



国防科技著作精品译丛
航空航天系列

 Springer

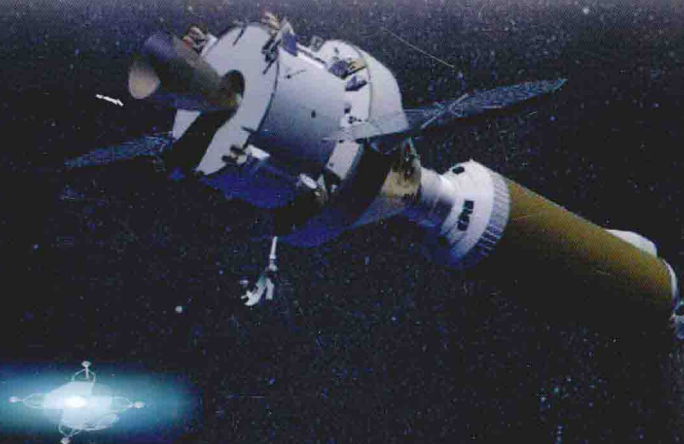
Deep Space Probes
To the Outer Solar System and Beyond
(Second Edition)

深 空 探 测 器 (第2版)

—— 为保护地球和人类永恒
探测至外太阳系以远

【美】 Gregory L. Matloff 著

车著明 译



国防工业出版社
National Defense Industry Press

深空探测器 (第2版)

——为保护地球和人类永恒探测至外太阳系
以远

Deep Space Probes

To the Outer Solar System and Beyond (Second Edition)

[美]

Gregory L. Matloff 著

车著明 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字: 军 -2013 -062 号

图书在版编目 (CIP) 数据

深空探测器: 为保护地球和人类永恒探测至外太阳系以远: 第2版/ (美) 马特洛夫 (Matloff, G. L.) 著; 车著明译. — 北京: 国防工业出版社, 2014. 7
(国防科技著作精品译丛. 航空航天系列)
书名原文: Deep space probes to the outer solar system and beyond: second edition
ISBN 978-7-118-09430-5

I. ①深… II. ①马… ②车… III. ①空间探测器 IV. ①V476

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 128355 号

Translation from English language edition:
Deep Space Probes by Gregory L. Matloff
Copyright©2005 Springer Berlin Heidelberg
Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved.
版权所有, 侵权必究。

深空探测器——为保护地球和人类永恒探测至外太阳系以远 (第2版)
[美] Gregory L. Matloff 著
车著明 译

出版发行 国防工业出版社
地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048
经 售 新华书店
印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
开 本 700 × 1000 1/16
印 张 17½
字 数 292 千字
版 印 次 2014 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
印 数 1—2000 册
定 价 86.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776
发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

序

2013 年 2 月 28 日 10 时 18 分,我国于 2010 年 10 月 1 日发射的“嫦娥”二号卫星在深空飞行突破 2×10^7 km;此前,“嫦娥”二号卫星于 2011 年 6 月 9 日下午 4 时 50 分 5 秒,从环月飞行轨道出征,经过 77 天的太空飞行,终于在 8 月 25 日 23 时 27 分,受控并准确地进入距离地球约 1.5×10^6 km 远的、太阳与地球连线的地球外延点——太阳与地球的万有引力与“嫦娥”二号运动产生的离心力在此点平衡——拉格朗日 L2 点的环绕轨道,开始了环绕 L2 点为期一年多的科学探测活动。随后,“嫦娥”二号卫星又成功飞越到远离地球 7×10^6 km 的图塔蒂斯(西方神话凯尔特人中的战神)小行星,在相距 3.2 km、速度 10.73 km/s 的条件下,“嫦娥”二号卫星上装备的相机拍摄了图塔蒂斯小行星的身影。由此可见,我国的深空探测技术已经在轨道设计、控制技术,燃料最优化分析利用、轨道衰变规律、深空导航等领域取得了突破性进展,这为我国探寻外太阳系行星奠定了坚实的研发基础。

为了寻找与地球相似的星球,了解太阳系行星的形成过程,进而认识地球环境的形成和演变,美国、俄罗斯、法国、德国等国家的天文学家们积极地探寻外太阳系行星。

据美国哈勃空间望远镜网站报道,2008 年 11 月 13 日,美国加州大学伯克利分校天文学家保罗·卡拉斯(Paul Kalas)研究团队,向全世界宣布:他们拍摄到了一颗名为“北落师门 b”行星环绕外太阳系的“北落师门”恒星运行的照片。“北落师门”恒星位于南鱼座,亮度为 1.16 星等,是黄道上四颗著名亮星之一(另三颗是金牛座毕宿五,天蝎座心宿二,狮子座轩辕

