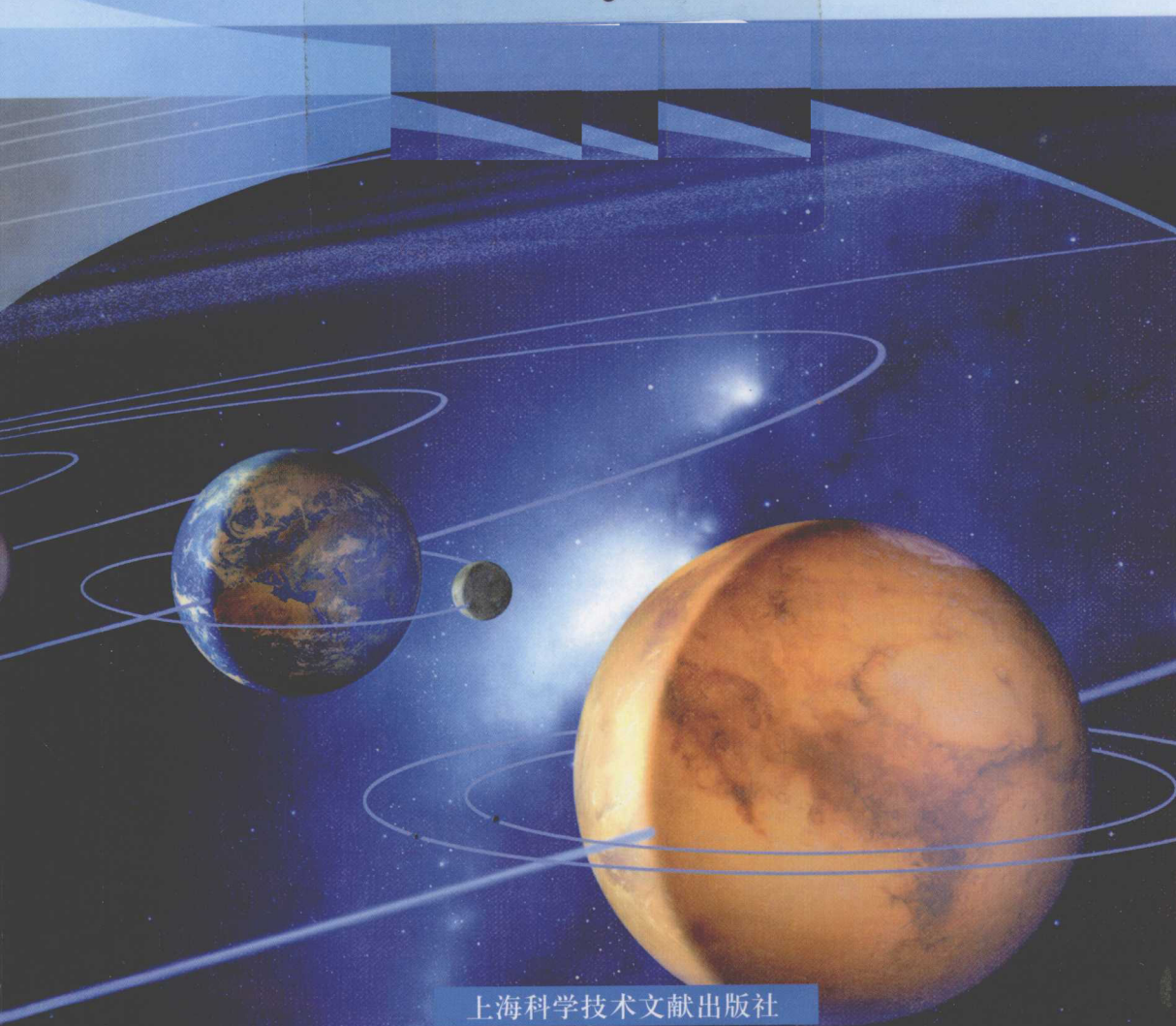


科学图书馆 · 科学基础

行星运动

[美] P. 安德鲁·卡拉姆博士 本·P. 斯坦 著 马晶 译

Planetary Motion



上海科学技术文献出版社

“科学基础”丛书

行星运动

【美】P. 安德鲁·卡拉姆博士 本·P. 斯坦恩 著

马 晶 译

上海科学技术文献出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

行星运动 / (美) P. 安德鲁·卡拉姆博士等著; 马晶译. —上海:
上海科学技术文献出版社, 2010. 5

(科学基础系列丛书)

