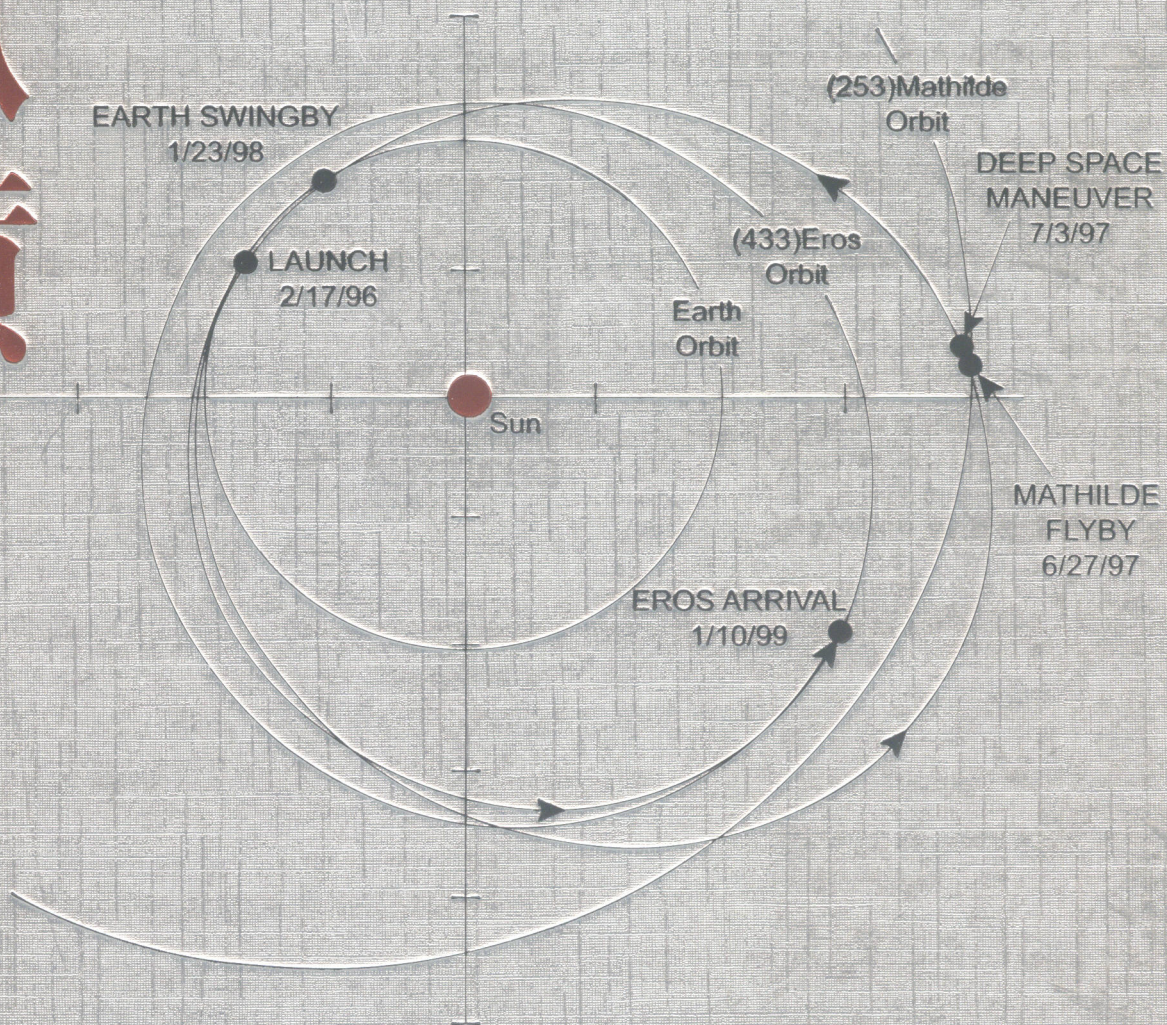


航天纵横



宋健
著

航天纵横

航天对基础科学的拉动

高等教育出版社



图书在版编目(CIP)数据

航天纵横：航天对基础科学的拉动 / 宋健著. —北京：高等教育出版社，2007.3

ISBN 978-7-04-018406-8

I. 航… II. 宋… III. 基础科学—应用—航天学
IV. V419

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第132306号

出品人 刘志鹏
总监制 吴向
策划 王国祥
责任编辑 赵天夫
书籍设计 刘晓翔 赵阳
责任绘图 张申申 赵阳
责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000
购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