十四),“北落师门”恒星的质量为太阳的 2.3 倍,直径为太阳的 1.7 倍,距离地球 25 l.y. (1 l.y. = 9.463×10^{12} km, 中文称光年)。西方人称为 Fomalhaut, 阿拉伯文为“鱼的眼睛”之意。在深秋之际,我国北纬 50° 以南的广大地区都可以在飞马座以南、宝瓶座与摩羯座之间看见它的身影。“北落师门 b”行星距离“北落师门”恒星约 115 天文单位 (2012 年国际天文学联合会的定义: 1 个天文单位 (Astronomical Unit, AU) 等于 149597870700 m), 这比海王星到太阳的距离远 3.8 倍,是地球到太阳距离的 115 倍。“北落师门 b”行星的公转周期是 872 年,它的质量约为木星质量的 3 倍。“北落师门 b”行星环绕“北落师门”恒星运行的照片,是人类第一次实际观测到外太阳系行星环绕其恒星运行的踪迹实录。自 20 世纪初期首次证实外太阳系行星存在以来,截至 2011 年 5 月 6 日,全球天文学家已发现了 548 颗外太阳系行星 (它们的命名,是在恒星名称之后加上一个小写英文字母;如上面“北落师门 b”行星)。其中大多数都是用天体测量法、重力微透镜法等六种间接方法发现的;直接拍摄到外太阳系行星图像的只有几例,拍摄到外太阳系行星运动踪迹的只有“北落师门 b”行星这一例。另据 2007 年 Space.com 网站的报道,美国科学家发现了外太阳系第一个 5 行星系统——即 55 Cancri 恒星具有 5 颗围绕其运转的行星,而确认它的第 5 颗行星 (被命名为 55 Cancri f), 科学家们花费了 18 年时间。这第 5 颗 55 Cancri f 行星的发现,致使 55 Cancri 成为已知外太阳系已发现的拥有行星数量最多的恒星。55 Cancri 恒星距离地球 41 光年,它与太阳的质量和年龄大致相当。新发现的 55 Cancri f 行星质量约为地球质量的 45 倍,它的构造成分和外观与土星类似。55 Cancri f 行星公转一周需要 260 天,它距离 55 Cancri 恒星大约 1.17 亿 km,比日地距离稍近。55 Cancri f 是人类在外太阳系发现的第一颗全部轨道都在“宜居带”的行星。所谓“宜居带”,即行星距离其恒星一个远近合适的区域,在这一区域内,恒星传递给行星的热量适中,行星既不太热也不太冷,能够确保存在液态水,而水是产生生命的关键因素。因此,科学家们推测,环绕 55 Cancri f 行星运行的卫星可能有液态水存在,也许还有生命存在。这些探寻成果的公布,激发了人们对探寻外太阳系行星的兴趣,期待获得更多的相关资料。本书的问世,能够为人们了解探寻外太阳系行星的现况与发展,打开一条前行的通途。

本书译者是西昌卫星发射中心的高级工程师,长期从事航天数据处理工作,共获得部委科技进步奖 18 项、国家发明专利 3 项;2012 年,被遴选为航天高层次科技创新人才培养对象。我作为航天系统高层次科技创新人才培养导师,很高兴成为该书的第一位读者,并应邀为该书作序。综观全

书所论,我认为该书具有下述特点。

(1) 写作视野广阔,论述多学科问题。深空探测器是一种涉及多学科研制的高新宇航探测设备,它与人造地球卫星虽有一些相似之处,但是,因其需要以年为单位的飞行时间才能够到达探测目标区的特性,又具有许多不同之处:① 能源不同,因为深空探测器远离太阳,难以借用太阳能为其有效载荷供电,而需另寻电能;② 通信方法不同,深空探测器远离地球若干光年,需要采用与卫地通信不同的新型系统,才能够将它的探测成果发回到地球接收站,同样才能够接收到地球监控站的控制指令,实施有效探测;③ 控制/导航不同,当深空探测器从地球飞向远达若干光年的探测目标区时,需要不断地精确控制它的飞行速度和行进方向,稍有偏差,就很难到达预定的探测目标区,因此,深空探测器需要高精密的控制/导航系统。原书作者 Gregory L. Matloff 博士对上述三大不同点予以了精辟论述,并给出了可供参考的工程方案。

