

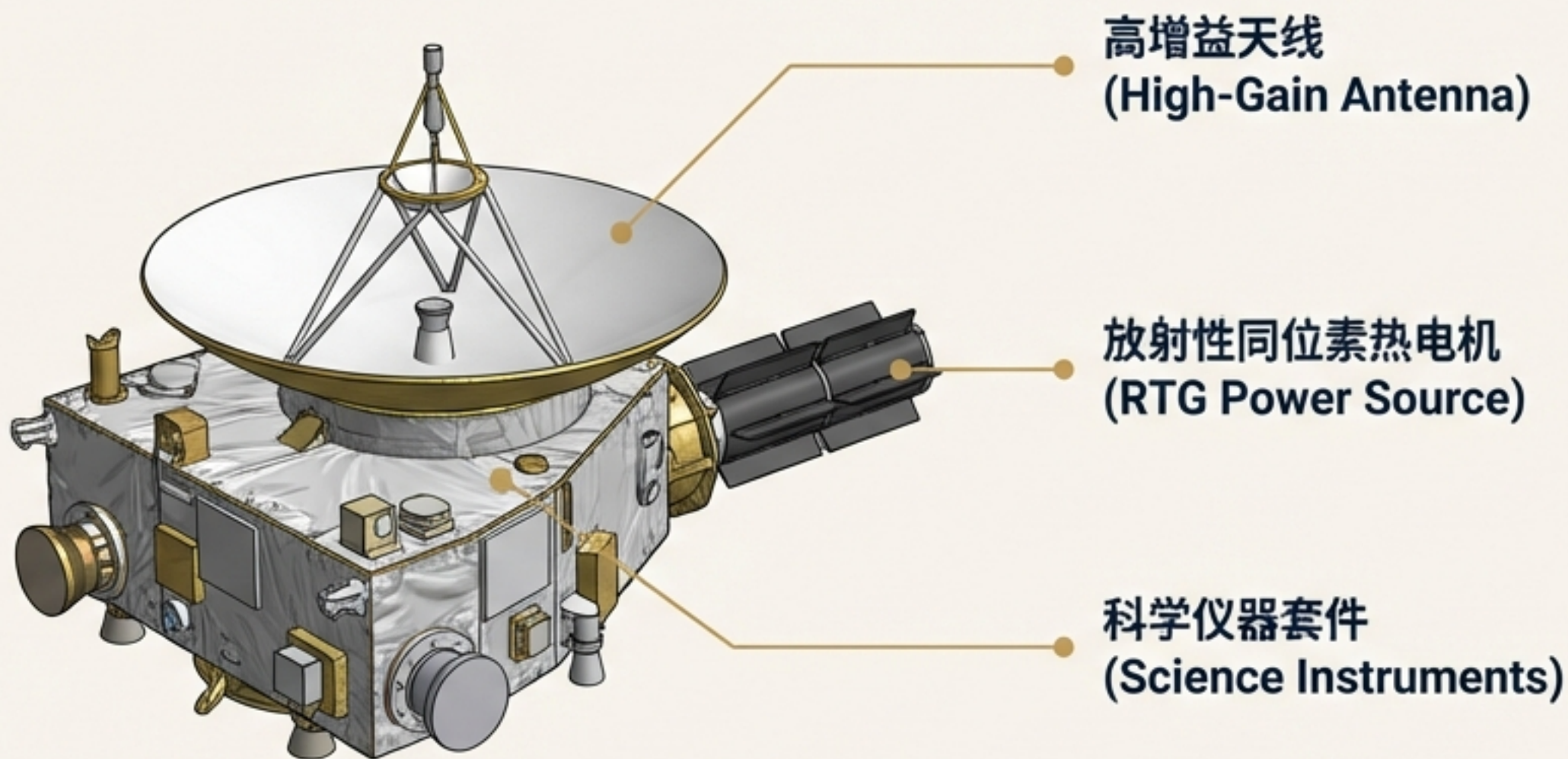
揭秘太阳系的“第三疆域”