ISBN 978-7-5439-4340-7

I. ①行… II. ①P… ②马… III. ①行星—天体运动理论
—普及读物 IV. ①P134-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第062566号

Science Foundations: Planetary Motion
by P. Andrew Karam and Ben P. Stein

Copyright © 2009 by Infobase Publishing

Simplified Chinese copyright © 2010 Shanghai Scientific & Technological Literature
Publishing House

All Rights Reserved
版权所有, 翻印必究

图字: 09-2010-172

责任编辑: 陶 然
美术编辑: 徐 利

科学基础·行星运动

[美] P. 安德鲁·卡拉姆博士·P. 斯坦恩 著 马晶 译

出版发行: 上海科学技术文献出版社

地 址: 上海市长乐路746号

邮政编码: 200040

经 销: 全国新华书店

印 刷: 昆山市亭林印刷有限责任公司

开 本: 740×970 1/16

印 张: 5.75

字 数: 91 000

版 次: 2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5439-4340-7

定 价: 25.00元

<http://www.sstlp.com>



目 录

1	10 亿英里之外一击入球	1
2	最早的天文学家	14
3	更好的定律	28
4	行星运动定律	39
5	不仅仅是行星	56
6	其他的恒星系	65
7	宇宙的其他部分	75
图片版权提供		84
译者感言		86



10 亿英里之外一击入球

2004年6月30日晚8:54分,在美国加利福尼亚州帕萨迪纳市的喷射推进实验室任务控制中心里,科学家和工程技术人员们正在紧张地盯着眼前的仪器。从“卡西尼号”(Cassini)飞船发动机点火进入土星轨道以来,时间已经过去了一个半小时。在这90分钟里,飞船发出的无线电波穿过整个太阳系传回地球。如果飞船发动机点火后能够成功进入土星轨道的话,那么这将是“卡西尼号”在太空旅行了7年来所取得的最新成就。而对于那些“卡西尼号”飞船的建造者们以及为它能到达外太阳系而精心谋划旅行路线的科学家们来说,这次点火的成功也是一次伟大的胜利。

“卡西尼号”飞船于1997年10月15日点火升空,负责发射的是当时世界上最大的火箭“太阳神4号”(Titan IVB),“卡西尼号”雄踞其上。由于飞船的重量高达1.2万磅(超过5500公斤),高度超过20英尺(6米),因此这一庞然大物根本无法从地球出发直接到达土星。相反,它只能采用绕道旅行的方式,一路经过金星、地球和木星前往土星。当然这种绕道旅行的目的并不是为了取景拍摄,而是为了借助这些行星的引力场将“卡西尼号”使劲地拖向它们,以此增加飞船飞行的速度,使其快速到达外太阳系。不过,每次重力辅助机动都是有风险的。一次,“卡西尼号”飞船为了获得更快的速度按照预定机动动作从地球身旁擦身掠过,距离只有727英里(1170公里)。

这样的“亲密”接触着实让人吓了一跳。而这些机动动作都只是为了让飞船能够在尽可能短的时间里到达外太阳系,把尽可能多的科学仪器设备送到那个虽然遥远但却美丽迷人的星球。使这一切成为可能的是一群聪明勤奋的科学家和工程技术人员、许许多多的高速计算机以及人类对行星运动的详细了解。