(2) 前瞻性思考,促进工程研发。多普勒摆动,是一种探寻外太阳系行星的常用方法。实际上,恒星本身也沿着一个小小的椭圆轨道环绕它与其行星的共同质心运行,从地球上观测这种轨道运动,恒星处在有规律地接近和远离地球;因多普勒效应之故,在恒星靠近地球的过程中,它到达地球的光线将发生蓝移;而在远离地球时,它到达地球的光线将发生红移。观测恒星光谱这种周期性的微小摆动,就能够察觉到该恒星附近必有一个难以见到的天体在牵引着它。显而易见,行星质量越大、离其恒星越近,多普勒摆动的效果就会越明显,这就便于我们较快发现这种外太阳系行星。原书作者 Gregory L. Matloff 博士参考了 340 篇文献,从中吸取精华,并予以推论,提出了一些前瞻性的外太阳系行星探寻法,可供工程研发参考。

(3) 引用相关诗文,增强阅读兴趣。例如,在论述“目前的太空推进器”之始,引用了美国诗人怀特·惠特曼 (Walt Whitman) 的《开路先锋之歌》中的诗句:“催眠! 动机是伟大的,我们将在疯狂的海洋上漂荡,我们要去风高浪急的大海,需用美国佬帆船驾驶者的全速跨越。”又如,在论述“难以置信的压缩版太空探索”之始,引用了勒维斯·卡诺 (Lewis Carroll) 的《奇妙世界中的艾丽斯》中的话:“这件事是真实的;她(艾丽斯)只有十英寸高,当她思考时面庞透亮,她的大小刚好通过那扇小门而能够进入可爱的天堂。”再如,在论述“21 世纪星际航行器”之始,引用了卡尔·瑟甘 (Carl Sagan) 的《宇宙的联系》(1979 年) 中的话:“在太空飞船上注视地球村和保存下来的大量地球上的光盘资料时,也许是我们这个星球的未来,年轻人会梦想成人后的某一天,幸运地赶上飞向其他恒星世界的飞船。”

在科学著作中,每一章之首,一般是采用精炼的语言,概述该章主要论述内容,作为该章的导读。本书作者 Gregory L. Matloff 博士一反常规,在每一章之首,引用相关诗文,以此导读,当读者品味他所引用的诗文时,自然会增强阅读兴趣,强化对所述内容的理解和印象。

值得一提的是,译者在忠于原书论述的基础上,将“Deep Space Probes”译成书名——《深空探测器》,将副标题“To the Outer Solar System and Beyond”结合贯穿全文的内容译成中文——“为保护地球永恒探测至外太阳系以远”,为读者翕然了著作目的,立意高远。

刘基余

2013年2月28日于武汉大学

译者序

新千年的曙光,为人类打开了探索宇宙、利用宇宙的航天梦想之门。为了学习世界先进航天科技,共同利用和开发太空,受国防工业出版社的委托,西昌卫星发射中心组织力量,专门翻译出版这本由 Gregory L. Matloff 博士 2005 年出版发行的英文著作 “*Deep Space Probes*” (《深空探测器》)。特别要说明的是:除几处字符印校错误经查证修改外(文中有注解),本书完全反映了原著(英文版)的内容,但专业词汇理解偏差难免。原著是深刻的、富有想象的,集中了作者和许多宇航人士多年的工作积累和前瞻性研究,通俗易懂,值得一读。受原版的作者和我的导师武汉大学刘基余教授对本书所做之序的启发,下面把我在此书翻译过程中的理解和感悟与读者分享。

我们生活在太阳系,享受着阳光和雨露,尽管宇宙是浩瀚的,地球不过是其沧海一粟,但就人类发展为宇宙中目前已知的唯一文明物种,说明人类是伟大的。暂且不管火星是否存在过或还存在生命,也不问生命是否来自太古的彗星核,人类目前为止是唯一已知的陆地文明!这就提出了问题:难道我们的世界是浩瀚的宇宙中唯一的文明世界(或生命世界)吗?如是,那是多么珍贵,怎么来珍惜和保护她(不管我们是不是宇宙唯一的文明世界,都应该珍惜和保护她)?如不是,我们应该去寻找外陆文明或生命世界,同时也为不可能永恒的地球世界寻找人类文明的永恒出路。