经销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京佳信达艺术印刷有限公司

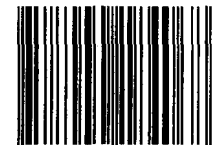
开本 850 × 1168 1/16
印张 32
字数 750 000
版次 2007年3月第1版
印次 2007年3月第1次印刷
定价 95.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号：18406-00

ISBN 978-7-04-018406-8



9⁷⁸⁷⁰⁴⁰184068 >

走出地球
探测宇宙

宋健



宋健，控制论、系统工程和航空航天技术专家。生于1931年12月，山东荣成人。1960年毕业于莫斯科包曼高等工学院研究生院，先后获副博士和科学博士学位。在控制论研究、导弹航天技术和人口控制论等方面取得了系统的、创造性的成就，为推动中国科技事业和环保事业的发展，以及确立科教兴国战略做出了重大贡献。曾任航天部副部长兼总工程师、国务委员兼国家科委主任、全国政协副主席、中国工程院院长。现为中国科学院、中国工程院、国际宇航学院院士，美国国家工程院、俄罗斯科学院和瑞典皇家工程院等外籍院士。

内容简介

本书是为从事和将要从事航天事业的青年科学家和工程师们编写的讲义和参考教材。本书综述了20世纪下半叶世界航天科学技术所取得的伟大成就；航天科学与物理、数学、天文、宇宙学、生物学等基础科学和各部门技术科学的密切关系以及对基础科学进步的拉动；展望21世纪航天科学的任务、发展方向和期待中对人类进步事业的贡献等。本书取名《航天纵横》，是指讲义重点阐述航天事业与其他学科的横向联系和影响，而不在航天技术本身。

由于大学中航空航天专业通常未把天文学列入必修课，因此第一讲中介绍了航天所需要的天文学要义。第二讲讨论地月系统。探月是20世纪和21世纪航天的重点任务。研究月球和其他天体都以地球为样板，故本讲中对地球地质学有详细说明。探测太阳系内其他行星天体需要知道太阳系的构造和已经取得的成就，这是第三讲的主题。第四讲讨论宇航和宇宙学。对太阳系以外天体的探测，必须以宇宙学和理论物理的知识为基础，特别受相对论的制约，故本讲内对狭义和广义相对论的基本思想和理论要点有所介绍和评论。第五讲谈的是宇宙生物学。查明生命是如何起源的，是对现代科学最大的挑战。寻找地外生命和外星文明梦萦着全社会，地球上的生命是唯一的样本。本讲内系统介绍地球上生命的基本特征和进化历程，作为研究宇宙生命的前奏。最后，第六讲讨论银河系中未来可能的宇航探测目标，我们所知道的银河系和宇宙的结构等。

为了便于阅读，每讲内容都是独立的，无需相互参照和依赖。各讲中都包含了大量有用的科学数据。重要的科学概念和名词术语都给出严格定义和计算公式，便于在工作和学习中查用。





神舟五号

中国航天

LM2F

郑重声明 高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100011

购书请拨打电话：(010) 64014089/64054601/64054588

前 言 1

第一讲 航天天文要义 11

- 1.1 引言 13
- 1.2 坐标系 15
- 1.3 开普勒三定律 19
- 1.4 时间定义 20
- 1.5 行星和卫星轨道 23
- 1.6 轨道摄动和机动 30
- 1.7 太阳同步和地球同步卫星 33
- 1.8 行星际飞行和鞣千效应 39
- 1.9 拉格朗日点的应用 44
- 1.10 附录 51
- 参考文献 57

第二讲 地月系统探测 59

- 2.1 地球——航天的起点 61
- 2.2 地球的历史 69
- 2.3 探月竞赛 75
- 2.4 美国的“十年登月” 90
- 2.5 辉煌的失败 100
- 2.6 探月的新发现 105
- 2.7 重返月球 112
- 2.8 嫦娥奔月 115
- 参考文献 122

第三讲 太阳系探察 125

- 3.1 太阳系构成 127
- 3.2 太阳及其寿命 134
- 3.3 水星♀探察 146
- 3.4 抢探金星♀ 150
- 3.5 火星♂——寻找生命的希望 156
- 3.6 最大气巨星——木星♃ 166
- 3.7 第二大气巨星——土星♄ 174