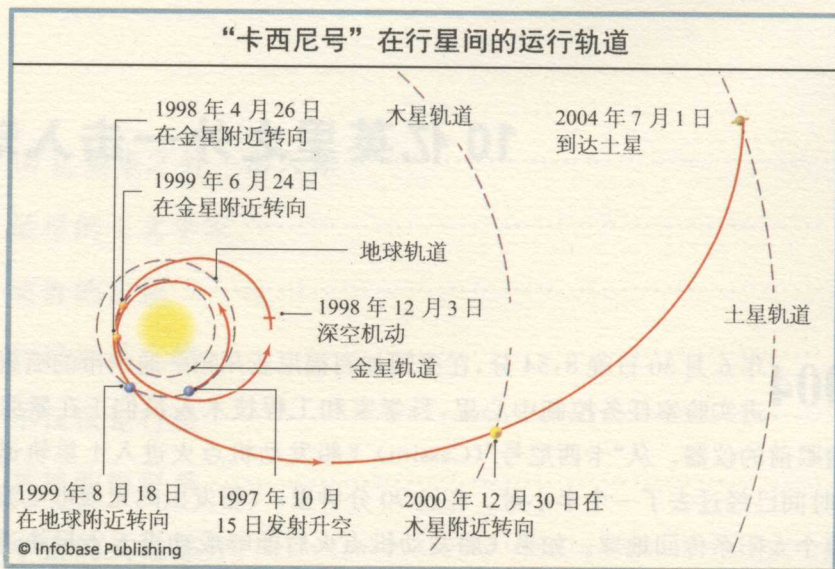


图 1.1 “卡西尼号”飞船并不是从地球直接飞向土星的,而是借助行星引力场在金星、地球、木星附近转向。

要想知道人类是如何学会向太阳系中的另一颗行星发射飞船的,那么我们就必须回到几千年前的那个时候。那时的人们还只能望天兴叹,对夜空充满无尽的奇思遐想。他们想知道那些闪闪发光的星星是什么东西?为什么会动?他们发现有些星星之间的位置是固定的,而有些星星则会时不时地在空中变换自己的位置。也就是从那时起,人类早期的天文学家们意识到,在这些变换位置的星光中有些不是恒星,而是距离我们更近的行星。科学家们花了几百年的时间来研究这些行星的运动规律,其间破解了无数的复杂难题。大概在几千年后,他们才最终认识到这些行星并非围绕

地球旋转,太阳才是它们运转的中心,它们的运行轨道就是它们围绕这个黄色星球运行一圈所走过的路线。于是,借助数学运算的方法,人们能够预测行星的轨道,也能算出未来某一时刻这些行星在轨道上所处的位置。只有在了解了行星运动的规律以后科学家们才能让飞船飞往任意一个行星。

“卡西尼号”飞船并非是人类对外太阳系所做的第一次探索。在20世纪70年代和80年代,人们曾向海王星发射过“先驱者号”(Pioneer)和“旅行者号”(Voyager)两艘飞船。同时,“卡西尼号”飞船也并非是第一个进入太阳系外缘巨行星轨道的飞船,早于它几年前,“伽利略号”(Galileo)飞船就已成功进入木星轨道。不过,“卡西尼号”飞船是人类有史以来发射的最大的太空探测器,也是第一个拜访土星的探测器(此前的“先驱者号”和“旅行者号”飞船只经过了土星的卫星)。与此同时,在“卡西尼号”飞船上还搭载有“惠更斯号”(Huygens)探测器。它是第一个在外太阳系的主要卫星“土卫六”上着陆的人造物体。为了实现这一目标,人们计划了几十年,有些人甚至穷其一生来设计和完成这一目标。这也难怪控制中心里的气氛有些紧张。

人们总是容易把一艘飞船的运行轨道想象成一条曲线,曲线的一端从地球出发最终到达目的地,就像是高尔夫球选手挥杆击球入洞时球在空中划过的轨迹。其实不然。“卡西尼号”飞船的运行轨道更像是在星际之间所做的弹球游戏:在围绕金星打过两个擦边球之后又绕着地球打出一次旋转球,最终克服了内太阳系的引力而得分。此后“卡西尼号”又从木星上反弹回来,经过长长的旅行到达目的地土星后弹起落入“尘埃”。整个过程,尤其是如此精彩准确的结束动作完全依赖于科学家们对行星运动的详细了解。为“卡西尼号”的精彩演出作出恰当的比喻并非难事,但更贴切的也许是下面这个例子:如果我们开车去市区的另一边拜访朋友的话,也许我们会比预定时间提前或迟到5分钟,而“卡西尼号”在经历了7年的穿越整个太阳系的旅行后却能准时到达,这比我们去附近任何一个购物中心还准时。

“卡西尼号”飞船不是第一个在太阳系中玩弹子球游戏的飞船。事实上,对于任何一艘想要到达比火星更远的星球的飞船来说,它们的旅行都和“卡西尼号”一样。甚至对到达金星和水星的飞船来说,它们所做的绕道飞行也是非常人所能想象的。当然,这种在星球间弹跳跨越的必

要条件是人们对行星运动的了解,但更重要的是,伴随其间的许许多多的数学运算。你知道前往月球旅行要用到多少次数学运算吗?在历次的探月之旅中,美国之所以能够领先苏联,一个主要原因是得益于它先进的计算机技术——美国人可以利用计算机计算出前往月球的旅程中一切需要计算的问题。对外太阳系边缘地区的探索将会进一步推进技术的发展。



行星是怎样形成的?