原著估计的宇宙有 200 亿光年大。这里不妨推测宇宙是无边的(大宇宙观),就像太阳系外有数不清的外太阳系,银河系以外有众多的外银河

系,同样人们认定的宇宙外也许会有众多的外宇宙,只不过它们彼此相距遥远,甚至连想象都不能到达罢了。译者认为时空观、光速与考虑的宇宙质量相关,光出不了它出自的宇宙,(光)能量也能在时间的长河中转变为质量,时间是无界的。

人类的探测能力和深空旅行能力毕竟有限,最多在十几光年以内。因为宇宙天体之间是相互作用的,要保护地球和其生态系统,就要弄清与地球密切相关的深空近邻。那我们能力所限的周围是什么样的呢?这里有个概况:太阳、地球和月亮及太阳系的行星这里就不多说了,对地球有一定威胁的太阳系的小行星所处的古裴带(Kuiper belt)离我们 $0.17 \sim 0.28$ 光天(光天——光1天走的路程,光速约为 30 万 km/s ,太阳至地球距离 1.5 亿 km ,光程约 8 min),太阳光停滞区离我们约 0.56 光天,太阳引力聚焦点离我们约 3.1 光天,对地球同样构成威胁的万亿彗星云带距离我们 $0.2 \sim 1.5$ 光年,离我们最近的外太阳系距太阳系 4.3 光年。至于我们所处的银河系,她有十万光年,外银河系又离银河系十万光年以上。

宇宙中的天体又是相互作用的,甚至可以想象宇宙是在相互作用中变化的。各种银河系、太阳系之间自然是相互影响的。太阳系的太古星云、万亿彗星云运行的长椭圆轨道受木星、土星等大行星引力的影响,轨道会偏移,会时不时地有小天体飞临地球。1908年,通古斯(Tungus)式的小行星撞击地球的爆炸,平均100年就有一次;6500万年前出现的彗星撞击地球造成恐龙大灭绝的特大爆炸事件,平均7000万年就有1次。2013年2月15日,2012DA14小行星飞临地球约34000 km ;同时陨石溅落俄罗斯,造成千余人受伤。两个事件同一天出现,世界震惊!人们惊呼:似乎人类文明的命运是由宇宙掌握着!但人类智慧已经高度发达,我们不能总是听天由命,应该居安思危。好在这些事件的主体不是特别大,几百米或几千米直径的小天体,且它们是在一定时间内有规律运动着的物体。为了保护地球,为了人类永恒,当今人类文明可以探索宇宙,建立地球对临近的小行星或彗星观察的前哨阵地;并思考设计有犯地球的小天体的可行应对之策(核爆炸轰偏小天体轨道、深空火箭长时间喷射反推肇事天体或生物分解肇事天体等是可选方案)。

万物是变化的和有生命的,地球及其太阳系也不例外,尽管这是很遥远的事情,不管如何,人类文明(地球生态)不应消失在太阳系的消亡中,我们应该在这之前,设计好试验好我们的世界方舟,在茫茫宇宙中寻找人

类永恒的乐土,并播撒人类文明的种子。这就是本书的原书和我将其翻译成中文出版的初衷。

车著明
2014 年 5 月

致谢

感谢所有梦想环绕地球太空飞行和去其他恒星世界太空旅行人士的关切。太空飞行出自神话和科学幻想作品，创意来自太空宇航先驱，这些先人给予了人们进行太空飞行的哲学与技术铺垫。在此向他们致以崇高的敬意！

感谢对这本书所有版本做出贡献的人们。假如您觉得此书令人享受、美妙和信息丰富，许多人值得感谢。特别是要感谢 Brice Cassenti 和 Giovanni Vulpetti，他们熟读了手稿。还要感谢原创出版社的工作人员 Clive Horwood, Chairman of Praxis 和 Neil Shuttlewood，没有他们的努力，此书英文版将难以出版。特别感谢为中文版出版编辑、审稿做出贡献的武汉大学的刘基余老师教授，国防科学技术大学的易东云教授，国防工业出版社的编辑同志。需要声明的是，译者对中文版书中所有编译错误负责。