3.8 天王星♄和海王星♅ 180

3.9 冥王星♇及以远 186

3.10 追踪小行星和流星 191

3.11 进军火星♂ 199

参考文献 207

第四讲 宇航与宇宙学 209

4.1 星图与星系 211

4.2 宇宙尺度的测量 228

4.3 我们的大区——银河系 241

4.4 宇宙创生标准模型——大爆炸假说 251

4.5 狭义相对论和光障 261

4.6 广义相对论和平坦宇宙 274

4.7 对物理学的挑战——暗物质和暗能量 285

4.8 太空望远镜 296

参考文献 304

第五讲 宇宙生命学 307

5.1 寻觅地外生命 309

5.2 关于生命起源的争论 313

5.3 生命的载体——细胞 318

5.4 生命的能源供应 333

5.5 水与生命同在 343

5.6 生命的进化 352

5.7 生命多样性 371

5.8 宇宙生命学的诞生 389

5.9 信息和控制——生命的灵犀 394

参考文献 405

第六讲 探测银河系 409

6.1 探测银河系 411

6.2 银河系中的可居住区 420

6.3 类地行星 427

6.4 地外生命的标志 437

6.5 寻找地外文明 443

6.6 宇航路上的崎岖 452

6.7 空间站——准备远行 459

6.8 进军太外 474

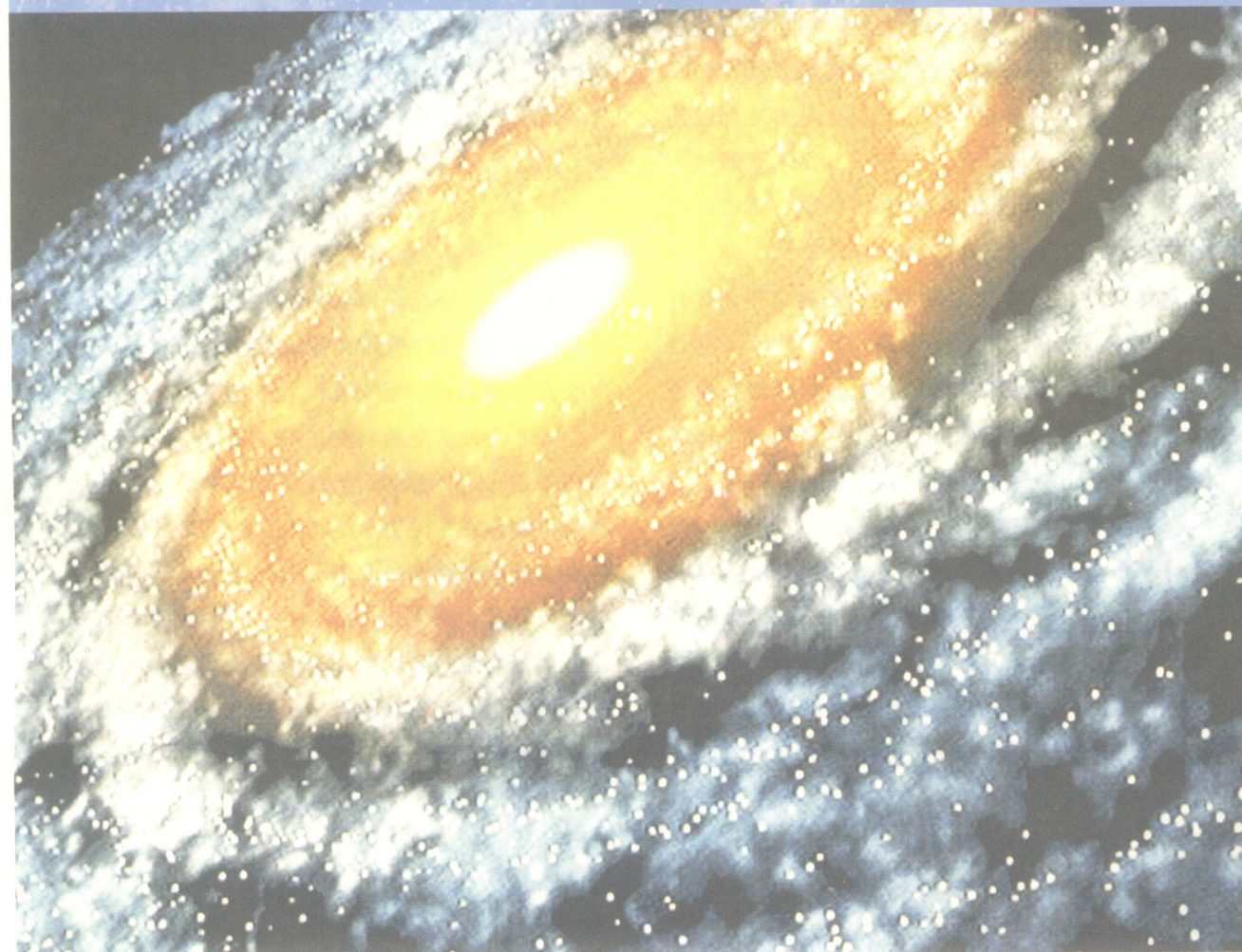
参考文献 485

图表致谢 487

名词索引 489

前

言



每一个人都为过去半个世纪人类航天事业的辉煌成就和目不暇接的科学发现感到振奋。自然科学各学科和技术科学本身都受到它的影响、挑战和冲击,人类的生产和社会活动方式也随之发生了剧烈变化。从1957年苏联发射第一颗人造地球卫星和1961年第一个苏联宇航员进入外太空后的40多年来,航天技术突飞猛进,新成就和新纪录层出不穷。有30多个国家发射了8 000多颗卫星,每天有2 000多颗卫星在轨道上工作。共有350多人参与过空间飞行,240多位宇航员累计在外太空工作了72人年。通信卫星、导航卫星、气象卫星、资源卫星等已成为人类社会生活须臾不能离开的空间设施。可以说,人类已经把生存和生活领域扩展到地球大气层以外,占领和征服了近地空间。俄国航天理论先驱齐奥尔科夫斯基曾说过(1903):“地球是人类的摇篮,但人类不能总在摇篮里生活。”20世纪60年代以苏联宇航员加加林为首,人类开始走出摇篮。下面这些重大事件将永载人类历史,记录了人类走出地外空间的足迹。