宇宙浩瀚无垠,“波浪”起伏,这些“波浪”就是许多的块状物(比如恒星和行星等天体)。那么这些块状物最初是怎样形成的呢?寻找答案的最佳地点就是我们所处的太阳系。

在故事开始时,太阳系只是一个形成于 50 亿年前或者更早的云团,云团由气体和灰尘组成。它受到多种多样的力的作用——重力将云团向内拉,磁场遍布其中,气体分子又向外推开彼此,使云团膨胀变大。大约在 50 亿年前,有什么东西也许是附近某个星星的爆炸使得云团分崩离析。

云团在分裂的过程中开始快速旋转,并且越转越快,最后拉扁变成了一个“飞盘”。盘子的中心变得炙热,形成了我们见到的太阳。在“盘子”四周,气体和灰尘开始聚集形成大的粒子。因为气体在热力的作用下消失散尽,因此靠近“盘子”中央的物质只剩下石块和金属,于是形成了类地行星,如水星、金星、地球和火星。“盘子”的外沿也有金属和石块,但除此之外还有冰和气体,于是最终形成木星和海王星这样的气体巨星。“盘子”中央的部分不断压缩,并且在压缩过程中温度越来越高,最后产生氢融合,太阳由此诞生。

星际弹球游戏

每一个前往外太阳系的太空探测器都要做绕道旅行以便到达最终的目的地。“卡西尼号”飞掠了金星、地球、天王星后到达土星。“伽利略号”、“探险者号”、“旅行者号”、前往冥王星的“新地平线号”(New Horizon)、前往太阳的“尤利西斯号”(Ulysses)以及前往其他彗星和小行星的探测器都使用这种重力辅助机动来获得加速,改变方向。下面就让我们看看科学家们这么做的原因及具体方法。

做这种星际弹球游戏的原因有两个:第一是为了探索宇宙中更多的地方,第二是为了更快地到达目的地。科学家们往往利用每个行星的引力及其在太空中的运动规律同时实现上述两个目标的,可谓“一箭双雕”。

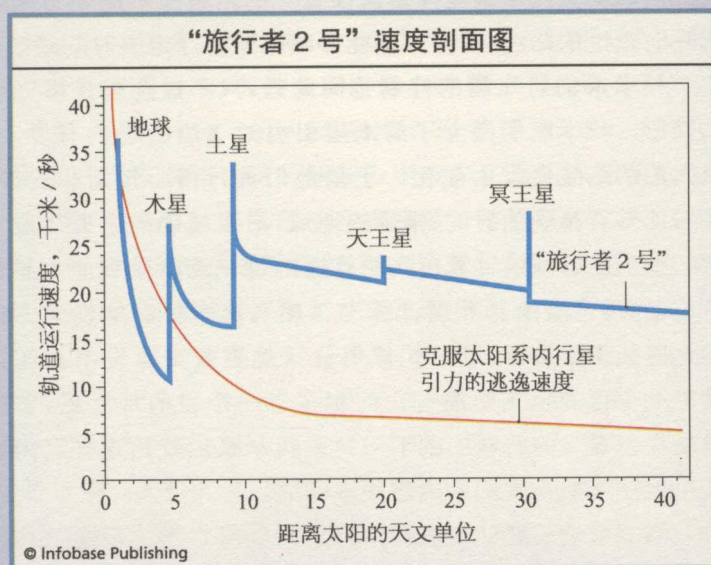


图 1.2 “旅行者 2 号”的速度剖面图表明行星是如何影响飞船的速度和方向的。

“旅行者2号”曾经拜访过木星、土星、天王星和海王星4个行星。不过这4个星球可不是站成一排，老老实实地等在那儿的。相反，它们分散在太阳系各处，每个行星都以不同的速度在太阳系中行进着，并且在“旅行者2号”经过它们身边时用力地拉扯着它。这种“拉拉扯扯”不仅改变了飞船的方向，而且还为它提高了速度。

举例而言。一家人正在为他们读高中二年级的女儿举行16岁生日晚会。当她进门时，她也许想直接走进餐厅，因为她的朋友们都在那儿等着她开晚会。但是她刚一进门却被她的妈妈拦住了，妈妈告诉她先把衣服放进壁橱，于是她改变了路线朝壁橱走过去。之后她又向餐厅走去，但她的奶奶却在娱乐室将她拦下。奶奶说女孩已经长高了，之后又拉住她的手给她讲故事，最后又让女孩儿到房间另一头儿去和爷爷说说话。在女孩儿最终到达餐厅前，她还有可能被屋里其他人拦住，而这些人又可能拉着她往别处去。所以女孩儿从进屋开始前往餐厅的路线是不断地与亲戚们打招呼时走过的路线，这些人都能影响她朝餐厅走去时的路线。

