

“旅行者”号飞船和行星探测

VOYAGER EXPLORES THE PLANETS

R. J. 帕克
W. H. 皮克林
E. C. 斯通

1977年夏末,两艘“旅行者”号飞船从佛罗里达的卡纳维拉尔角发射升空,去探测太阳系的边缘部分(彩图1)。“旅行者”1号已越过木星(彩图2)和土星(彩图3),现正飞向其他星球。“旅行者”2号也飞过了木星和土星,并于1986年1月24日与天王星相遇,现正飞向海王星,预计于1989年8月24日到达。

太阳系由太阳、地球和其他八颗行星以及许多小天体组成,这个空间近乎真空。即使是飞往月球或我们的近邻——火星和金星,也必须飞越巨大的距离。地球到太阳的距离是1.5亿公里,这个距离称为一个天文单位(1 A.U.)。如果用天文单位计算,地球至月球的距离约为1/400 A.U.,地球至天王星的距离为20 A.U.。以光速传播的无线电讯号,飞越1个A.U.距离需时500秒。这样,从地球到月球就需要1.2秒;从地球到飞临天王星的“旅行者”号飞船需时10 000秒,这个距离比月球至地球间距离远8 000倍。

要把一艘飞船送入飞往天王星的轨道,就需要给它一个大于脱离地球引力场所需的“逃逸速度”的速度。这个速度等于绕地球运行的人造卫星速度的1.4142倍。因此,必须要有一种大推力多级火箭。“旅行者”号飞船就是由一枚大力神——人马座(Titan-Centaur)火箭发射升空的。

飞船脱离地球引力场后,除受各行星的较小影响外,它主要是受太阳的作用。飞船沿绕太阳的椭圆轨道运行。为了把飞船送到其他行星,必须精确地确定飞船的初始速度和发射时间,因此要求火箭的制导系统必须非常精确。

飞船飞离地球后,它的位置和速度,由与飞船保持有通讯联络的地面无线电导航系统测定。飞船上有小火箭系统,它们按指令点火工作一特定时间,从而可修正飞船的飞行轨道。

“旅行者”的使命是对几颗行星进行考察,当飞船飞近每一颗行星时,该行星的引力场又会对

飞船的飞行轨道产生修正。这样,只要调整好近星点(飞船轨道离行星的最近点),飞船就可以从行星引力场获得附加能量,并使它飞向下一个目标(彩图4)。

为跟踪飞行中的飞船,接收飞船发回的信息和向飞船发送指令,喷气推进实验室(JPL)为NASA设计并建立了探空网,三个地面站分别设在加利福尼亚、澳大利亚和西班牙。在地球自转的情况下,地面站对飞船能保持连续观测。地面站设有64米天线,用以追踪飞越天空的飞船(彩图5)。整个探空网由加利福尼亚州帕萨迪纳的JPL控制。这个系统非常灵敏,已接收到了一些来自天王星的高质量照片。

“旅行者”号飞船重795公斤,其中科学仪器113公斤。飞船上有一直径3.66米的抛物面天线,飞船飞行中它始终对准地球。飞船所需电能由放射性同位素加热的温差发电机提供。飞船上还有一可朝向任何方向的“扫描平台”,其上装有摄象机及红外和紫外线仪。

R. J. 帕克 (R. J. Parks) 喷气推进实验室副主任。
W. H. 皮克林 (W. H. Pickering) 喷气推进实验室原主任。
E. C. 斯通 (E. C. Stone) “旅行者”计划首席科学家。

飞船的姿态由多个小型联氨喷咀控制。用对准太阳和一颗恒星的两个传感器来建立两轴参考方向。

向天王星飞行的八年半行程不是没有问题的。飞行初期,飞船的一个无线电接收机出了问题,彻底失效;备份无线电接收机又失去了自动频率控制。但是,通过从地球发送一些频率精心控制的讯号,与飞船的联系总算维持了下来。

第二个问题与扫描平台有关。当飞船飞越土星时,一个轴承卡死了,平台不能按希望转动。然而,在地面与飞船上同时进行一些试验后,这个问题也解决了。当飞船飞越天王星时,扫描平台对指令作出了良好的响应。

