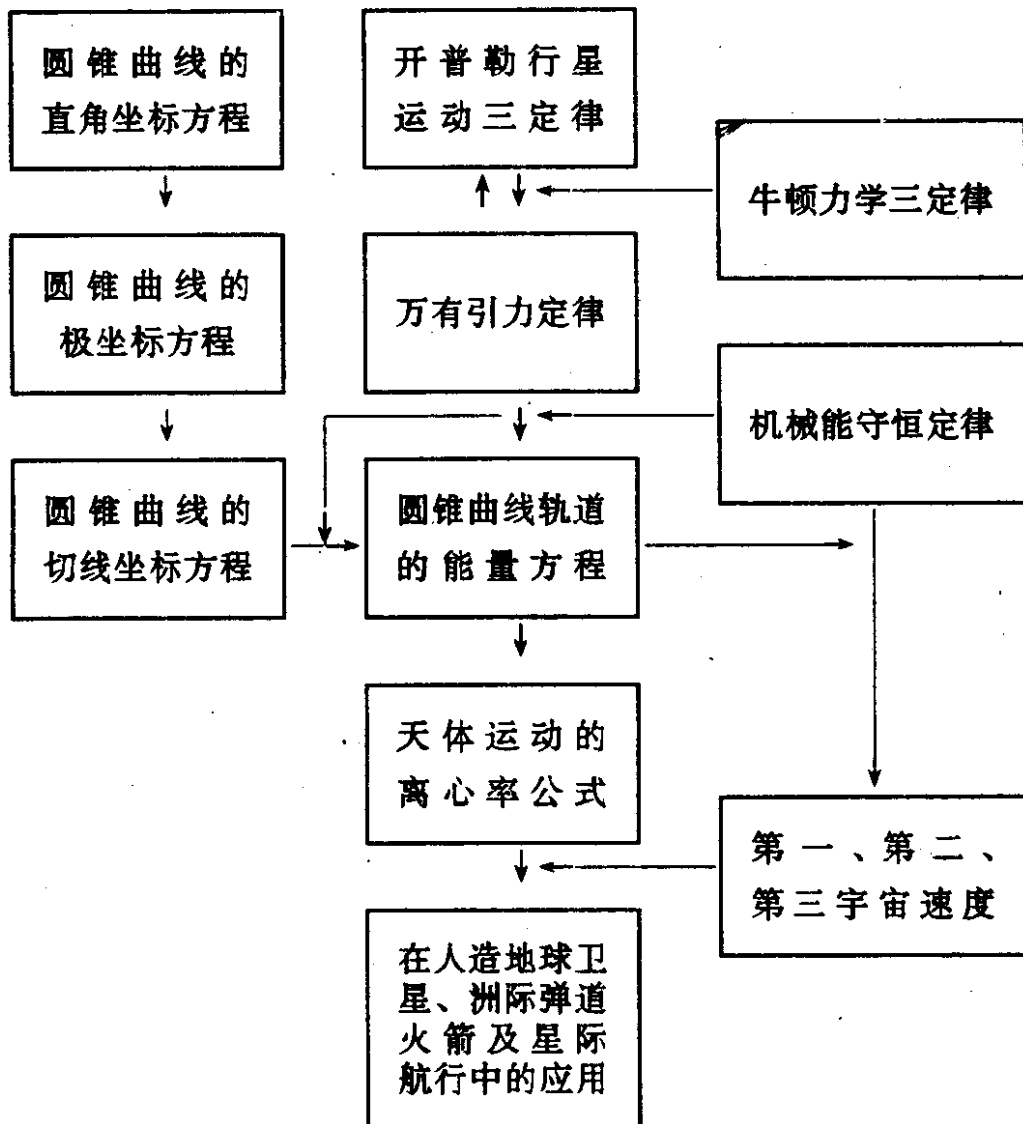
中的应用。

本书以切线坐标法贯穿始终，从而形成了一个讲述天体运行与星际航行的新结构。这一新结构，对理论与实践、教学与科研，都会有一定意义。属于作者的研究成果有：①提出切线坐标方法，建立了圆锥曲线方程的新形式，给出计算曲率半径的新公式；②推导出天体运行统一的能量方程，由能量方程推导出天体运行的离心率公式；③以新的方式，给出万有引力定律与开普勒行星运动定律的相互推导；④推导出进动圆锥曲线轨道的新公式，进而推导出引斥力公式，它包容了牛顿万有引力定律；⑤推导出信息测不准关系，海森伯测不准关系是作者推出的新关系式的特殊情况。

本书可使中等水平的读者，学懂一些较高深的知识；又可使高等水平的读者，学会一点深入浅出讲述理论的教学方法。

本书可作为在中学开展课外活动，开展数学竞赛、力学竞赛、物理竞赛的读物。对于在中学和师范院校进行综合科学教育——把几门学科有机地结合起来学习，使课程之间融合、渗透，本书提供了课程融合的一种实验教材。本书可作为高中学生和师范院校学生学习数学、物理学的选修课教材或专题课教材。