科学家们对飞船的控制也同此理，只不过他们是事先规定好的而已。科学家们完全了解木星引力对飞船的影响有多大，也知道飞船的路线会发生变化。于是他们进行精心策划和安排，以便飞船能够在精确的时间、精确的地点，沿着精确的轨道飞过木星身旁。他们能够准确计算出飞船轨道的每一点所受到的木星引力究竟有多大，也能由此准确计算出飞船飞离木星时的精确方位。利用这些知识信息，科学家们能够让飞船在脱离木星引力作用时瞄准下一个目的地飞驰而去。而到了下一个目的地之后，它又能被重新导引着飞向行程中的下一站。科学家们就是这样利用行星及其引力让飞船在太阳系中穿梭旅行的。

科学家们还能让飞船利用行星来获得加速。事实上，对“伽利略号”和“卡西尼号”这样的庞然大物而言，没有哪个发射火箭能够让它们获得足够快的速度，在较短的时间内到达外太阳系，所以科学家只能利用行星来改变它们的方向，为其提高速度。

当飞船在太空中飞行接近一个行星时，受到行星引力的作用

力,飞船向这个行星坠落。在坠落的过程中,飞船速度变得越来越快,就像一个落下的苹果速度会变快一样。但是飞船的预定轨道会在它坠向行星的某一点上让它从行星旁边擦身而过,脱离行星引力的影响。此刻飞船的速度会减慢。根据能量守恒定律,如果科学家们仅仅是让飞船与行星擦身而过的话,那么飞船的速度与它刚刚发射升高时的速度是一样的,也就是说,在没有外力对飞船进行拉扯时,飞船在整个飞行过程中的速度不会有所改变。

我们知道,行星也是不断运动的,如果行星在太空运动过程中,飞船始终在行星后侧飞行的话,那么飞船就会因行星的引力提高速度。飞船的速度中有一部分来自行星围绕轨道旋转时的速度。当飞船飞离行星时,它显然失去了在行星引力作用下所获得的速度,但是却保留了行星沿轨道运行时的速度。这就使得飞船能够在加速后前往下一个遥远的星球,其间只需耗时几年而不是几十年。从这个意义上来说,重力辅助机动就像球朝一个移动的物体扔出后又被弹回来一样。以火车为例。一个每天乘火车上下班的人正站在月台上,而火车正以每小时 50 英里(80 公里)的速度向他驶来。站在月台上的人以每小时 30 英里(45 公里)的速度向迎面开来的火车掷出一球。球在击中火车正面后以更快的速度弹开。让我们分别从火车和球的角度来看一下这件事。从火车的角度看,球击中火车时的速度是每小时 80 英里(129 公里),也就是球的速度每小时 30 英里,再加上火车的速度每小时 50 英里。那么球在火车上弹开时的速度也是每小时 80 英里。但是对于月台上的人来说,由于火车以每小时 50 英里的速度前进,因此每小时 80 英里的球速变成了每小时 130 英里(209 公里)。从火车的角度看,球不过是击中后又弹开了,但是对于月台上的人来说,球的速度却从每小时 30 英里变成了 130 英里。飞船的速度也是一样的道理。行星的引力和行星本身的运行都使飞船的速度获得提高,只不过因引力而获得的速度后来又失去了,而因行星本身运动所获得的速度则得以保留。