“旅行者”2号所进行的科学考察项目和主要负责人列于表1。“旅行者”号在与天王星相遇期间,所有仪器及工程系统均工作正常。

自1981年与土星相遇以来,对飞船和地面系统都做了几项改进。改进了姿态控制,将旋转角速度减小了1/2或2/3,并且改善了对磁带记录仪启、停脉冲对图象的干扰,图片上的斑点也就大为减少。飞船广泛使用了目标运行校正技术,飞船在空间缓慢旋转,使摄像机保持对准附近的一颗卫星,从而改善了卫星图片。飞船上的图象数据压缩利用备用飞行数据系统计算机进行,使实时图像数据率几乎减少70%。数据编码上利用了随“旅行者”号一起发射上天的,以前未曾在飞船上使用过的更有效的里德-所罗门(Reed-Solomon)编码器。地面跟踪站的排阵经常为接收微弱遥测讯号提供一个有效的较大的收集器。设在澳大利亚的帕克斯(Parkes)射电望远镜,可以在收集数据的关键时刻增强探空网坎培拉站的数据收集能力。

虽然飞临天王星时与天王星的距离的选择是使飞船能转向海

星卫星系统的路线见图6。

“旅行者”2号于1985年11月4日到达离天王星1.03亿公里的位置,并开始探测活动。1986年1月24日1759UTC(协调世界时),飞船离天王星最近,距天王星中心10.7万公里,1986年2月25日飞离天王星(彩图7)。

绘制天王星科学序列结构图,主要依靠地面天文望远镜的观测结果,不过早期“旅行者”号测得的数据也曾用来对后来的观测结果做一些小的修正。例如,1985年12月下旬“旅行者”号飞船发现1985U1卫星之后,为了获得这颗小卫星的近视图,把天卫五(Miranda)的一个图象转移到卫星1985U1。用偏振光仪(PPS)和紫外光谱仪(UVS)观测了人马星座 Σ 星(sigma Sagittarii)和英仙星座 β 座(beta Persei)的掩食。在四小时(包括飞船信号被天王星和环掩食)内,在澳大利亚收集到了无线电科学(RSS)数据。用紫外光谱仪还观测到天王星对飞马星座 γ 星(gamma Pagas)和双子座 γ 星(nu Geminorum)的掩食。通过图象系统进行的特殊观测,将给人们提供已观测到的五颗卫星的精细彩色图片以及其中四颗的高分辨率的黑白图片。通过红外干涉光谱仪(IRIS)的探测,可以描绘出天王星大气层的温度分布。偏振光仪、图象系统、红外干涉光谱仪和紫外光谱仪,则观测了各种不同观测条件下的大气辉度,以确定天王星大气层的散射和反射特性。环的图象是在飞临天王星时取得的,即飞船即将飞越环面,而星环在明亮的天王星大气层背景中又现出轮廓,这时飞船正好通过天王星阴影和飞出阴影。通过图象系统(ISS),对天王星环系内外进行了广泛的搜索,寻找新的卫星。在飞向天王星的最后几小时内,飞船旋转到一特定方向,以便借助于等离子

表1. 旅行者的科学试验

内 容	主要负责人	单 位
图象科学(ISS)	B.A. Smith	Uni.of Arizona
光偏振(PPS)	A.L. Lane	J.P.L., Caltech
红外光谱(IRIS)	R.A. Hanel	Goddard Space Flight Center
紫外光谱(UVS)	A.L. Broadfoot	Lunar & Planetary Laboratory
无线电科学(RSS)	G.L. Tyler	Stanford Electronics Laboratories
磁场(MAG)	N.F. Ness	Goddard Space Flight Center
等离子体粒子(PLS)	H.S. Bridge	MIT Center for Space Research
低能带电粒子(LECP)	S.M. Krimigis	APL, Johns Hopkins Uni.
宇宙线粒子(CRS)	E.C. Stone	California Institute of Technology
行星射电天文学(PRA)	J.W. Warwick	Radiophysics Incorporated
等离子体波(PWS)	F.L. Scarf	TRW Defense & Space Systems Group