全书结构



前 言

圆锥曲线、天体运行、万有引力、能量守恒，以及人造卫星与星际航行——这些吸引人的内容，无论从历史发展，还是逻辑演绎来看，都是相互密切联系的。圆锥曲线是数学上研究的题目；天体运行是天文学观测的对象；万有引力和能量守恒是力学、物理学研究的内容；人造卫星和星际航行则是现代空间科学探讨的一个重要部分。这本小册子就是想从整体上、从相互联系上来论述这些内容，因此取名为《牛顿力学与星际航行》。

为什么天体会按圆锥曲线的轨道运行呢？应用牛顿力学三定律、万有引力定律、能量守恒和转化定律，便能够对天体运行的规律给出一种解释；同样，应用上述物理原理，又能够对发射人造卫星和星际飞船的运行轨道，给出理论推算。在天体运行的轨道中，无论是圆

($e=0$)、椭圆 ($e<1$)、抛物线 ($e=1$)，还是双曲线 ($e>1$) 都有一个表征天体运行轨道的重要参数——离心率 e ，它表征了轨道的形状。是什么因素决定天体运行轨道的离心率呢？辩证唯物主义和现代物理都已经论证了：空间、时间是物质运动存在的形式。那么，天体运行的几何规律与天体运行的物理规律必然有着密切的联系。在这些观点的启发下，作者研究了发射人造地球卫星这一物理模型。人造地球卫星运行的轨道不仅决定于发射点距地心的距离和发射卫星时速率的大小，而且也决定于发射卫星时的角度。速度的方向即轨道的切线方向。由此物理模型，作者提出一种新的坐标，即切线坐标，并用切线坐标来研究圆锥曲线与天体运行。由于切线坐标比之于直角坐标和极坐标能更好地反映出几何规律与物理规律的相互联系，应用切线坐标较为简单地得到了天体运行的统一的轨道方程、统一的能量方程，以及天体运行的离心率公式。本书没有采用经典力学中求解二阶微分方程的方法去求出离心率公式。这样便能够使得具有中学水平的广大读者也能初步定量地了解天体运行的基本规律。在讨论人造卫星与星际航行轨道的问题时，我们着重从能量方程来研究。为了使读者逐步深化数学的应用和对物理原理的理解，先在正文中用初等数学方法阐述问题，然后在附录中用高

等数学方法予以论证、概括和提高。在这本小册子的“继续探索”中，作者还提出建立引斥论的设想，并在附录中具体推出引斥力公式——它包括了牛顿的引力公式和牛顿引力公式中所没有的斥力部分。作者还推导出信息测不准关系，海森伯测不准关系包容在其中。期望这些新的研究能引起读者的兴趣和钻研。

本书除了作为导言的“历史回顾”和作为尾声的“继续探索”外，主体部分有三章。第1章讲述圆锥曲线的性质，作者应用了新的方法，得到了一些新结果；第2章讲述天体运行的规律，论述了天体的运动学和动力学，得到了天体运行统一的能量方程；第3章是在前面两章的基础上，讲述了人造卫星和星际航行的发射和轨道等问题。本书的每一章前后以及全书前面，都附有“结构图”。掌握各章以及全书的结构，同时又读懂了各章内的论述与证明，按照“整体→部分→整体”这种科学方法去阅读和讲解，或许能给读者带来愉快的思考。果真如此，那便是对作者的最大安慰。

作者给理科和文科的大学生、研究生上过一些课程。他们常常误认为作者的记忆力强，其实，自我感觉和测量结果则是非常一般。符合人的记忆的实验统计结果：短时记忆一个组块要0.5秒以上，长时记忆一个组块要8秒以上，而真正掌握应用一个组块至少反馈20次以上。

作者甚至认为不能记忆得太多，记忆上花费的功夫过多，反而影响创造力。记忆与忘却各有优点。为此，献给读者一首小诗：

记忆与忘却

我能记忆，
但更多是忘却。
忘却一切无意义、不愉快的东西，
剩下的就是智慧和快乐。

我会忘却，
但更会记忆。
忘却那彼此无关的孤立细节，
记忆事物活生生的整体联系。

我国著名科学家周培源教授、钱学森教授、已故的华罗庚先生，都非常强调和鼓励教育工作者和科学工作者为青少年们写作科普读物。我研读他们的著作，聆听他们的报告，深受启发。尤其对钱学森教授给予作者的多次直接教诲，终身难忘。作者从事了20多年的教学和科研工作。在成都市教育局教育研究室物理组和数学组曾工作过8年。这期间与许多中学教师有频繁的教育研究的交流，这对于思考问题很有帮助。在中国科学院成都分院从事研究工作

期间,使作者有更多的时间探索更深邃的问题。一方面接触了许多学术界的朋友和学长,另一方面为研究生讲课,又促进了对一些数学物理问题的思索。本书的原稿在 1967 年曾经请谢晋超、查莉芬同志仔细看过,他们提出了宝贵的意见。王季超教授、康振黄教授、胡鹏教授、易照华教授、张景中研究员、张锦文研究员、张庆雍教授、马志圣教授、张涵信教授、杨金林教授、宁交贤教授等,曾给予作者很多鼓励和帮助,在这里一并致谢!