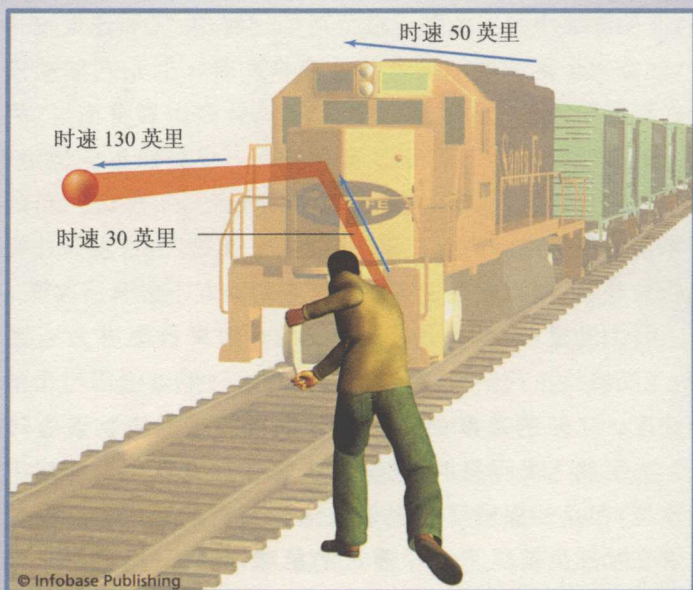


图 1.3 重力辅助机动可以通过朝迎面开来的火车投球这一例子加以说明。

第一次尝试

虽然人们对行星运动规律的了解已经有几百年的历史,但是人类却刚刚能够利用这些知识建造飞船在太阳系旅行。确切地说是在 1959 年人类才让第一艘飞船飞离地球轨道进入太空。当年,苏联发射的“月神 2 号”(Luna 2)探测器环绕月球进行飞行,并对月球背面进行了拍摄。这次的飞行不仅是当时“冷战”状态下的一次宣传上的成功,它更是传回了无价的科技信息——人类第一次见到月球背面的样子,也是第一次意识到月球背面的景象与我们在夜空中看到的月亮完全不同。此后,美国和苏联又相继进行了其他的探月飞行。到了 20 世纪 60 年代,探月成了驾轻就熟的事情,至少对

于无人飞船来说确实如此。

现在人类已经能够向太阳系的外围发射飞船,因此如果再有人以为探月是件难事的话可能会被人嗤之以鼻。但是,万事开头难,探月也不例外。月球沿轨道运行的速度是每小时 2 288 英里(3 682 公里)。在前往月球的 3 天的旅程中,月球沿轨道运行的距离是 8 万英里(128 748 公里)。所以如果单单只是瞄向月球的飞行,那么当飞船到达月球轨道时,它肯定会远远地落在月球后面。这就意味着负责操控飞船的专家们不得不“引领”月球到达飞船进入月球轨道时所处的位置,而不是让月球处于飞船发射时所处的轨道位置。这还只是探月过程中所遇到的问题的一部分,而且是最简单的部分。

当人们将石块扔向空中时,石块会飞出、减速、到达最高点后在地球引力的作用下落回到地面。还没有人能有足够的力气将石块快速扔出以逃脱地球引力的作用。同石块一样,飞船在离开地球时也会受到引力的影响,只不过由于其速度很快所以不会坠落回地球。飞船在离开地球进入太空后速度会逐渐减慢,并且距离地球越远速度越慢。在飞船到达一定的位置上时,月球对飞船施加的引力作用会超过地球,此时飞船会因坠向月球而开始加速。如果想让飞船按时顺利到达指定目标,那么这种速度上的变化就必须被考虑进去。如果错过了最佳发射时段,任务就会失败。因为发射早了,飞船进入轨道时,月球还没有到达指定会合地点;发射晚了,则会合的机会就会错过。如同《金发歌蒂和 3 只小熊》(Goldilocks)中的歌蒂不吃热的、不吃凉的、只吃不凉不热的东西一样,一切都必须拿捏得当,否则前功尽弃。事实上真正的太空飞行还远不止如此,因为太阳系中的每一个天体都会对飞船施加引力作用。虽然目前人们在进行探月飞行时只需考虑太阳、月亮和地球这 3 个天体,但就是这三者也足以使问题变得错综复杂。光是飞船本身那些零零碎碎的硬件就够人们烦恼的了,而一旦再在这些硬件里面坐上人,那就更让人殚精竭虑了,他们务必要保证不出一丝一毫的差错。20 世纪 60 年代美国在计算机领域方面所取得的优势使得美国宇航员能够顺利飞往月球。

好像觉得飞往月球遇到的困难还不够,1961 年,苏联又把目光瞄向了金星。由于这次的飞行不仅时间长,而且还要前往一个运行速度更快、距离太阳更近的行星,所以苏联一连试验多次才获得成功也就不足为奇了。事实上,直到 1963 年,苏联的飞船才成功地从金星旁飞过。在金星之后,人类又

先后拜访了火星、木星、水星以及外太阳系。每次飞行科学家都不得不解决越来越复杂的计算问题,其间涉及的行星越来越多,运算越来越复杂。这些太空飞行的最高峰是20世纪70年代和80年代的“旅行者2号”(Voyager 2)探测器所做的伟大旅行。“旅行者2号”飞掠了木星、土星、天王星和海王星。在20世纪90年代和21世纪初,美国国家航天航空局(NASA)的“伽利略号”和“卡西尼号”飞船又开始了对木星、土星及其卫星的深层次的探索。每一次的飞行都为星际航行开辟了新的天地,而每次飞行的成功也完全取决于人们对飞船和目的地星球在未来几年后所处位置的准确预测,同时还取决于对在太阳系行星引力的交互作用下飞船的行进路线的精准设定。

