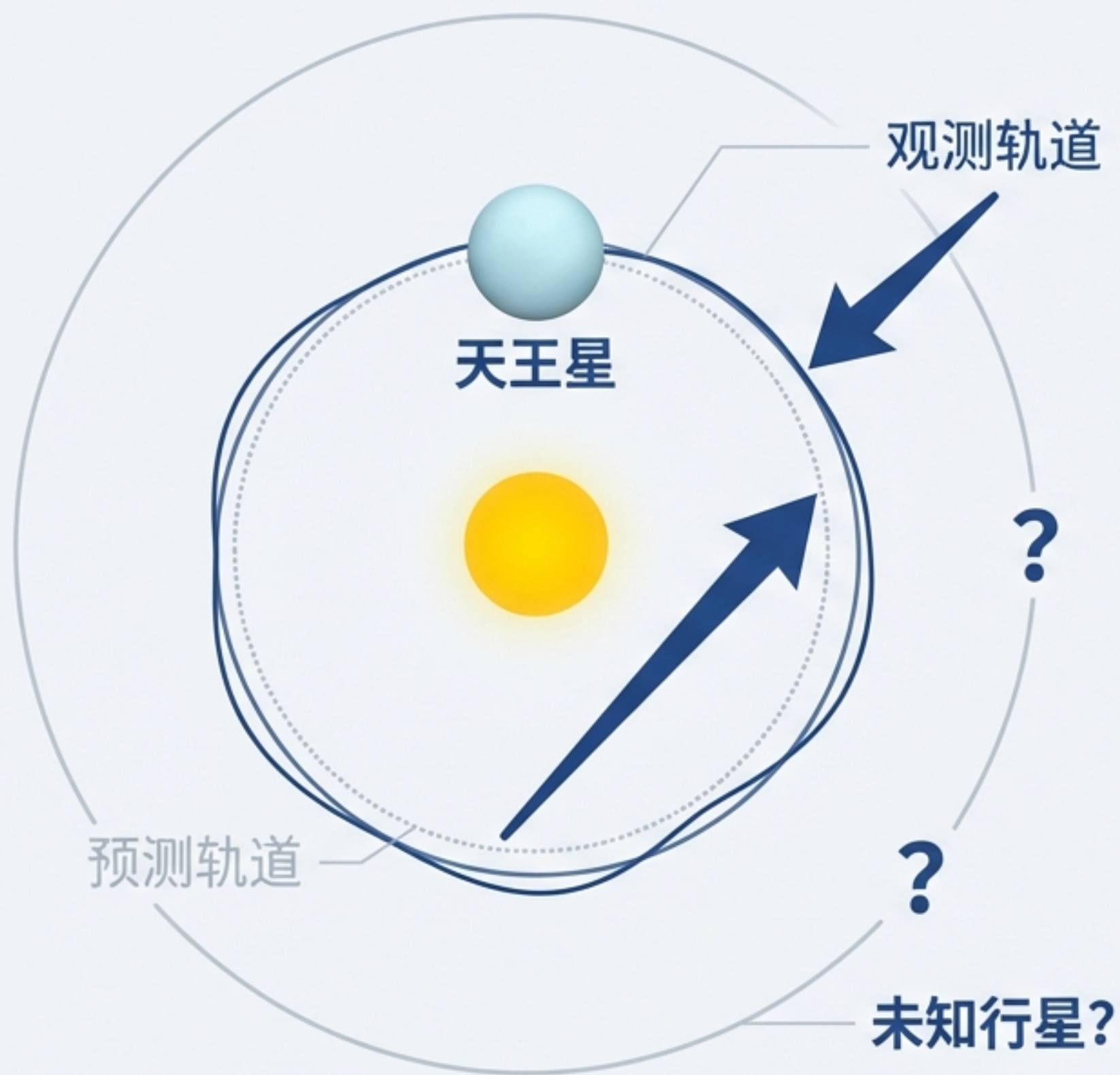


远征：最后一颗巨行星之旅

深入探索海王星的发现、相遇与未解之谜



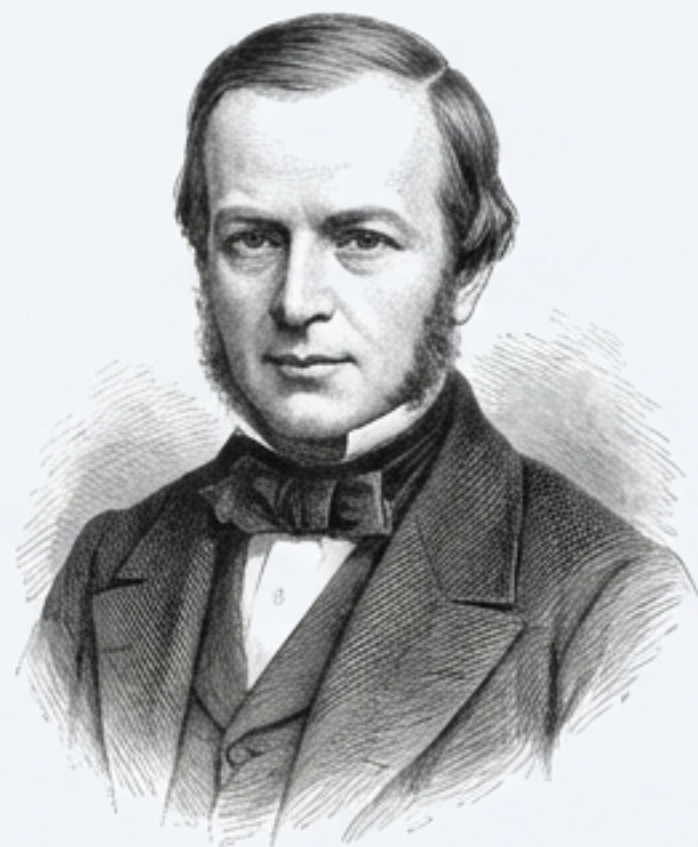
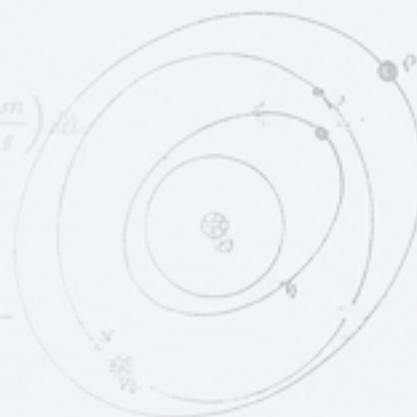
一切始于一个谜题： 天王星偏离了轨道