参与此书编著的其他作者知识面涵盖太空航空学、物理学、天文学等，其中包括 Buzz Aldrin、Edwin Belbruno、Alan Bond、John Cole、Robert Forward、Giancarlo Genta、Martin Hoffert、Anders Hansson、Les Johnson、Eugene Mallove、Claudio Maccone、Vincenzo Millucci、Seth Potter、Carl Sagan、Salvatore Santoli、Peter Schenkel、George Schmidt、Gerald Smith、Jill Tarter、Arthur Upgren 和 Jeffrey Van Cleve 等，所有这些人和其他引用文献的专家，都是值得大家感激的。

在每章的开头引用了诗歌和散文用以增加正文的梦幻感，这些诗歌和散文出自 1968 年 Olaf Stapledon 的《上帝创造的第一个星球和人类》，现在由大卫出版社再版发行。

第 1 章开头的引用出自 Loren Eiseley 的《无形的金字塔》，感激纽约的 Simon 和 Schuster 授权我引用它。

第 2 章引用出自 Ken Croswell 出版的《行星咨询：外太阳系的伟大发现》。Arthur C. Clarke 的经典之作《太空的前景》是第 6 章开头的引用出处，是在纽约的出版代理商 Scovil、Chichak 和 Galen 许可的。第 7 章和第 13 章的引用出自 Carl Sagan 的《宇宙的联系》，这本书由 Jerome Agel 出版，后来由 Carl Sagan 重新确定标题，版权由 Carl Sagan 和 Jerome Agel 拥有，引用是由纽约的 Jerome Agel 授权。

开始第 8 章最好的方法是引用 Poul Anderson 的小说《第十九个零》(1970 年由 Doubleday 出版社出版)。引用许可由纽约的 Random House 公司授权。

第 10 章引用出自 Robert Ardrey 的《非洲的起源》，由第二作者的儿子 Daniel Ardrey 授权。

第 12 章引用出自 Arthur C. Clarke 的《太空奥德赛》(版权由 Arthur C. Clarke 和 Polaris 出版公司拥有)，引用许可由纽约的 Penguin Putnam 公司的分公司 Dutton Signet 授权。

许多技术事项在此本书中(包括附录中)集中讨论。这些事项起源于太空推进技术项目，是由位于华盛顿市的 NASA 太空科学办管理。由亨茨维尔的 NASA Marshall 太空飞行中心的太空推进技术项目办公室直接操纵管理，项目目标是发展太空推进技术，实现近期和中期 NASA 太空科学探测任务目标，显著降低成本，减少探测器质量和飞行时间。

前言

Gregory L. Matloff 博士所著的此书出版后反映良好，它涵盖了多学科研究成果，并涉及当前宇航领域的探索和对未来的研发方向。但本书不像传统著作那样是封闭的，体现了以下三个方面的开放性：第一，主题的展开是前瞻性的；第二，给读者最新参考；第三，清楚指出了工程研究领域能够成为近期研究的课题。

为方便学者研究，书中的练习能够转换成小单子或便条，可以用来表征许多现代符号和代数的计算系统，便于桌上、掌上电脑运算。作者和参考文献提供的知识库，能快速有效地变成学习资料。多于 340 种参考资料为专家也为学者提供了可供选择的扩充各学科知识的基础材料，尤其是本书作者，曾在多个太空宇航部门工作几十年，把丰富的专业基础知识和探究毫无保留著于书中，与读者共享与探讨。

系统深入地研究这本书，将为读者提供超量的太空旅行的奇思妙想，引起您的兴趣，引导您参与探索，也将对未来全球社会产生深远影响。

如果有意识的生命在太空最终慢慢地、无情地延长，并且没有限制，则适当的科学精神首先在人类大脑中得到提升是十分重要的。带着这种兴奋的开始，再通过综合的阅读，此书具有十分积极的作用。

—— 国际宇航学会 Giovanni Vulpetti

2000 年 9 月 1 日

第 2 版序言

在准备此书第 2 版时，我回顾了第 1 版的序言，并反映在近几年对深空理解的改变上。作为一个纽约人，我生活在曼哈顿岛几英里的地方，非常警觉我们文明的脆弱性和长期目标的需求，长期目标能够联合各种人类文化，不能分开它们。

人类活动延伸到宇宙的目标：探索宇宙的起源和在宇宙中定居生活的可能目的。寻求与类银河系或更大的星系建立联系，为防止彗星和小行星撞击地球，我们必须开发成熟的外陆生活乘务系统。