王星,但相遇的时间则选择为使飞船紧紧靠近天卫五(Miranda),并使天王星及其星环在无线电掩食期飞越坎培拉探

空网跟踪中心的上方,因为这时天王星南偏,对高质量长时间收集无线电科学数据来说,这是最适宜的。“旅行者”2号通过天王

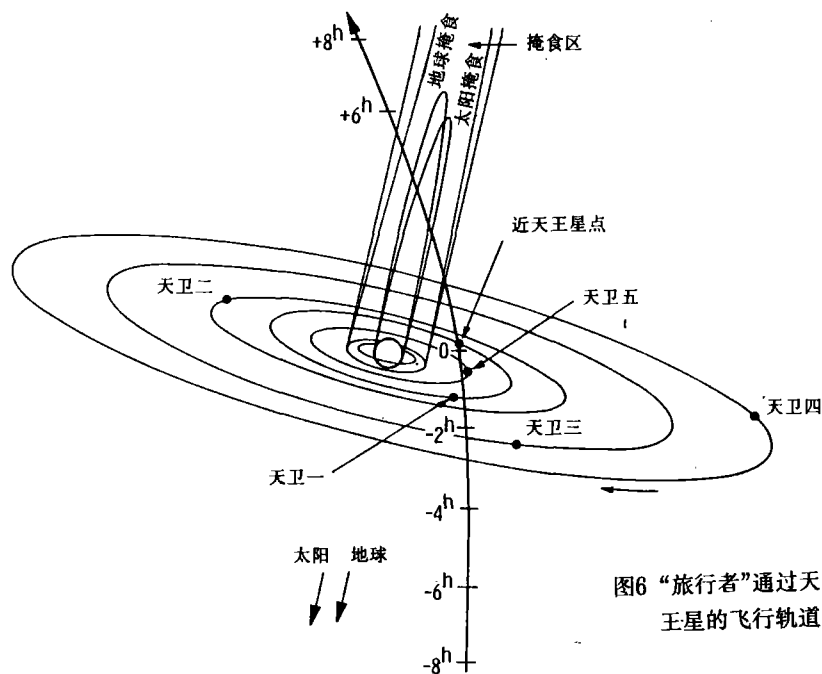


图6 “旅行者”通过天王星的飞行轨道

表2. 天王星环及其数据

名称	距离 (10^3 公里)	偏心率 (10^{-3})	倾斜度 (10^{-3} 度)	宽度 (公里)	平均光学 深度	光学深度 $\times$ 宽度(公里)
1986U2R	37~39.5	0?	0?	2500	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	~ 1
6 Ring	41.85*	1.0*	63*	1~3	0.2	~ 0.5
5 Ring	42.24*	1.9*	52*	2~3	0.5	~ 1
4 Ring	42.58*	1.1*	32*	2	0.3	~ 1
Alpha	44.73*	0.8*	14*	8~11	0.3~0.4	~ 3
Beta	45.67*	0.4*	5*	7~11	0.2	~ 2
Eta	47.18*	(0)*	(2)*	2	0.1~0.4	~ 1
Gamma	47.63*	(0)*	(11)*	1~4	1.3~2.3	~ 5
Delta	48.31*	(0)*	4*	3~9	0.3~1.0	~ 3
1986UIR	50.04	0?	0?	1~2	0.1	~ 0.1
Epsilon	51.16*	7.9*	(1)*	22~93	0.5~2.1	~ 50

*数据引自参考文献(4)。

体和低能带电粒子试验,增强对旋转离子或等离子体的观测。在飞船到达近天王星点之前飞越环面的43分钟内,记录了高速率等离子体波(PWS)和行星射电天文数据,以搜寻薄环粒子,而对天王星磁层及其带电粒子数的连续观测是用由磁强计(MAG)和宇宙射线试验获得的。

环

天王星环的独特性质对了解环系统的起源及相关的动力学过程,提供了较好的前景。天王星环的某些物理特性列于表2,其中包括从“旅行者”号发回的图象中

发现的两个新环——1986UIR和1986U2R。第一个环是窄环,同其他环一样;而另一个环是宽大弥散的环。在掩星数据中还辨认出其他可能的环或环段。个别环粒子的光谱反射系数很低(5%),至少 ϵ (epsilon)环是半透明的。彩色图象从统计上没有显示出 ϵ 环和其他环之间有色差别。

在各窄环内外,估计有18颗小卫星。在 ϵ 环两侧发现两颗牧羊(shepherding)卫星,1986U7和1986U8,(见表3,图8)。 ϵ 环的外缘十分清晰,与1986U8的高波数谐振位置吻合,而其内缘