1. 1821年，天文学家**亚历克西·布瓦尔**发表了天王星的**轨道天文表**，根据牛顿定律预测其未来位置。
2. 然而，随后的观测发现，**天王星的实际位置**与预测存在显著偏差。
3. 天文学家推测，这种不规则运动是由一颗更遥远的**未知行星**的引力**扰动**造成的。

一颗在笔尖下诞生的行星



$$\begin{aligned} F(x, v) &= \int_0^{x_0} dm_v \frac{dx}{dv} dx \\ &= \frac{\pi}{36} \int_0^{x_0} [m_v \omega_v] d^2 \omega_v + \frac{d}{dx} \left(\frac{d}{dt} \frac{m}{v} \right) dx \\ \therefore \omega_v(a, L, v) &= \frac{m_v \omega_v}{dv} = L \omega_v \\ &= s^2 + \beta^2 + p^2 + L \\ V_f^2 &= m_3(\alpha, \theta) = \sqrt{\frac{\lambda H m_3^2}{8\pi} - \frac{H \omega_v m_3^2}{8\pi}} \\ E_x(L, \theta, \theta) &= \frac{m_v \theta}{dv} \propto \sqrt{(k+1) m(k-i \omega)^2} \omega_{\text{osc}} = E_x \propto \mathcal{M}_{\text{osc}}(E, \theta) g(\alpha, \theta) \\ &= -\mu L \omega + \theta \\ L - l_v &= \frac{1}{2} \omega \Delta \text{osc} \cos i \log \left(\frac{m \omega}{\partial \mu} \right) \\ &= \frac{L \cdot \partial \theta}{\partial x} - \frac{L}{dL} \left(\frac{1}{2} \omega \Delta \text{osc} \cos i \right) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} E_0 + dE(a_s) &= \nu a \int \frac{\partial^2}{\partial r^2} dx \\ &= \text{max} \left(\frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial r} \frac{e^2}{r^2} \right) \\ &= -\theta \cdot 1 - \psi \left(-\frac{\partial \omega}{\partial t} \right)^2 \end{aligned}$$

于尔班·勒威耶 (Urbain Le Verrier) :

法国数学家。1845年，他开始独立计算这颗未知行星的性质和位置。1846年6月，他向法国科学院提交报告，给出了行星的预测位置。

约翰·柯西·亚当斯 (John Couch Adams) :

英国数学家。1843年，他开始进行计算。1845年9月，他得出了关于行星位置的多个估算结果。

两位科学家在互不知晓对方工作的情况下，仅凭数学和牛顿万有引力定律，便推断出这颗新行星的存在。



“星图上没有这颗星星！”

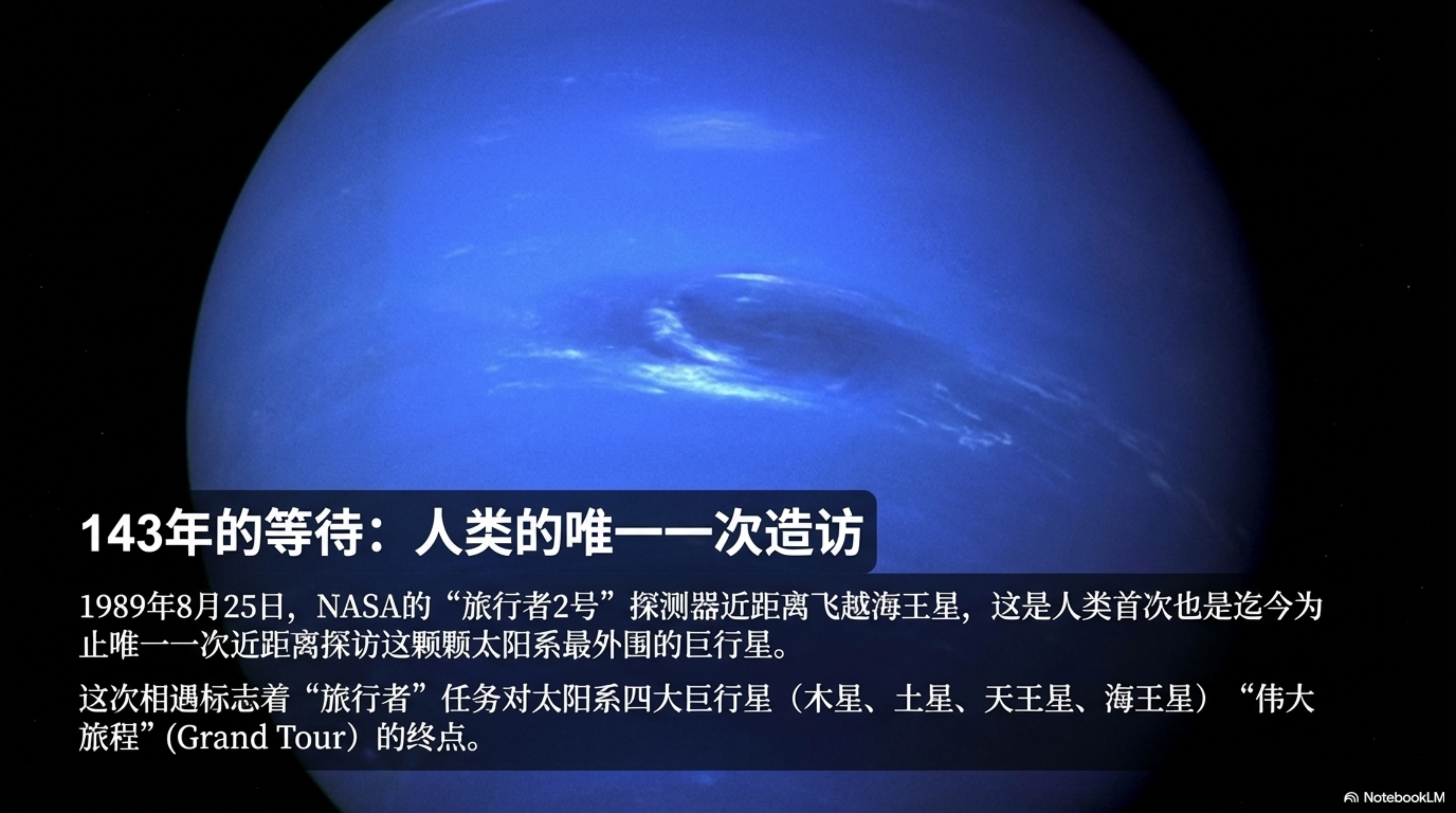
勒威耶的计算未能引起法国天文学家的兴趣，于是他将结果寄给了柏林天文台的约翰·戈特弗里德·加勒。