1957年10月4日苏联发射了第一颗人造地球卫星。

1959年9月12日苏联发射的月球2号到达月球表面。

1961年4月12日苏联宇航员加加林第一个进入外太空,乘东方号飞船在181~327km高空绕地球飞行了1小时48分钟。

1965年7月15日美国水手4号飞船到达火星,得到部分表面照片。

1966—1967年苏联发射的月球卫星拍摄了人类从未见到过的月球背面照片,制作了1:500万的背面月貌图,以大批苏联科学家、研究机构、城市以及世界各国科学家的名字命名了所有的可

见构造,经国际天文学联合会批准后成为国际标准名称。

1966年3月1日—1970年12月15日苏联发射的金星3号、5号、6号和7号分别进入金星大气层和到达金星表面,得到了大气参数和部分表面构造照片,绘制了第一幅金星表面构造图并予以命名。从1961—1983年苏联共发射了16个金星探测飞船,成为“金星大王”。

1969年7月24日美国宇航员阿姆斯特朗、柯林斯乘阿波罗11号飞船登上月球,迈出了人类在地外天体上行走的第一步。到1972年12月19日,共有12名美国宇航员先后登上了月球并安全返回地球,总共在月球上逗留了600个小时,带回月球岩样品381 kg。

1970年4月24日中国发射了第一颗人造地球卫星“东方红1号”,重183 kg。

1974年2月5日美国发射的水手10号三次飞近水星,在320km高度上拍摄了占1/3水星表面的构造,绘制了第一幅水星表面图。

从1971—2004年,苏联发射的火星2号(1971)和3号~7号(1973),美国发射的水手9号(1971)、两个海盗卫星(1976)、火星轨道器(1998)、火星全球勘探(1997)、探路者(1997)、勇气号和机遇号(2004)等火星卫星和降落到火星表面的探测器,对火星地貌、地质、大气、岩石、构造进行了全面研究,彻底排除了火星上存在高等生物的可能性。火星上没有液态水,大气稀薄(0.01atm^①),95%是CO₂,氧气很少(0.13%),平均温度-57℃,但发现数十亿年前有大量水存在过的迹象。