近天体飞行和轨道

人们对一个行星的研究常常都是从近天体探测飞行开始的,也就是说让飞船从被探索的行星旁擦身掠过。也许飞船在太空中飞行的时间是数月或数年,但科学家们只有几个月,甚至有时几个小时的时间对重要的观测内容做近距离研究。花费数十亿美元和数年的时间仅仅是为了有几个小时的时间与一颗行星做近距离接触,这难道不是巨大的浪费吗?当然不是。因为能够到达一颗行星本身就不是件容易的事,更何况在那珍贵的几个小时的时间里,我们有机会对其进行仔细的研究,而这些研究是我们在地球上所无法进行的。科学家们在这么短的时间里不仅获得了大量宝贵的信息,而且还能通过近天体探测飞行将一些重要的仪器设备投入到对行星的研究当中。由于包括燃料在内的整个飞船的重量是限定的,因此每增加一磅的燃料就意味着要减少所搭载的仪器的重量。如果我们想让飞船不是做近天体探测飞行而是进入行星轨道做绕行飞行的话,那就意味着飞船必须携带更多的额外燃料。对于飞船而言,额外的燃料意味着搭载更少的设备,也就无法进行更多的科学研究。事实上,飞船就像我们外出旅游时塞得满满的汽车一样,每个角落都装满了东西。如果你还想带上狗的话,那么就非得让一个人留下;如果你还想在车载冰箱里再放上2升苏打水的话,那你就得把牛奶拿出去。

不过进入行星轨道做绕行飞行也有它的优势,毕竟近天体探测飞行只

能让我们对行星的外貌有一个大概的了解,而围绕行星进行数月或数年的飞行则让我们对其进行更仔细的观察,获得更多的信息。这也就是为什么科学家们有时会决定将飞船送入行星轨道,比如“卡西尼号”、“伽利略号”以及其他的火星和金星探测器。不过,想让飞船进入木星和土星轨道可不是件易事,因为这两颗行星都拥有属于自己的卫星。从这点来看,木星和土星简直就是一个缩微太阳系。木星本身有4颗体积与月球差不多的卫星,它们被称为伽利略卫星。不仅如此,木星还有许多数不清的小卫星,而且这些小卫星的数量还在不断增加。土星的情况也同木星一样相当复杂。其实木星和土星周围的这些卫星也叫做月亮,而之所称它们为卫星是因为就如同我们人类发射的卫星会绕着地球旋转一样,木星和土星的月亮们也分别围绕这两颗行星旋转。科学家们曾经对这两颗行星及其卫星进行过探测飞行。如人们让飞船进入木星轨道后在伽利略卫星和木星光环间穿梭往来;让“惠更斯号”探测器在土星的卫星之一木卫六上着陆;让探测器穿过土星光环等。这些做法使太空船穿越行星及卫星重力场进行太空飞行的过程上升到了一个新阶段。“伽利略号”、“卡西尼号”、“旅行者号”、“麦哲伦号”(Magellan)以及其他飞船等都为科学家们传回了许许多多珍贵的图片,其数量之多足以让人忙上几十年。不仅如此,这些太空飞行还表明人类知道如何利用行星运行的规律来操控飞船在太阳系中穿行,这一点就如同克里斯托弗·哥伦布(Christopher Columbus)和费迪南德·麦哲伦(Ferdinand Magellan)知道利用星辰、太阳、风向、洋流和潮汐来环绕地球一样,都具有非同寻常的意义。

本书将为大家介绍行星是如何运行的,并将揭秘其在宇宙间运行的规律。人类从几千年前开始就一直在试图了解行星运行的奥秘,古代的天文学家们一直在努力破解那些游走于夜空中的星星和其他的点点星光究竟有何不同。虽然他们的观察有些是错误的,但是却为人类新的发现铺平了道路。这些观察让约翰·开普勒(Johannes Kapler)、埃德蒙·哈雷(Edmond Harley)、艾萨克·牛顿(Isaac Newton)以及其他科学家们发现了引力以及行星运动的规律,并且让人类学会了利用这些规律来解释太阳系的运动。科学家们的发现让飞船可以从一个行星前往另一个行星,并最终让人类的太空旅行成为可能。由于宇宙的混沌现象使得科学研究和数学运算都有其局限性,所以我们对大多数行星运行规律的预测只能推算到几百万年后,但有关行星在浩瀚宇宙中的运行规律,有关月球围绕地球运转