1846年9月23日晚，加勒和他的学生海因里希·达雷将望远镜对准预测天区。

在将观测结果与最新的《霍拉XXI》星图对比后，他们不到一小时就发现了一个星图上没有的天体。

该天体距离勒威耶预测的位置不到1度。两天后的观测证实了它的行星运动。

弗朗索瓦·阿拉戈贴切地评价道，勒威耶“用笔尖发现了一颗行星”。



143年的等待：人类的唯一一次造访

1989年8月25日，NASA的“旅行者2号”探测器近距离飞越海王星，这是人类首次也是迄今为止唯一一次近距离探访这颗太阳系最外围的巨行星。

这次相遇标志着“旅行者”任务对太阳系四大巨行星（木星、土星、天王星、海王星）“伟大旅程”（Grand Tour）的终点。

一项艰巨的工程挑战



地球



极度昏暗

Low Light

海王星接收到的阳光仅为地球的0.1%。相机需要更长的曝光时间。



高速飞行

High Speed

探测器相对地球的速度高达90,000公里/小时。为防止图像模糊，团队需精确启动推进器旋转航天器。



遥远距离

Vast Distance

距离地球47亿公里，无线电信号单程需要4小时。



微弱信号

Weak Signal

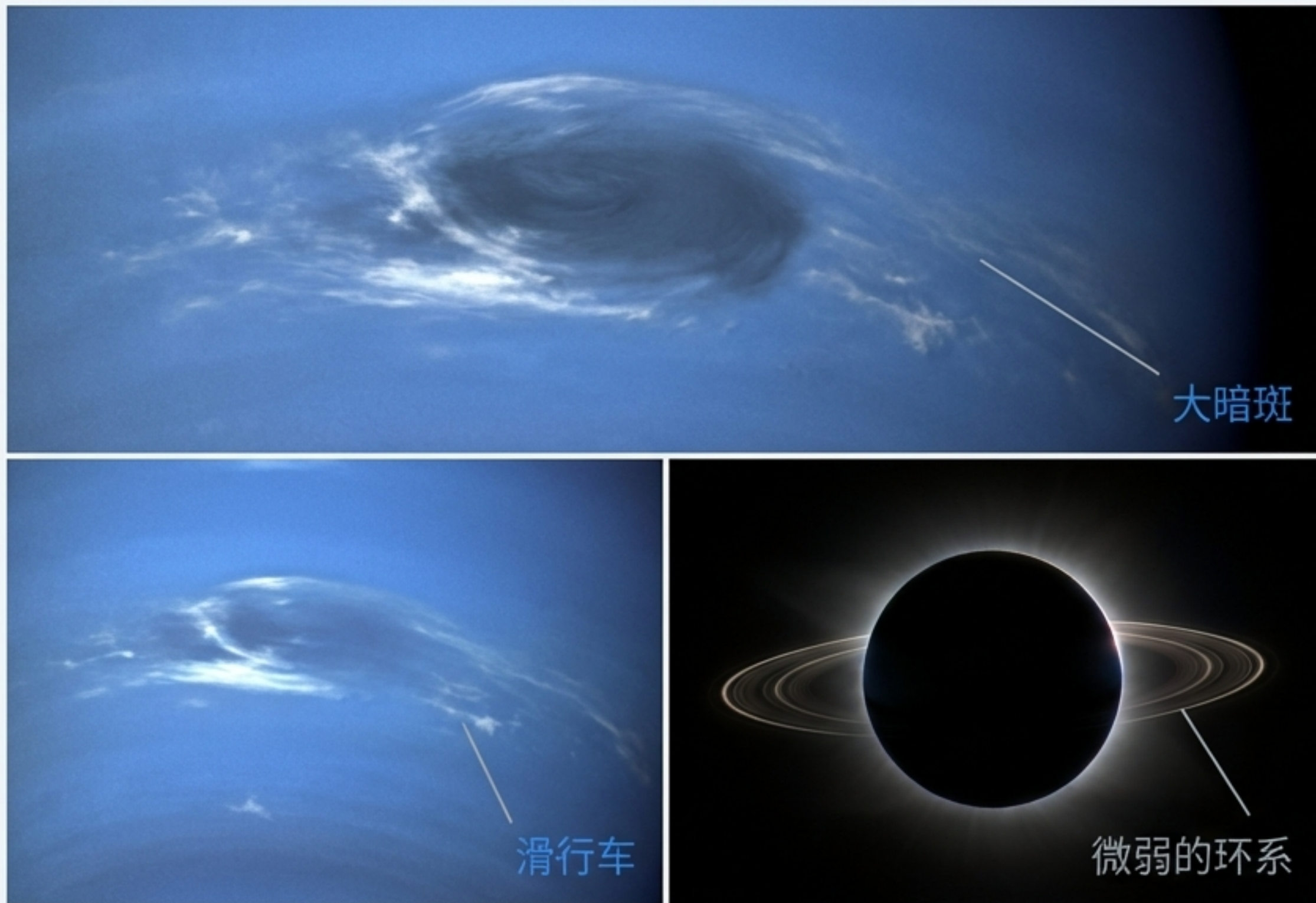
为接收微弱的信号，深空网络（DSN）的天线从64米扩建到70米。



旅行者2号
与海王星

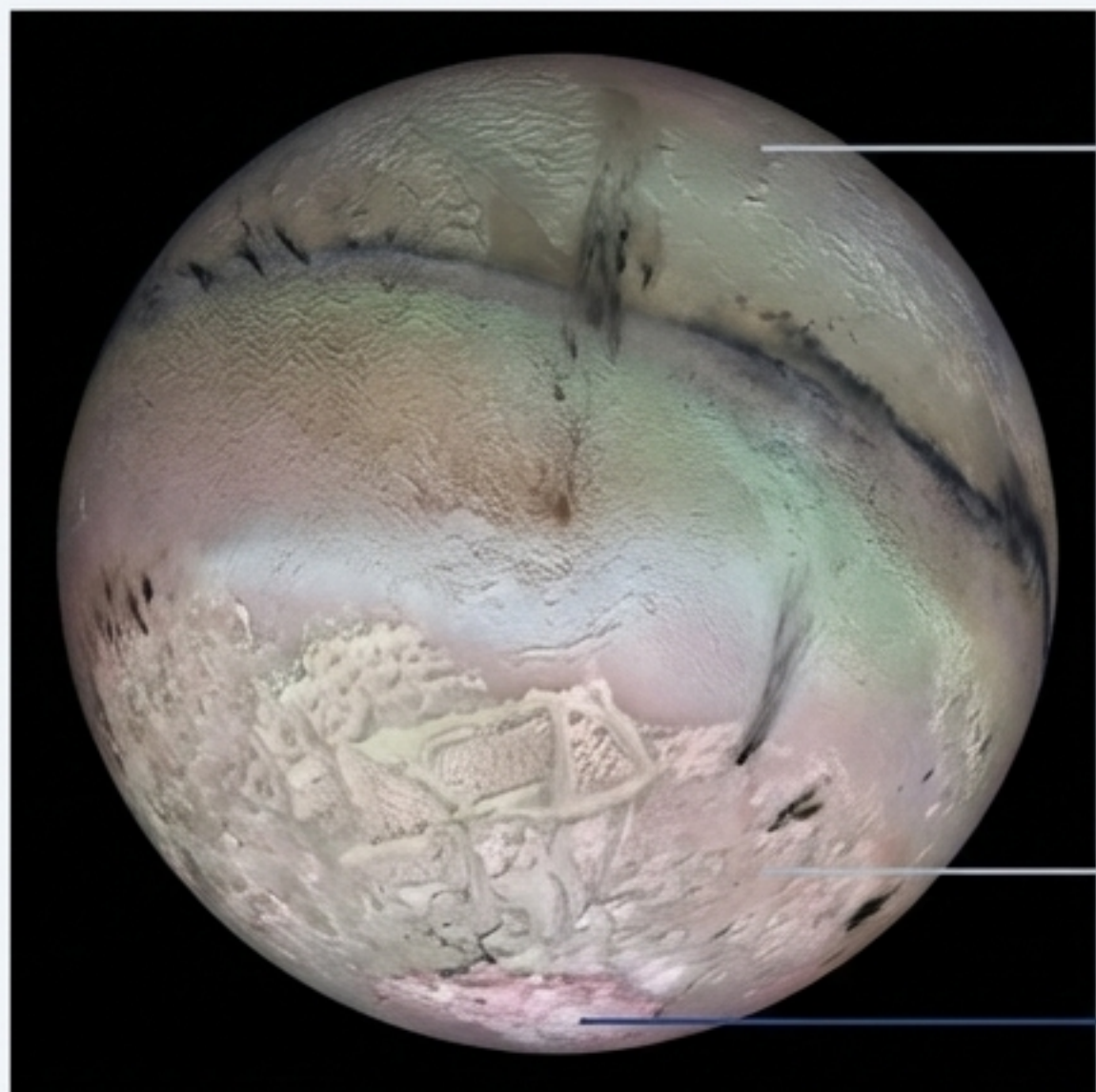
一个崭新世界的揭晓

- **动态的大气：**发现了与木星大红斑类似的大暗斑，以及明亮的甲烷冰晶云。
- **新的卫星与环：**发现了6颗新卫星和4个行星环。
- **深邃的蓝色：**海王星呈现出钴蓝色和青色条带，证实了大气中甲烷的存在。