1973年12月和1974年12月美国发射的先驱者10号和11号分别对木星进行了首次近距离观测,测量了引力场、大气结构,拍下了大气和卫

① 标准大气压, 1atm = 101 325 Pa。

星照片。

1979年3月和6月旅行者1号和2号又一次飞近木星，传回了木星及其卫星的高清晰度照片和电视摄像，对大气层、磁场和磁场中的等离子体进行了测量。

1989年10月美国航空航天局又发射了伽利略号飞船，从1995年12月到2002年年底，绕木星飞行了7年，对木星大气及其卫星进行了详尽考察，释放过小型探测器进入木星大气。

1979年9月和1980年10月美国发射的先驱者11号和旅行者2号飞船首次从近处掠过土星，发回大量照片和数据，发现了新的大气结构、红斑和光环。新发现6个卫星。测出了土卫六的半径和质量，发现有大气层，测出了大气成分。1997年10月美欧联合发射了卡西尼飞船，2004年7月1日进入绕土星轨道，预计工作4年。于2005年1月14日被释放的惠更斯探测器在土卫六上降落，在下降的3小时44分钟内发回了474MB数据。

1986年1月美国的旅行者1号掠过天王星，新发现了10个卫星和光环细节。

1986年哈雷彗星回归时（哈雷，E. Halley 1705年发现并预报了它的回归周期为76年），欧洲的吉奥托(Giotto)、日本的“先驱号”(Sakigake)和“水星”(Suisei)飞船以及苏联的织女号(Vega)等五个飞船对它进行了近距观测并拍下了大量照片，测得彗核横面积 $16\text{ km} \times 8\text{ km}$ 。

1990年以后，先驱者10号、11号和旅行者1号、2号均离开了太阳系。4个飞船中只有先驱者10号是逆着太阳在银河系中运动方向进入银河系，于2003年1月22日向地球发出最后一次信号后，向金牛座的 α 星即毕宿五方向飞去。先驱者11号与地球最后一次通信是1995年11月30日，此后电源耗尽，通信天线已无力对准地球方向，

默默地在飞往天鹰座方向上消失。

1991年10月和1993年8月伽利略飞船在飞往木星的途中分别掠过小行星Gaspra（编号1951号，俄国G. Neujamin于1916年发现，尺寸 $19\text{ km} \times 12\text{ km} \times 11\text{ km}$ ）和爱达（Ida，编号243，1884年由J. Palisa发现，尺寸 $56\text{ km} \times 24\text{ km} \times 21\text{ km}$ ），分别在1600km和2400km远处拍下了它们的清晰照片，获得了关于它们的结构、表面形态和运动参数。

1996年2月17日美国航空航天局发射了“近地小行星会合”飞船（NEAR，Near-Earth Asteroid Rendezvous），专门沿253号小行星（Mathilde）轨道与其会合，在1200km处拍下它的照片；然后该飞船又于1998年1月23日与另一个小行星爱罗斯（Eros， $35\text{ km} \times 13\text{ km} \times 13\text{ km}$ ，编号433，德国天文学家G. Witt于1898年发现）相会并变成它的卫星，最后于2001年2月12日降落到该小行星上。NEAR前后发回了16万幅图片。

2003年10月15日中国宇航员杨利伟完成外太空飞行21小时23分钟，在近地轨道上飞了14圈。

从上述纪录可看出，20世纪下半叶对太阳系的航天探测取得了伟大成就。人类的触角已就近探察了八大行星、若干小行星和彗星，对我们生存其中的太阳系结构、形态和历史都有了确凿的认证，积累了丰富的科学知识，这是人类数千年的文明史上从未有过的飞跃性突破。这些成就的取得，主要是前苏联、今日的俄罗斯和美国科学界与工程界的贡献。欧洲各国和日本已进入航天事业，开始做出重要贡献。发展中国家，如中国、印度、巴西等都在努力创造条件，可望于21世纪开展较大规模的空间探测活动。

过去50年的航天活动与自然科学和社会科

学的每一学科都有着密切的联动关系。首先，它无可辩驳地证明了近代科学过去所积累的知识绝大部分是正确的。天文、地学、生物学、数学、物理、化学和唯物论哲学的主要科学理论过去是在地球上由观察、实验、抽象和推理得到的，航天事业的实际已证明这些知识在地球以外也是可靠的、正确的和可以信赖的。自从发明了天文望远镜（伽利略，1609）以后，天文学靠从地面对天体的观察数据中找到了天体运行规律（开普勒三定律，1609），牛顿又把这些经验数据提升到物理力学的高度，赋予完美的数学形式（1687）。人造地球卫星和飞船的实际飞行证实了这些理论和定律的准确无误，能指导着飞船接近、跟随太阳系中的任何天体，准确地与它们会合，绕其旋转或在其上降落。物理、化学、地学等学科在地球上通过观察、实验所得到的知识如物质构造、元素分布、岩石种类等，在太阳系别的星球上都得到了印证。航天的实践使人类固有的“眼见为实”式的信念投向了现代科学。