与1986U7的类似谐振位置一致。由于这些谐振没有迭加,因此其相互作用与土卫一(Mimas)和土星B环外缘间的作用相同,但不同于土星窄F环与牧羊卫星的相互作用。其他天王星环处没有发现牧羊卫星,可能是因为它们尺度太小(直径小于14公里),并和环离子一样,黑暗如碳。

令人惊奇的是,在 ϵ 环中没有直径小于几十厘米的质点,这已通过不同无线电波和光波波长上 ϵ 环光学厚度的相似性得到证明。 ϵ 环的清晰边缘表明,环的厚度小于150米,质点的大小小于30米。较小质点相对较少,这可能是由于外延氢大气层的阻力,使微米级和厘米级大小的质点的轨道寿命分别限于1000年和1000万年的结果。

高相角的长时曝光图象显示,从1986UIR轨道至少到1986U2R外缘为一宽而薄(从光学的角度)的微米级质点分布带。这些尘埃的分布是高度有结构的,与土星D环非常相似。飞船通过环面时受到的粒子冲击也证明在距天王星中心116000公里处有一厚度为4000公里的尘埃带。由等离子体波仪测定的粒子,最大冲击率为每秒20~30次,相当于粒子的最大密度约为每立方米0.001颗。

几个主环显示出其浊度随经度有明显的变化。 δ (delta)和 γ 两环在宽度上存在着一倍以上的变化,而 η (eta)环的狭部,在不少地方完全消失。根据主环的经度变化和大量相邻环段的显现,可以推测天王星环是动态的,年轻的,而不是在天王星形成时同时形成的。

卫星

从“旅行者”号发回的图象中发现了十颗新卫星,它们围绕天王星运转,其轨道在天王星到天卫五之间。它们的轨道和物理特

表3.

天王星卫星及其数据

卫星名称	直径 (公里)	距离 (10^3 公里)	周期 (小时)	$G \times$ 质量 ($\text{公里}^3/\text{秒}^2$)	密度 ($\text{克}/\text{厘米}^3$)	通常反射率
1986U7	~40*	49.7	8.0	-	-	<0.1*
1986U8	~50*	53.8	9.0	-	-	<0.1*
1986U9	~50*	59.2	10.4	-	-	<0.1*
1986U3	~60*	61.8	11.1	-	-	<0.1*
1986U6	~60*	62.7	11.4	-	-	<0.1*
1986U2	~80*	64.6	11.8	-	-	<0.1*
1986U1	~80*	66.1	12.3	-	-	<0.1*
1986U4	~60*	69.9	13.4	-	-	<0.1*
1986U5	~60*	75.3	14.9	-	-	<0.1*
1986U1	170 ± 10	86.0	18.3	-	-	0.07 ± 0.02
天卫五(Miranda)	484 ± 10	129.9	33.9	5.0 ± 1.5	1.26 ± 0.39	0.34 ± 0.02
天卫一(Ariel)	1160 ± 10	190.9	60.5	90 ± 16	1.65 ± 0.30	0.40 ± 0.02
天卫二(Umbriel)	1190 ± 20	266.0	99.5	85 ± 16	1.44 ± 0.28	0.19 ± 0.01
天卫三(Titania)	1610 ± 10	436.3	208.9	232 ± 12	1.59 ± 0.09	0.28 ± 0.02
天卫四(Oberon)	1550 ± 20	583.4	323.1	195 ± 11	1.50 ± 0.10	0.24 ± 0.01

*这些小卫星的直径值为其上限,因此由这些直径计算的通常反射率为下限,很可能低于所列的0.1上限。

性,同天王星的五颗主要卫星一样,全列于表3中。“旅行者”2号

向我们提供了这些遥远卫星的第一个盘式分辨图象。不出所料,

五颗主要卫星作同步旋转,它们总是一侧面向天王星;我们推断,新发现的十颗卫星也处于受约束旋转的状态。全部十五颗卫星都以近圆轨道运行,除天卫五之外,其轨道都在天王星的赤道平面上。

天王星系统的质量,用质量与万有引力常数之积的关系,根据无线电跟踪数据,求得其值为 $5\,794\,547 \pm 18$ 公里³/秒²。把无线电跟踪数据和光学导航数据结合起来得到天王星本身的质量为 $5\,793\,946 \pm 30$ 公里³/秒²,两者的差值为 601 ± 30 公里³/秒²,这几乎完全等于五颗主要卫星的质量。当飞船进入距天卫五28 260公里范围时,通过飞船的多普勒速度变化,确定了天卫五的质量,而其他四颗主要卫星的质量则由无线电跟踪和光学导航数据结合确定,所求得的这些卫星的密度列于表3。这些数字表明,密度的大小随轨道不同而没有明显的变化倾向。至少外部四颗卫星的密度比大小相当的土星卫星密度高