海卫一

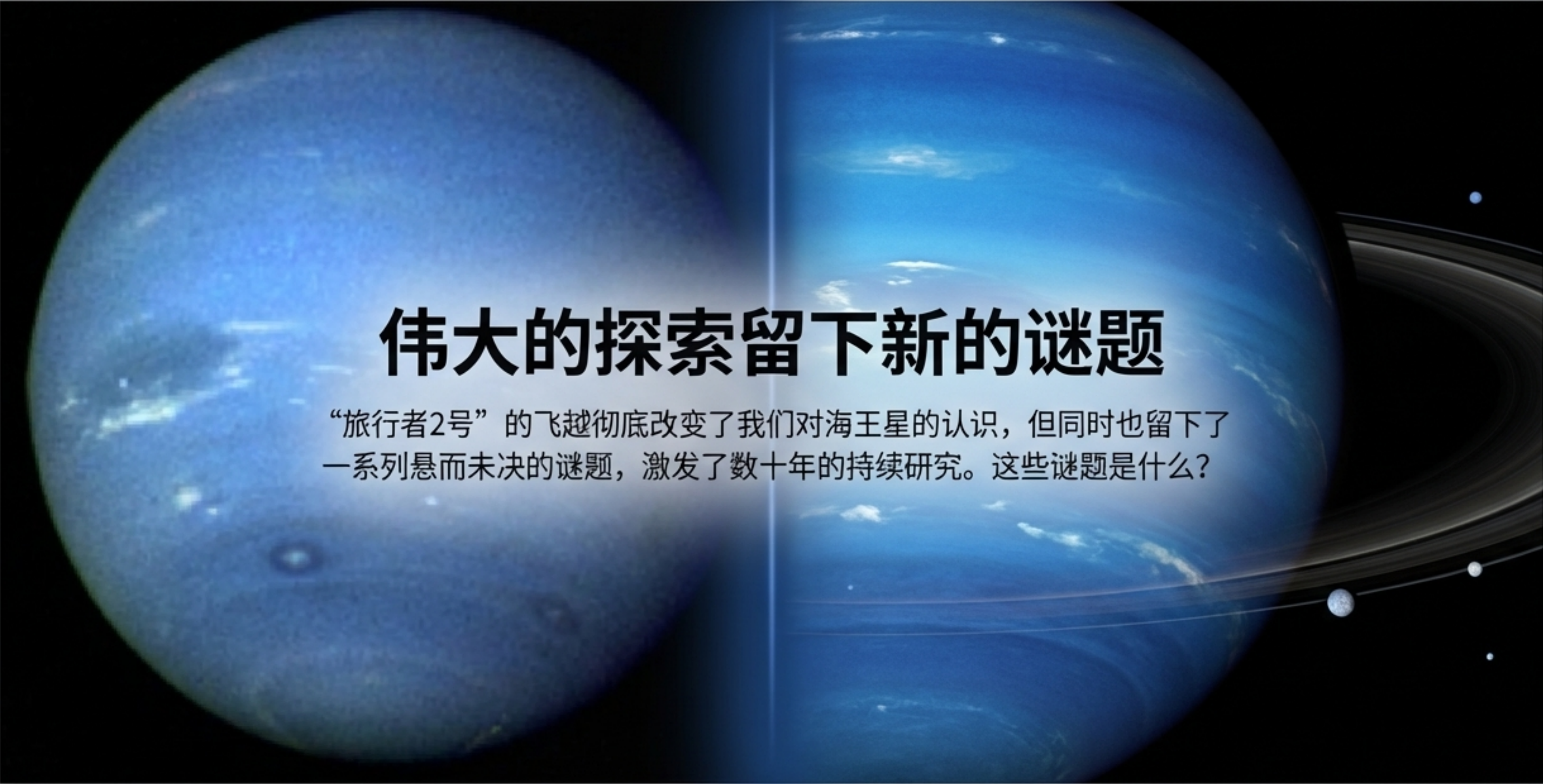
海卫一：冰冷地表下的惊人活动



“旅行者2号”近距离飞越了海王星最大的卫星——海卫一（Triton）。

观测显示，它并非一个固态的冰球，而是拥有地质上年轻的表面和活跃的间歇泉，将物质喷向高空。

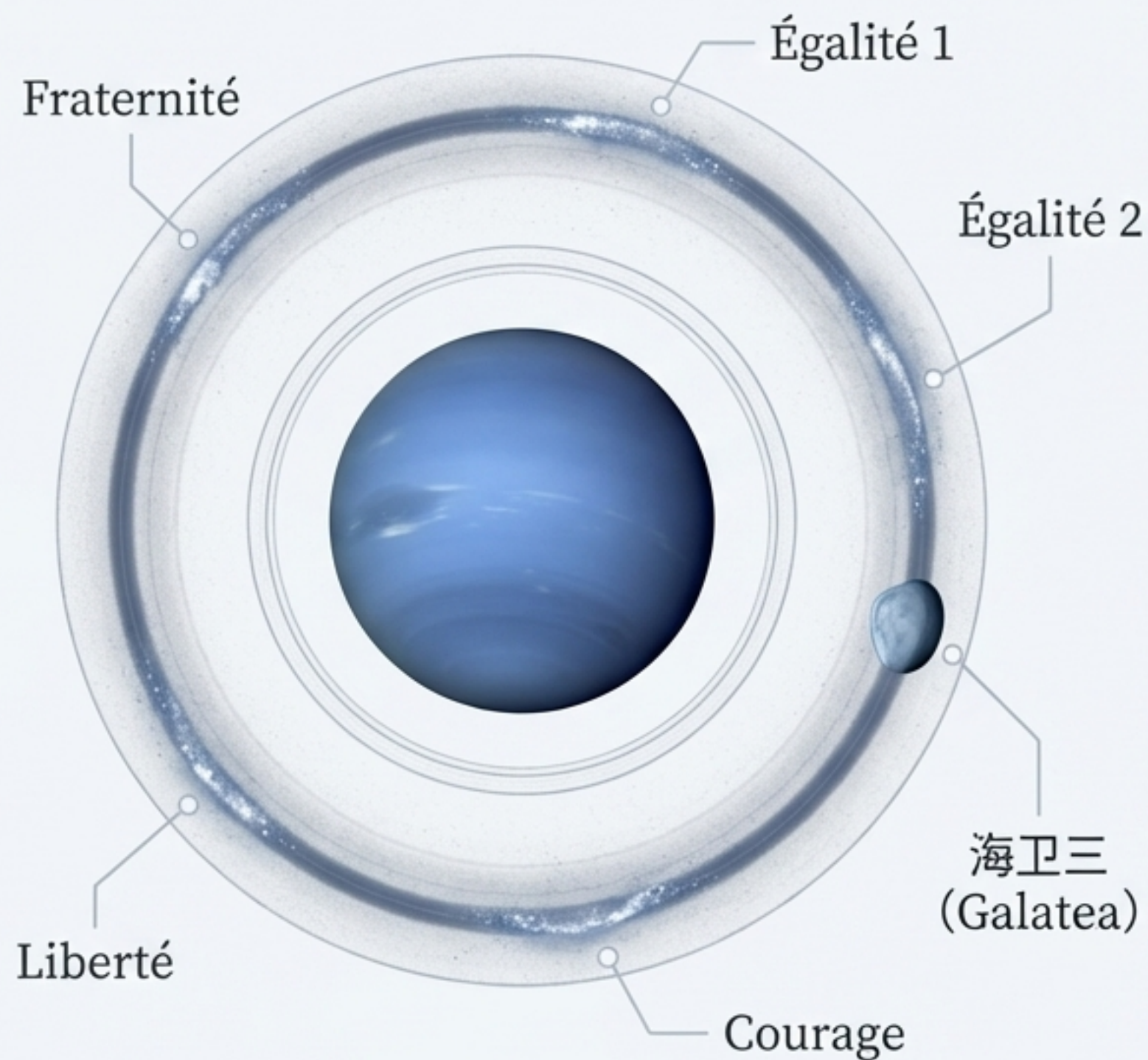
这是一个惊人的发现，因为海卫一的表面温度低至 -235°C ，是“旅行者”探测器所观测到的最冷天体。

The background of the slide is a composite image. On the left is a large, blue, textured sphere representing the planet Neptune, showing various cloud features. On the right is a portion of the planet Saturn, showing its characteristic rings and a blue-tinted atmosphere. The two planets are positioned side-by-side, separated by a thin vertical white line.