地质学是航天探测其他天体的知识基础，航天探测结果对地质学又产生了重大影响。一批新的学科，比如行星物理学、宇宙地质学已经诞生。数十年来地质学家曾努力寻找地球上最古老的岩石，以了解地球形成早期的地壳是什么样子和生命是如何发生的，从而填补地球46亿年地质史上早期6亿~7亿年的空白。对月球、其他行星和小行星的直接观察表明，在地球上找到40亿年前的岩石可能性很小。在太阳系和行星形成初期的数亿年中，火山爆发和小行星、陨石对行星的撞击如此猛烈，以致整个地球表面熔化为液态。只有冷却后才凝结成岩石，出现海洋以后的沉积作用才形成今天的地壳。所以至今只在格陵兰西南部、澳大利亚西部和加拿大北部等远古大陆上找

到过38亿年左右的岩石。中国东北是欧亚古大陆，中国地质学家只在辽宁鞍山找到过大约30亿年前的岩石。

航天探测结果对宇宙学提出了新的挑战。支持“宇宙加速膨胀”假说的证据先是来自地面天文望远镜对遥远星系的观察，像哈勃（E. P. Hubble, 1889—1953）在20世纪20年代最早提出这一假说时那样。后来的证据则主要来自航天探测。度级干涉仪（Degree Angular Scale Interferometer, DASI）、高空探测（Boomerang），特别是威尔钦森微波各向异性探测器（Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, WMAP）和哈勃空间望远镜的深空观察直接支持了哈勃假说，并且大大改进了哈勃常数的值， $H_0=72 \pm 8 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$ ^[1]，使宇宙年龄定位在 (137 ± 0.2) 亿年。但是又激起了新的问题：与20世纪的信念相反，宇宙是非常平直的；宇宙中存在不知为何物的暗物质（占总质能的23%）和暗能量（占总质能的73%），普通物质只占4%。物理学家们称其为“一团乌云”。这些问题直接冲击着宇宙学和理论物理。20世纪80年代人们的印象是物理学家已掌握了一切真理，以至有人提出“科学已经终结”。现在包括理论物理学家在内都感到震惊而不知所措。守恒定律这次怎么修改？至今尚未见到有令人信服的解释。

航天探测对生命科学的触动最大。争论了数百年的老问题——生命起源问题的讨论又进入了新的热潮。400多年前布鲁诺曾因坚持天外有生命存在而被宗教法庭判处死刑（1600）。1950年代英国天文学家霍伊尔（F. Hoyle, 1915—2001）提出生命之源不一定是地球，至少不限于地球，这个非传统观念未被科学界多数人所接受，甚至被认为是妄想。20世纪60年代美、英一批科学家发起寻找地外智慧计划（Search of Extraterrestrial

[1] 百万秒差距，1Mpc = $3.085\ 680\ 25 \times 10^{22} \text{ m}$ 。



Intelligence, SETI) 没有得到各国科学界和政府科技机构的支持。进入航天时代以后, 1963 年应用射电天文学方法检测星际有机分子的特征谱线获得成功, 到 1979 年已认证出星际空间的有机分子 50 多种。位于电离氢原子区的猎户座分子云 (OMC-1 和 OMC-2, 在猎户座 θ , 中文名“伐二”附近) 和人马座 B2 分子云 (Sgr B2 大分子云, 总质量 3×10^6 个太阳, 分子密度 $10^8/\text{cm}^3$, 是银河系中星际分子最密集的区域, 距太阳 2.6 万光年) 是丰富的有机分子源, 从它的光线中可看到几乎所有已发现的星际有机分子谱线。那里甲醛 (H_2CO)、乙醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)、乙醛 (CH_3COH)、甲基丙炔腈 ($\text{CH}_3\text{C}_3\text{N}$) 和其他聚合芳香烃分子等有机物在星际云中比比皆是。法国科学家 1997 年对海尔-波普彗星的观测发现彗发中含有大量甲醇、甲醛和乙二醇。欧盟航天器 Giotto (1992) 对