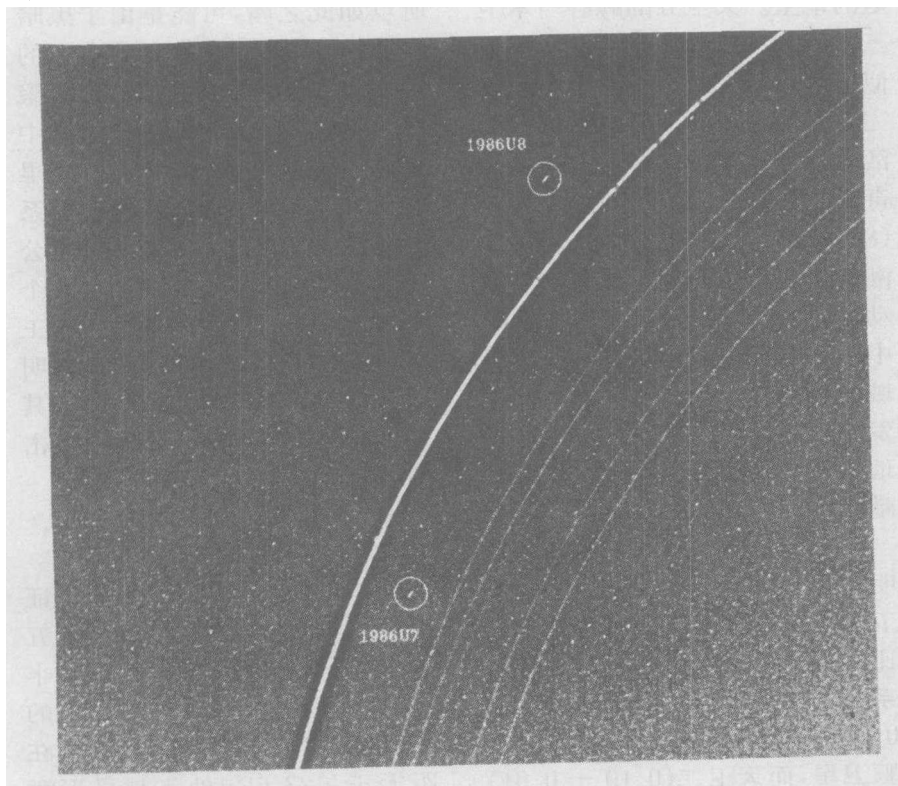


图8

得多,这意味着,这些卫星内部的岩石物质构成比土星卫星的要大得多。

天卫四(Oberon)和天卫二(Umbriel)显现出最老的表面,它有许多巨大的环状冲击坑,除早期火山活动和可能来自天王星系之外的陨石轰击外,其表面很少有变化的迹象。然而,天卫四上的某些冲击坑底部的黑斑,应当形成得较晚,天卫二表面的暗黑色,可能是新近覆盖上的一层低漫射的尘埃以及不知怎样产生的靠近并约束在天卫二轨道附近的众多的小碎石。

其他主要卫星则随轨道距离的减少,其表面地质特征的变化却增大。天卫四和天卫二呈现出密集的大冲击坑,天卫三的表面布满直径10~50公里的冲击坑,这些冲击坑似乎形成于较晚的密集轰击期,有可能是由天王星附近轨道中的物体造成的,上面仅留下两三个较大的冲击坑。天卫三(Titania)的表面呈现出一系列广延的断层,其垂直断层达2~5公里,其中有几个露出较明亮的物质。

在天王星卫星系统中,天卫一(Ariel)有最明亮的和地质上最年轻的表面(彩图9)。这里难以见到大于50公里的冲击坑。天卫一上的表面断层比天卫三更普遍。有证据表明,天卫一表面上的某些地方有冰流。