伟大的探索留下新的谜题

“旅行者2号”的飞越彻底改变了我们对海王星的认识，但同时也留下了一系列悬而未决的谜题，激发了数十年的持续研究。这些谜题是什么？

谜团之一：正在消失的环弧



问题 (The Puzzle) :

“旅行者2号”确认海王星拥有完整的环系，但最外层的亚当斯环 (Adams ring) 物质分布极不均匀，形成了明亮的“环弧”。

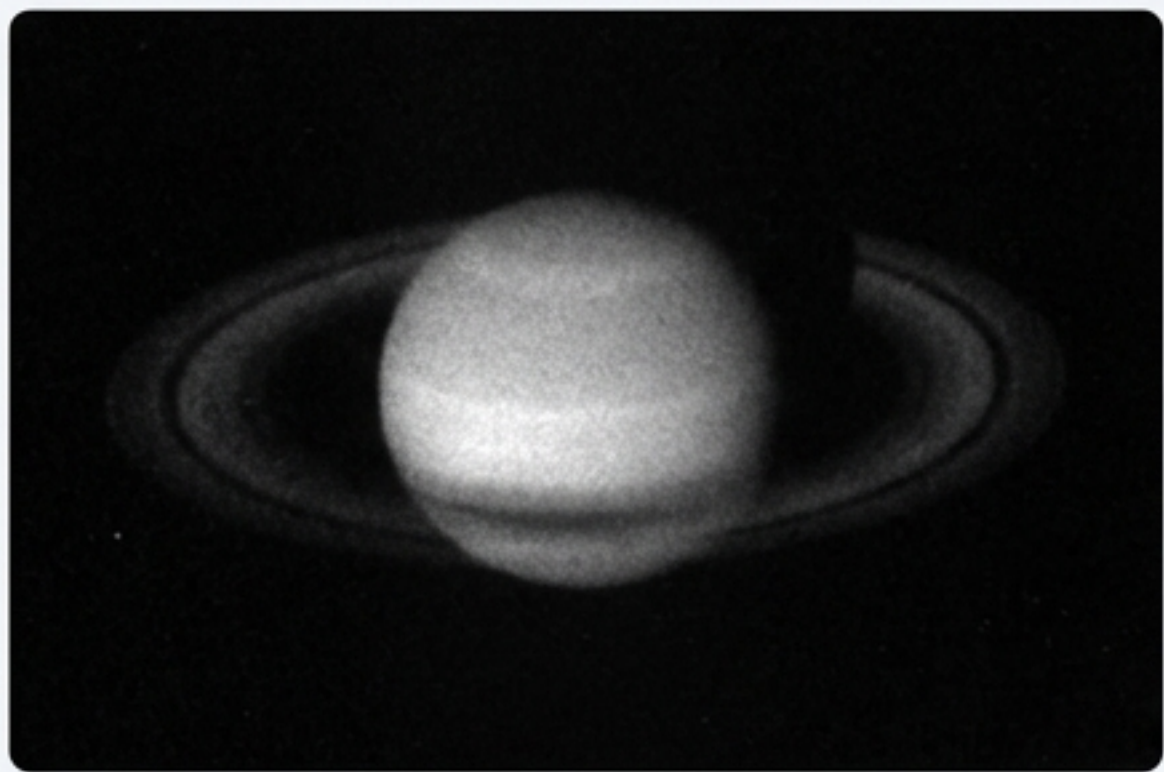
理论 (The Theory) :

行星科学家推测，海王星的卫星“海卫三” (Galatea) 充当了“牧羊犬卫星”，其引力作用将环内物质束缚在弧形结构中。

新谜题 (The New Mystery) :

哈勃和凯克望远镜的后续观测发现，这些环弧正在“褪色”和瓦解。例如，“自由弧” (Liberté arc) 可能在不到100年内消失。

今昔对比：前所未见的环系细节



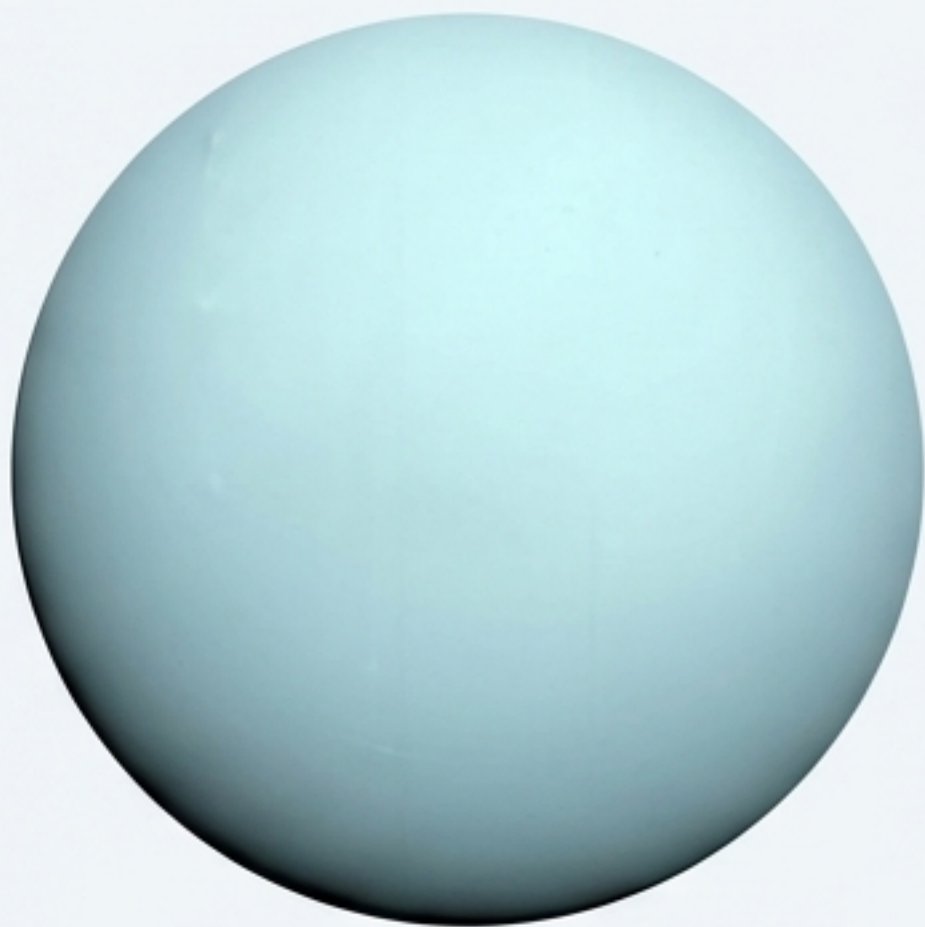
旅行者2号 (1989)