哈雷彗星、Grigg-Skjellerup 彗星的近距观测都发现彗星核中有大量有机分子和水(冰), 甚至有氨基酸存在。最近, “星尘”探测飞船 (Stardust, NASA, 2004 年 1 月 2 日) 对类木彗星 81p/wild 2 (直径 2km) 彗发中的微粒分析更令人吃惊: 微粒 (约 $0.1\mu\text{m}$) 核心是岩石粒, 外面有厚层有机物包覆 (主要是醌, Quinone, 不饱和环二酮), 最外面是很厚的冰层。这意味着, 彗星先在有机物包覆中形成, 然后在水(冰)中冻结, 最后被抛入太空。故现在人们称彗星为“脏冰球”。

在航天空间探测的推动下, 一门新的学科——宇宙化学 (Astrochemistry) 已经诞生, 成功地检测到氢原子的精细结构——21cm 微波辐射谱线和含碳有机分子的谱线, 在星际分子云中发现了 130 多种有机大分子和氨基酸分子以及其他构成生命的前期物质。宇宙化学还研究这些有机分子

和水分子的形成机理，在星际空间中的传播过程，在年轻行星、小行星和彗星周围的聚集原因，在极低温、极低压和低密度状态下的可能化学反应，为了解生命的起源提供新的知识。

航天探测对生命科学思想产生了重大的影响。现在支配航天探索的信念是，构成生命的前期有机物质在星际空间中大量存在，凡有液态水的地方，只要稳定存在10亿~30亿年就可能有生命出现，不管她是源自宇宙某个地方的“泛种”(Panspermia)，还是发源于本地。生命的出现是大自然规律决定的，在任何适宜的环境中，只要时间足够长(地球上5亿~10亿年)，就可能出现生命。所以，找液态水是今后相当长时期内航天深空探测的目标。月球、水星、金星都没有液态水。近几年美国NASA和欧盟ESA的探测表明，火星过去有过大量的水。飞船观察还表明，木卫二(Europa)、土卫六(Titan)上可能有水。今天，人们不仅认同地外生命存在的可能性，而且竞相实施国家级、世界级的大科学工程去探测。

航天探测及其涉及的空间科学、宇宙学、生命科学、生态系统等都呼唤数学界的介入。数学对各学科的贡献是有目共睹的。陈省身先生有一首诗写出了数学的大旨：

物理几何是一家，共同携手到天涯。

黑洞单极穷奥秘，纤维联络织锦霞。

进化方程孤立异，对偶曲率瞬息差。

畴算竟有天人用，拈花一笑不言中。

自然界和越来越庞大的人造系统强烈需要关于复杂性的分析，归纳出普遍的规律或定律。可能还存在至今尚未发现的科学定律，支配着生命的发生和复杂系统的演化等自然现象。至今尚未有关于复杂性的严格定义，也未见有系统复杂性的普适度量。系统仿真分析是当代各学科研究和

工程设计工作的得力工具。要仿真就必须有系统数学模型。现有的数学方法和构造不足以描述生命过程的基本特征：生命起源、代谢、复制遗传等。近年来以计算机为基础的网络技术和人工生命研究有较大进展，或许能为复杂系统研究开辟新的道路。人们希望数学家们能参与建立新的数学体系，解决一些最基本的问题。例如，有多少个氨基酸聚合成蛋白后才能有活性？如何构造一个最简单细胞的数学模型？如何度量一个系统(如大分子、细胞、器官、大脑或人造工程系统等)的复杂性？

现代科学仅有400年的历史，时间还太短。我们对大自然的知识还很有限，多是相对真理，未知的东西比已知的要多得多。科学创新的机会很多。人类在地球上的历史至少还有40亿年，不尽后代将在前人积累的知识和成就的基础上继续前进。“科学已经终结”的说法是荒谬的。

到21世纪初航天飞船已访问过除冥王星以外的太阳系所有行星。美国计划于2013年发射“柯伊伯带-冥王星探测器”(Kuiper Belt Pluto Explorer)去就近观测冥王星和以远的空间。太阳系深空探测所取得的成就是伟大的，获得的新知识是人类极为宝贵的科学财富。探索空间的事业还刚刚开始。