天卫五是天王星主卫星中最小和最靠近天王星的一颗卫星(图10)。根据许多分辨率为1公里或不足1公里的图片的显示,这颗卫星的表面,其组成为:(1)起伏的无漫射反差的冲击平地,(2)由一些部分平行的大量黑带和少量亮带组成的图案装饰的四边形到卵形区域,其形状类似回旋加速器的粒子轨道。这些带状区之一,含有一个明亮的具有尖角的人字形特征的区域,它很可能属于内区。某些区域有一些斜坡长

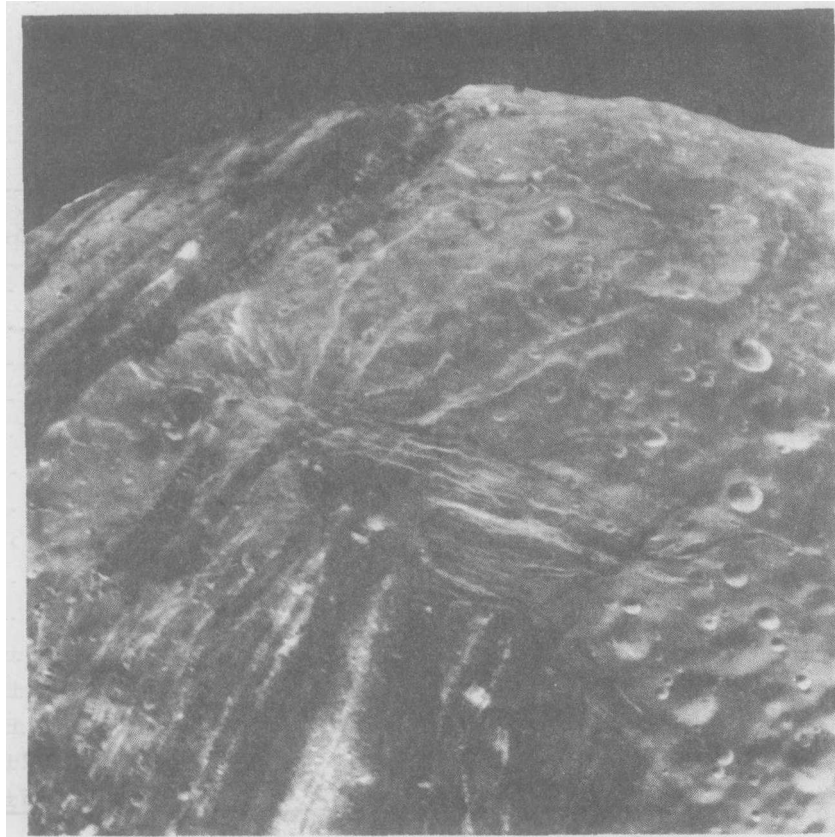


图10 天卫五

达20公里的断层和深10~15公里的地堑。天卫五的峰谷与木卫三(Ganymede)的沟槽地形类似,不过这些奇特区域至今还没完全弄清楚。天卫五地质构造的活动程度和多种多样性是令人惊奇的,它不仅尺度小,而且温度低($86 \pm 1\text{K}$)。一些附加热源,象潮汐加热以及低温下使冰物质流动的某些方式,都必定包括在其中。据推断,在四边形和卵形区域中,明亮物质的存在可能是挥发物质在这些区域中富集,这些地区可能对地质构造过程有贡献。

这些卫星表面的反射系数表明它们也与轨道半径无关,但天卫五内的一些小卫星例外,它们比主要卫星黑暗得多,其漫反射系数小于10%。天卫一(0.40 ± 0.02)是主要卫星中最明亮的一颗卫星,而天卫二(0.19 ± 0.01)是最暗的一颗卫星,后者的表面反差最低。

天王星的这些小卫星和环之所以如此之暗,可能是由于黑暗物质(如同较大卫星表面存在的黑暗物质)在这里有较大的聚集。1985U1是新发现的卫星中最大的一颗卫星,已从50万公里外对它进行了拍照,其漫反射系数约为7%。这个直径为170公里的天体,近于球形,表面有几个冲击坑,其反差难以看清。天王星环和小卫星的黑暗,可以表明碳素物质的存在,或者是由于其冰表面俘获的甲烷高能质子轰击的结果。

磁层

天王星存在磁场的第一个证据是,在飞船飞向近天王星点五天前(大约距离275个天王星半径(R_U))之遙)探测到了天王星的无线电发射。“旅行者”号依次在距天王星23.5 R_U 处飞越弓形激波阵面,并在18 R_U 处进入磁层,并测得一个磁偶(下转62页)