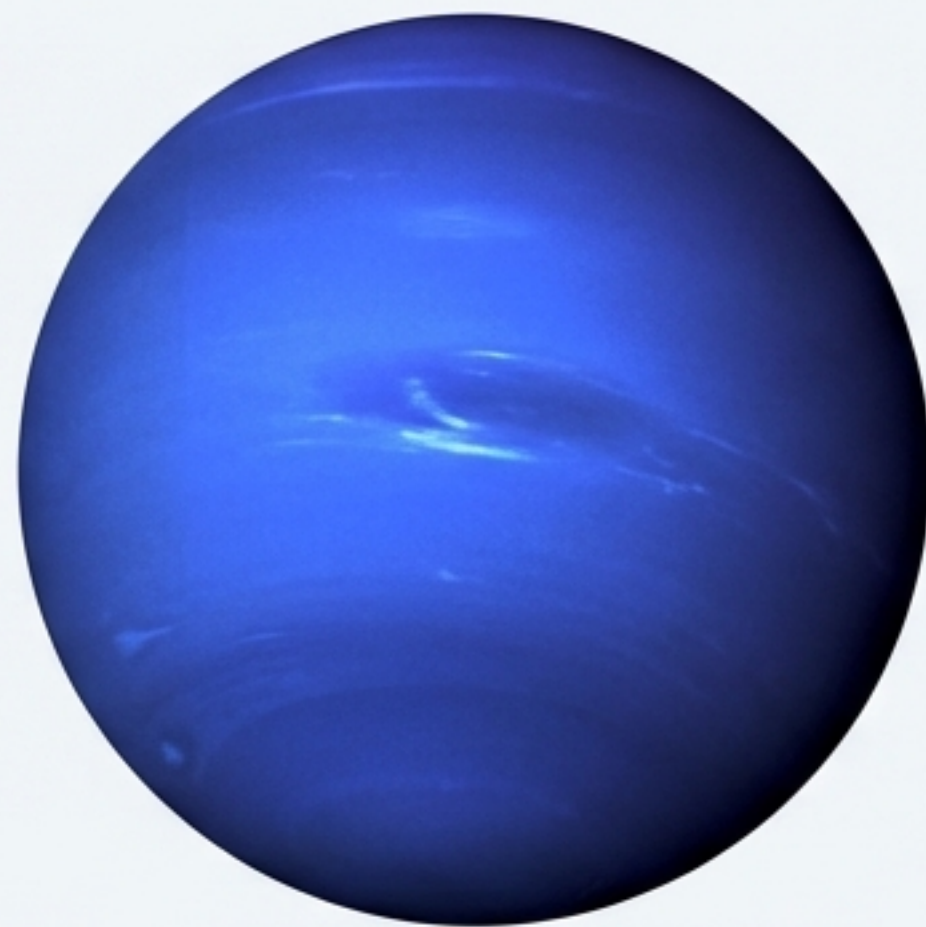
詹姆斯·韦伯空间望远镜 (2022)