若干年后，如果在火星、木卫二和土卫六上都找不到生命存在的证据，这是很可能的，人们的注意力必然转向太阳系以外的探测。这种向往已经开始显现。在银河系寻找有类地行星的运动已经开始。到2004年，各国天文台已宣布找到了120多颗有行星的恒星。2004年7月初美国太空探测研究所宣布，仅哈勃空间望远镜就单独发现了100多个太阳系外可能的新行星，使已“发现”的行星总数可能上升到220多个。

开拓边疆，扩大视野，探求未知，是人类的

不懈追求，是文明进步的原动力和科学创新的持久源泉，对个人、集体或国家都有不可抵抗的诱惑力。20世纪下半叶，人们走遍了地球表面的每一个角落以后，抓住了新出现的火箭技术的潜力，立即开始了对地球附近空间的探测。1961年4月12日苏联宇航员的第一次太空飞行，标志着载人航天时代的开始。过去40多年中为航天而牺牲的21位宇航员受到全世界人民的敬仰和悼念，不少人的名字已被铭记在月球、金星、火星上，在人类文明史上留下了芳名。

按钱学森先生的建议，在太阳系以内飞行叫“航天”，到太阳系以外的银河系是“宇航”。若干年后，将会有第一批宇航员飞出太阳系并安全返回，那将是一个新的宇航时代的开始。可以预想，一旦人们更大地开阔了眼界，在太阳系以外会发现比过去更多的未知现象，从而进一步丰富我们的科学知识宝库，审视和改进已经掌握了科学定律，开发更高超的技术，使人类科学技术事业迈进一个新的时代。

对大自然的探幽析微不能没有人的直接参与，机械和仪表在可见的未来还不能完全代替人的智慧。1960—1970年代的载人和无人探月收获的悬殊差别就是佐证。

飞出太阳系是人类伟大的理想。要实现这个理想，科学技术界面临四个重大理论和技术问题，要一步一步解决。它们是：（一）精密勘察和制作太阳系附近的星图；（二）设计制造喷气速度接近光速的火箭发动机；（三）长期飞行的生命保障系统；（四）突破光障。各国科学界已开始考虑和投入工作。

首先，要精密勘察太阳系附近的恒星和其他天体，探明和制作出距离10 l.y.^①以内的三维宇宙图。今天我们对太阳系的边缘如柯伊伯带(Kuiper

Belt, 50~500AU^②)和奥尔特云(Oort's Cloud, 103~105AU)中的天体分布情况所知甚少。有人猜测在半人马座比邻星(Proxima Centaurus, 已知距太阳最近的恒星, 4.2 l.y.)更近处还可能尚未被发现的红矮星(赫罗图中主星序上最冷的恒星)存在, 在它们的周围也可能找到类地行星。如果真的存在并能找到更近的恒星, 将大大增加实现宇宙航行的可能性, 可以建立通向银河系的驿站, 步步为营, 逐步扩大宇航可达范围。最近已有天文学家着手这一工作。在美国航天局的支持下, 一批天文学家开始了精细探测近邻恒星的计划(Research Consortium on Nearby Stars, RECONS)。探测和制作太阳近区的精密三维宇宙图将主要是天文学家们的任务。

实现到太阳系以外的宇航飞行的关键技术问题是设计制造喷气速度接近光速的火箭发动机。现有的火箭推进技术, 以化学燃料为能源, 最高喷气速度仅为每秒数千米。依齐奥尔科夫斯基公式, 火箭速度增量正比于喷气速度和始末质量比的对数。现有火箭技术能达到的飞船飞行速度在20km/s左右。即使充分利用地球的轨道速度(30km/s)和太阳在银河系中相对邻近恒星的运动速度(19.4km/s, 朝织女星方向), 要飞到半人马座比邻星这颗最近的恒星或离我们8.6 l.y.的天狼星(Sirius)要花400年。为使飞船和宇航员能在3~5年内往返, 必须加快飞行速度, 接近或超过光速(每秒30万千米)。设想若飞船速度0.8c, 喷气速度0.6c, 最大加速度2g, 加速和减速各一年, 在3~5年时间内即可往返。

要设计喷气速度接近和达到光速的火箭发动机最有希望的是氘核聚变反应堆, 排气速度可能达到 1.5×10^4 km/s=0.05c以上。用裂变反应堆, 喷气速度最高为12km/s, 是氘聚变发动机的

^① 光年, 1 l.y. = $9.460\,730 \times 10^{16}$ m。

^② 天文单位, 1AU = $1.495\,978\,7 \times 10^{11}$ m。