从一个物种转移到另一个物种,病毒不仅能帮助他们存活,而且能把帮助他们战胜竞争者的属性赋予动物和植物。

医务工作者希望在对病毒的作战中,不久将会有有一个强有力的同盟者:病毒遗传工程疫苗。美国国立卫生研究院伯纳德·莫斯(Bernard Moss)博士,正在用重组DNA技术,将牛痘病毒制成多价疫苗。他计划将8~10种具有危险性的病毒的抗原编码基因插入减毒的活牛痘病毒DNA中。这种工程化的牛痘苗可以产生病毒抗原,但无致病性。一旦接种这种重组的牛痘苗就会刺激免疫系统产生能抵抗上述8~10种具有危险性病毒感染的抵抗力。

另一种更具戏剧性的发展是,很多的科学家正在研究利用病毒对遗传病患者进行基因治疗的技术。利用重组DNA技术,他们计划用除去有害基因的方法使逆转录病毒无害化,再将遗传病患者所缺少的或是不起作用的基因赋予病毒,逆转录病毒将作为载体导入人类相应的细胞中并将健康的基因准确地插入细胞DNA中。

基因治疗首选的病例应是由单基因缺失引起的危及生命的遗传病。如 β -地中海贫血病(这是

一种严重的贫血病)和另外三种罕见病,都是由于缺失一种指令产生简单的生命蛋白质的基因所引起。

怀特黑德(Whitehead)研究所的理查德·马利根(Richard Mulligan)一直在小鼠身上进行基因治疗的研究,虽然在哺乳动物体上的试验进展很慢,但他是乐观的。他说:“我们有可有效转移基因的逆转录病毒载体。我们能安全地感染适宜的细胞。”但是他承认,他还不能诱导基因“打开”并指令细胞产生所缺失的蛋白质。

马利根希望这样来解决这问题:将编码蛋白的基因与一小段DNA相连,作为一个开关或启动子,然后再植入逆转录病毒。他说他希望二三个月后能有一些令人鼓舞的结果。

尽管病毒具有极为明显的潜在的益处,但已充分证明它有更大的害处,如天花、黄热病、狂犬病、小儿麻痹症,再加上现在的流行性爱滋病。戴维·巴尔蒂莫尔断言说:“将所有的病毒从世界上清除掉,不会使这个世界变得更坏。”

(李以莞译)

(上接72页)极场,其轴与天王星自转轴成出乎意料的 60° 大角,并且偏离天王星中心 $0.3R_U$ 。它的偶极矩为 0.23 高斯 R_U^3 ,表明表面磁场强度为 $0.1\sim 1.1$ 高斯。根据场强以及偏移的情况推断,这个偶极场是由于处在中等深度的水可能在足够压力下形成电导体而产生的。设想的从内部产生的磁场的旋转周期,由它的无线电发射确定为 17.24 ± 0.01 小时。

入射的太阳风使磁偶极场变形,从而使它造成一个类似于地球磁场的磁结构,磁尾在天王星后面的 $67R_U$ 处,其半径为 $42R_U$,并有一厚度为 $10R_U$ 左右的等离子罩。由于天王星的自转轴在天王星年的这个时候基本上是指向太阳的,因此磁尾以与天王星相同的周期,绕背阳线旋转。

天王星也有无线电发射,但低于土星的平均功率,因此只有靠近天王星时才能检测到。天王星的无线电发射是左偏振的,当磁N极处于黑暗面、其顶部指向飞船时,功率为极值。在向阳面观

测时,峰频为 60 千赫;黑暗一面的无线电发射频率扩展到 800 千赫。由此推断,等离子体层的密度的巨大的昼夜间的不平衡也许影响着无线电波的传播。

结论

“旅行者”2号的飞行,获得了大量有关太阳系外行星的新信息。这些巨大的行星都有自己的卫星族,与太阳系一些较小的内行星——水星、金星、地球、火星,完全不同。最大的外行星——木星,其大小几乎足以成为第二个太阳。这些行星的卫星,有一个令人迷惑的特征序列,从木星的I。的火山活动到天卫五的奇特地质。

“旅行者”发回的新信息需要科学家们研究许多年,只有对此进行完全分析之后,我们对太阳系才会有更清楚的了解。

(宋义荣译)