的规律却能够让我们预测银河系的运行轨道。而地球所在的银河系也仅仅只是被科学家们称为本星系群的 35 个相邻星系中的一个。人类穿越太空的旅行要走上千年甚至几十亿光年,现在该是开始这趟辉煌旅行的时候了。

宇宙中的 4 种基本作用力

在宇宙间有 4 种基本作用力,其中两个是强核力和弱核力。这两种力量对于体积小于原子的物质来说至关重要。强核力使原子核聚集在一起,而弱核力则与放射性有关。

电磁力是另外一种力量,它虽然是长程力,但减弱的速度快,因为它主要依赖于电荷和磁场的存在而存在。宇宙作为整体而言是不带电磁性的,因为电与磁会彼此抵消为零。所以电磁力不可能长久地产生影响。

宇宙中的最后一种是引力,而引力也和电磁力一样会随着距离的长短发生改变。引力的减少与距离的平方相关。比如一个物体与地球的距离是原来的 2 倍,那么它所受到的地球引力减少为原来的 $1/4$ 。在所有这 4 种力当中,引力影响的距离最长,因为和电磁力不同,引力没有正负电荷使其彼此抵消为零。整个宇宙都在引力的影响下运行,而人们在了解了引力的原理后也就明白了为什么“卡西尼号”飞船的飞行路线和到达时间会如此精确。

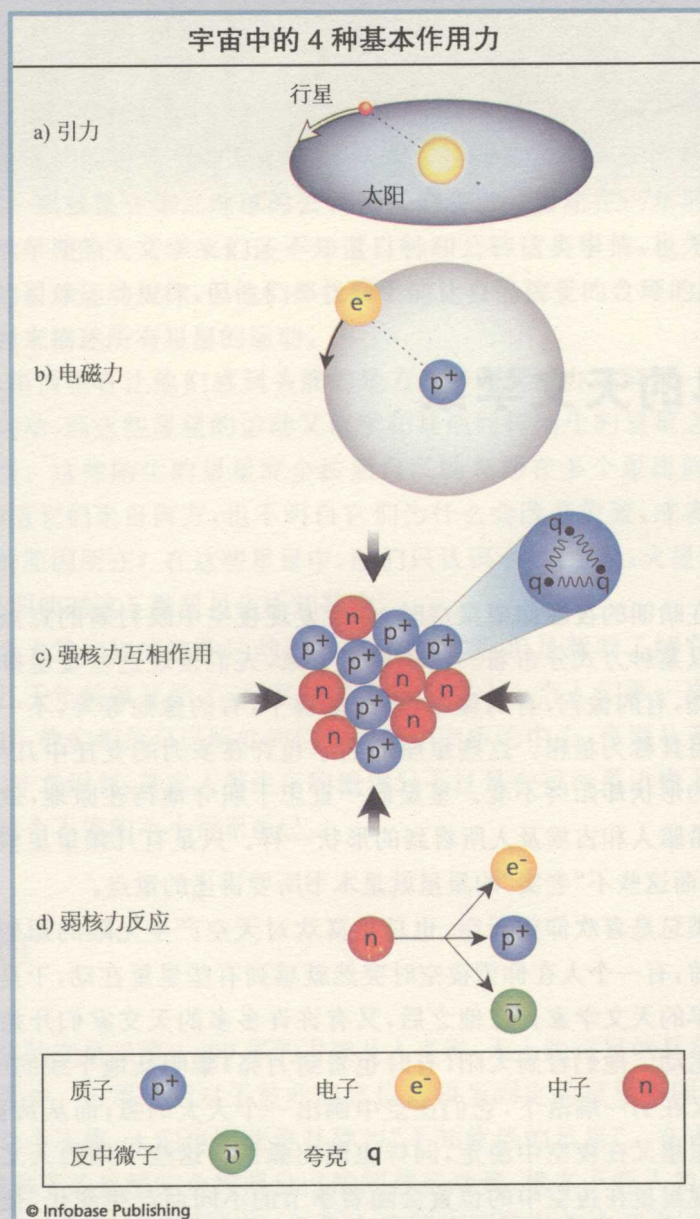


图 1.4 宇宙间有 4 种基本作用力:强核力、弱核力、电磁力和引力。