从“旅行者2号”的模糊一瞥到韦伯望远镜的清晰图像，技术的飞跃使我们能够以前所未有的细节研究海王星微弱的尘埃环，为解开环弧之谜提供了新的线索。

谜团之二：为何这对“孪生兄弟”颜色不同？



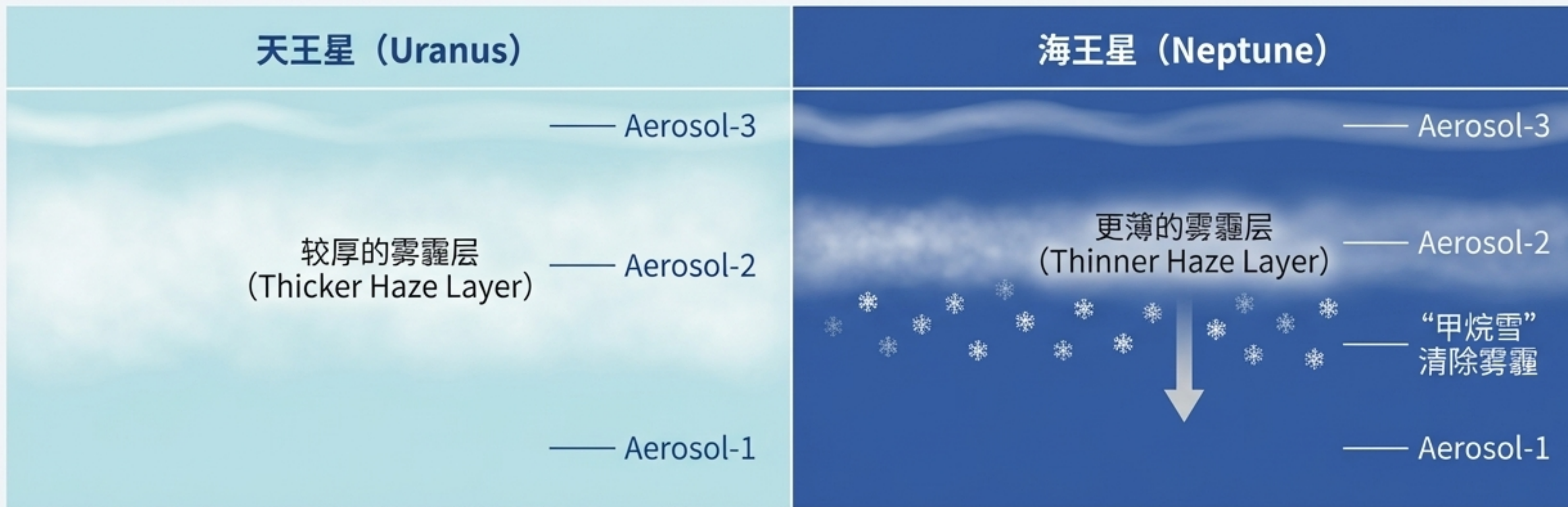
天王星 (Uranus): 淡青色
质量: 14.5 x 地球



海王星 (Neptune): 深钴蓝色
质量: 17.1 x 地球

尽管天王星和海王星在质量、尺寸和大气成分上都非常相似，但它们的外观却截然不同。
一个统一的大气模型揭示了背后的原因。

答案在于一层“雾霾”



一个三层气溶胶模型可以解释颜色的差异。关键在于中间的“气溶胶-2层”。

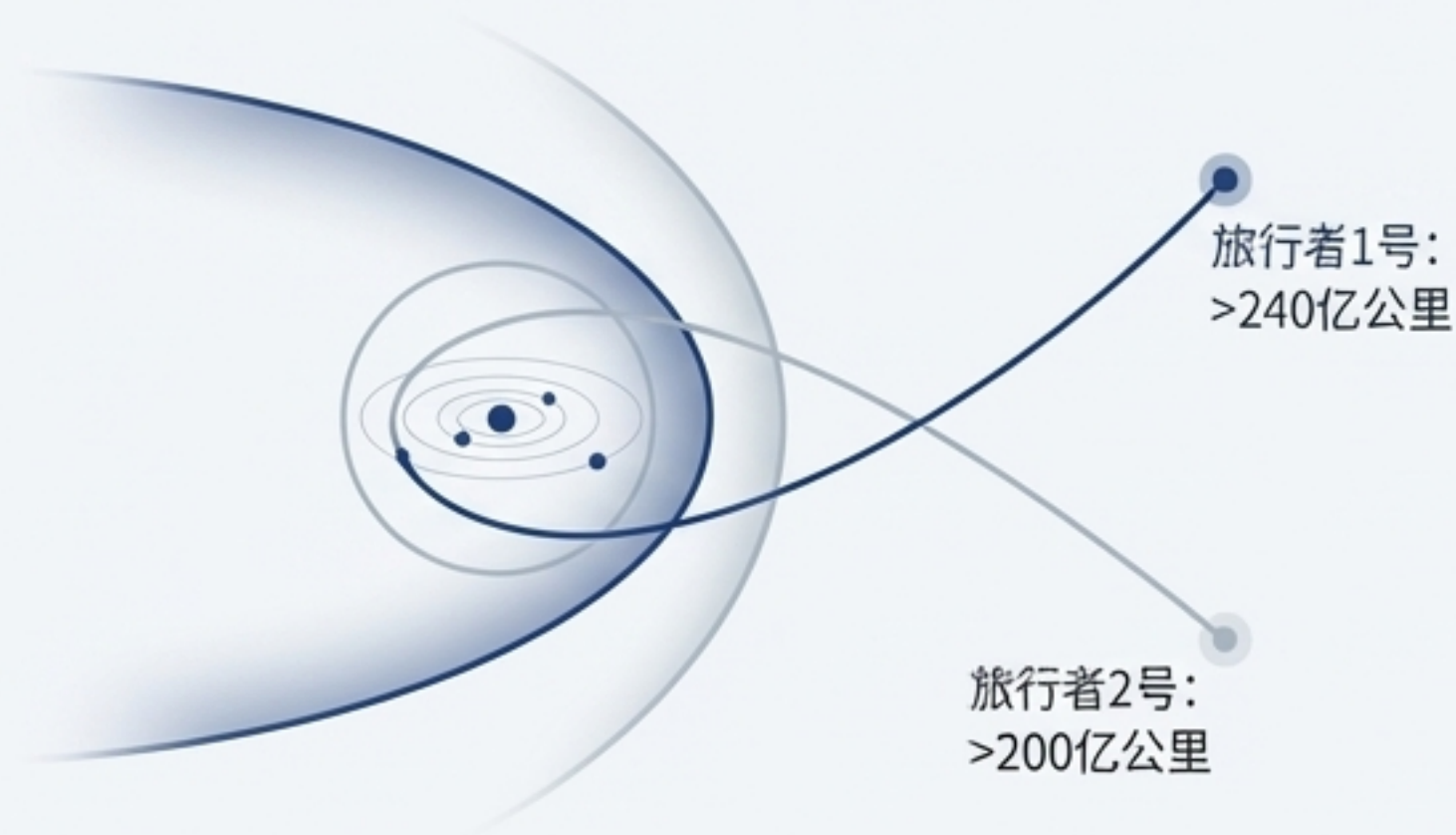
在天王星上，这一层较厚，其停滞、迟缓的大气层中积聚了过量的雾霾，使其外观呈现更浅的色调。

在海王星上，其更活跃、更湍急的大气层能有效地将甲烷颗粒搅入雾霾层并形成“甲烷雪”降下。这清除了更多的雾霾，使雾霾层变得更薄，从而展现出更强烈的蓝色。



旅程仍在继续：星际空间的使者

海王星飞越标志着“旅行者”行星任务的结束，但也是其星际任务的开始。如今，“旅行者1号”和“旅行者2号”已经离开日光层，进入星际空间，成为人类首批进入宇宙宇宙海洋的使者。它们仍在从数十亿公里外传回数据，探索人类探测器从未到过的地方。





“发射42年后，它们仍在探索。”

—— 埃德·斯通 (Ed Stone)
旅行者号项目科学家，1975年至今