从这样崇高的目标出发，我一直尝试出版关于机器人和人类太空旅行的最新书籍。此书涵盖了：① 我与多才多艺的伙伴，在 NASA Marshall 太空飞行中心 (MSFC) 1999 年 — 2001 年夏天期间的工作经验；② 作为 NASA 受让人或咨询者的经历；③ 回顾了最近国际会议和发表在前瞻性会议上的论文；④ 第 2 版合并了由两位专家 Conley Powell 和 Travis Taylor 合著的附录。上述两位先生是位于亚拉巴马州的亨茨维尔航空航天工程学士培训系统的高级科学家。除第 6 章卷首的插图是专门为本书准备的和第 14 章卷首的插图是由 NASA 合同 H-29712D 资助外，其余各章卷首的插图是由 NASA MST-C 合同 NAG8-1859 资助。增加的第 14 章描述了我与我妻子 Bangs 女士在发展未来星际探索的全息信息片上的基金项目合作。正如更多章节描述的，在光帆宇航、全息信息应用方面有推动作用。

尽管该版更新了许多原始正文，我们还是努力保持原版的风格。本书含有丰富的吸引宇航人士的机械和电子方面的细节，其中的练习也许可被教师或年轻工程师使用。在你能发明驶向仙女星座的星际驱动器之前，也

许它对你理解此领域工作的数学推理有较大帮助。

如前面提到的,持续改进要素,需要有一个全盘认识的过程:深空探测的目的星应是与人类现在生存的地球有共同点的行星,人类的活动扩充到太空也许可以这样认为:本星人员又回来了。相当可能,地球生物必须大量地离开地球,而目的是为了保护她。地球生物离开地球,也许意味着是以某种方式回家,回到他们的祖先在地球形成前生活的地方?假如人类离开现在的星团或陆地,是否意味着播撒人类的种子到其他行星或星系。为此,人类必须学会构造,联系寻求目的地的聚焦机制的更多方式,认识探索走出地球并以相同方式返回的机理。全球应在宇航需要的海量的技术、庞大的财政和精神挑战方面付出更大的努力。我们对未来充满期望,应该面对挑战,为实现人类命运的改变,必须放弃政治、宗教和文化的分歧。

第 1 版序言

根据最近 NASA 的太空探测任务分析,我有点怀疑人类及其机器人能否到达太阳系的深空和太阳系外的广大银河区域。许多有关星际间飞行的书籍在市场上很畅销(其中一些是我参与编著的)。

但这本书在两个方面是独具匠心的。首先,我试图做到尽可能地结合航天的最新发展动态,它吸收了我与多才多艺的伙伴在位于亚拉巴马州亨茨维尔的 NASA Marshall 太空飞行中心 (MSFC) 1999 年至 2000 年夏天期间的工作经验,并回顾了国际会议和发表在前瞻性会议上有关论文的内容。

几年前,作为个人,可以知晓星际间探测研究的最新动态;但现在这个领域已经爆炸式地发展,个人要获取星际间探测的全面视角已经不可能,在此很抱歉没有参考引用你很有份量的有关星际间探测的研究论文。

因为此书的潜在读者肯定包括宇航专业人士,我毫不犹豫地考虑深空探测技术的各种性能和观测方法方面采用了较深的数学方法,也加进了解算数学方法方程式的应用算例分析。希望能够对工程物理专业人士有所帮助,其中的练习也许可被有兴趣参加深空探索的工程物理专业大学生学习。在你最终发明星际驱动器之前,也许发现它对你用数学模型表达你心中的设想有较大帮助。

至于还有许多其他方面的建议,重要的是持续改进要素,这也许需要一个全盘的认识:目的星应是与我们地球有共同点的行星,我们的活动扩充到太空也许反映这样的事件:本星人员又回来了。相当可能,地球生物必须大量地离开地球,而目的是为了保护她。也许我们是以某种方式回家,

回到人类祖先在地球形成前生存的地方。假如我们离开星团或陆地，意味着播撒人类的种子到其他行星或星系？为此，人类必须学会构造，联系寻求的目的地的聚焦机制的更多方式，认识探索走出地球并以相同方式返回的机理。全球应在宇航需要的海量的技术、庞大的财政和精神挑战方面付出更大的努力。我们对未来充满期望，应该面对挑战，为实现人类命运的改变，必须放弃政治、宗教和文化的分歧。