1987 年 5 月写于成都华西坝

1988 年 8 月改于美国洛杉矶

目 录

全书结构	
前 言	1
历史回顾	3
第 1 章 圆锥曲线的性质	15
§ 1.1 圆锥曲线的直角坐标方程	16
§ 1.2 圆锥曲线的极坐标方程	26
§ 1.3 圆锥曲线的切线性质	31
§ 1.4 圆锥曲线的切线坐标方程	36
§ 1.5 圆锥曲线的曲率半径	42
第 1 章结构	53
第 2 章 天体运行的规律	57
§ 2.1 开普勒行星运动三定律	58
§ 2.2 牛顿力学三定律	61
§ 2.3 万有引力定律	69
§ 2.4 能量守恒和转化定律	81
§ 2.5 天体运行的能量方程	86

第 1、2 章结构	91
第 3 章 人造卫星和星际航行	95
§ 3.1 第一、第二、第三宇宙速度	96
§ 3.2 离心率公式及其讨论	99
§ 3.3 人造地球卫星的轨道	106
§ 3.4 洲际弹道火箭的轨道	113
§ 3.5 星际航行的轨道	119
第 1、2、3 章结构	129
继续探索	133
附 录	147
附录 1 椭圆的面积	147
附录 2 圆锥曲线统一的切线坐标方程 ...	149
附录 3 圆锥曲线统一的曲率半径公式 ...	151
附录 4 从开普勒三定律推证万有引力 定律	152
附录 5 从万有引力定律推证开普勒三 定律	157
附录 6 动能公式和引力势能公式	160
附录 7 行星近日点旋转的推导	162
附录 8 从天体运行推导引斥力公式	167
附录 9 万有引力定律与开普勒定律的 新推导	174
参考目录	180
后 记	182

有一种内部的或者直觉的历史，还有一种外部的或者有文献证明的历史。后者比较客观，但前者比较有趣。使用直觉是危险的，但在所有各种历史工作中却都是必需的，尤其是要重新描述一个已经去世的人物的思想过程时更是如此。

——爱因斯坦：《关于科学史和科学家的谈话》。（见《爱因斯坦文集》第一卷）

历史回顾

认识天体运行的
规律需要天文
学、数学和力学

1970年4月24日，中国成功地发射了第一颗人造地球卫星。《新闻公报》上公布了：“卫星运行轨道，距地球最近点439公里，最远点2384公里，轨道平面和地球赤道平面的夹角 68.5° ，绕地球一周114分钟。卫星重173公斤，用20.009兆周的频率，播送《东方红》乐曲。”

十多年来，中国又相继成功地发射了数十枚人造地球卫星，包括地球同步通讯卫星、返回式遥感卫星、试验气象卫星（沿极地轨道运行，又称太阳同步卫星），等等。出色地完成了将人造地球卫星准确收回地面，为包括美国在内的其他国家发射人造地球卫星。这些标志着中国的空间科学发展到一个新的水平。

人们会问：人造地球卫星运行的轨道是怎样的？为什么行星、卫星、慧星等自然天体以及人造卫星、人造行星等人

造天体能够沿一定的轨道运行呢?发射人造卫星时发射速度、发射角度与轨道形状有什么关系呢?能不能仅仅根据近地点和远地点的距离计算出人造地球卫星轨道的大小、形状、周期、发射速度呢?……要初步定量地回答这些问题,需要天文学、数学和力学的基础知识。

天文学、数学和力学从一产生起便是由生产所决定、所推动,同时它们之间有着密切的联系,是相互影响、相互促进的。恩格斯指出:“必须研究自然科学各个部门的顺序的发展。首先是天文学——游牧民族和农业民族为了定季节,就已经绝对需要它。天文学只有借助于数学才能发展。因此也开始了数学的研究。——后来,在农业发展的某一阶段和在某个地区(埃及的提水灌溉),而特别是随着城市和大建筑物的产生以及手工业的发展,力学也发展起来了。不久,航海和战争也都需要它。——它也需要数学的帮助,因而又推动了数学的发展。这样,科学的产生和发展一开始就是由生产决定的。”(恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社,1971年版,162页)

中国古代对天文学、数学和力学的贡献

伟大的中国是世界文明发达最早的国家之一。在天文学、数学和力学方面,中国古代的先民对人类曾经作出了巨大的贡献。

在天文学方面,早在公元前 2800 年,就已经对星空进行了许多观测。日食、月食、慧星、太阳黑子等等天象,都是中国最早观测到,并且有着最古老、最系统的记载。早在公元前 240 年,中国古人就观察到哈雷慧星,并对这颗慧星每