在我们熟悉的岩石行星和气态巨行星之外，存在着一个由冰冷、古老天体构成的广阔疆域——柯伊伯带。在长达数十年的时间里，这个疆域的王者——冥王星，对我们来说只是一个遥远的光点。



新视野号：飞向未知世界的使者

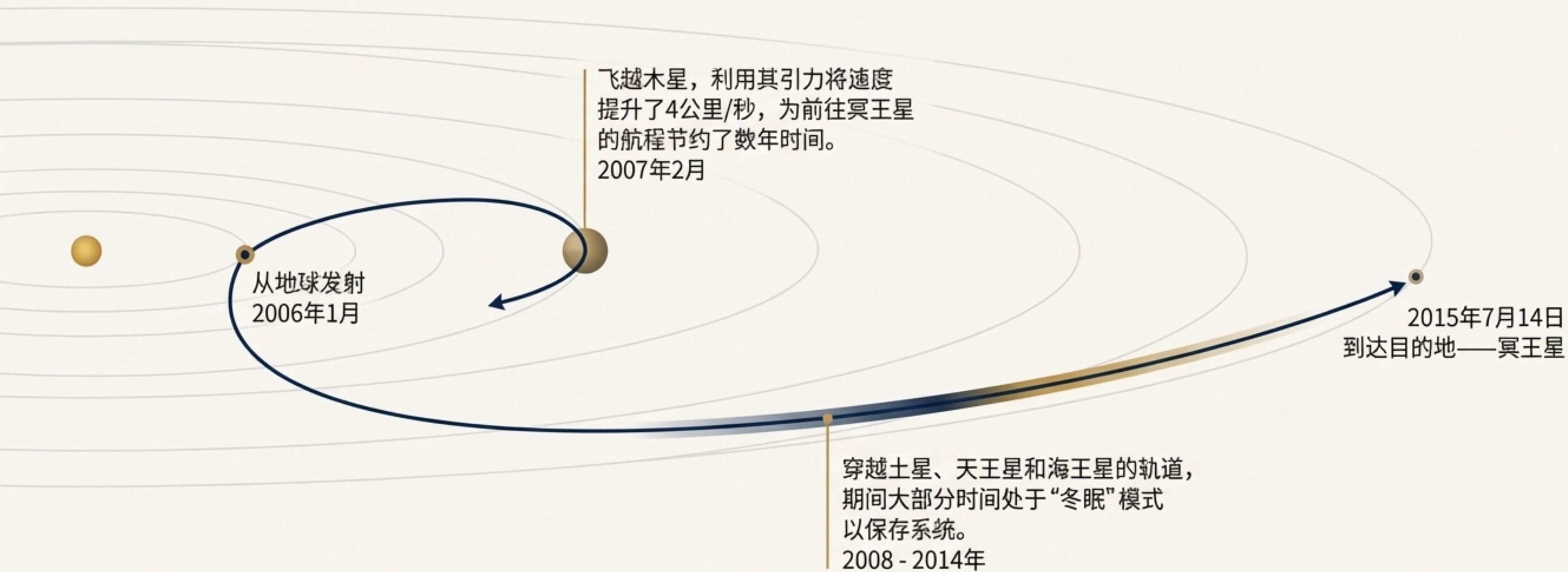
为了揭开冥王星及其系统的面纱，理解柯伊伯带的形成和太阳系的演化，美国国家航空航天局（NASA）启动了“新疆界计划”的首个任务——新视野号。



- **使命：**首次近距离探索冥王星系统及其他柯伊伯带天体（KBOs）。
- **速度：**它是人类有史以来发射时速度最快的人造物体，发射后仅用9小时就飞越了月球轨道。
- **遗产：**它携带着冥王星发现者克莱德·汤博的部分骨灰，以及记录了超过43万个地球人姓名的光盘。

一场跨越九年，长达五十亿公里的伟大征程

新视野号于2006年1月19日发射，开启了一段穿越整个太阳系的旅程。



历史性的相遇：一个崭新的世界映入眼帘

2015年7月14日，经过九年半的漫长飞行，新视野号以13.78公里/秒的速度从距离冥王星表面仅12,500公里的地方飞掠而过，成为第一个探索这颗矮行星的人类探测器。

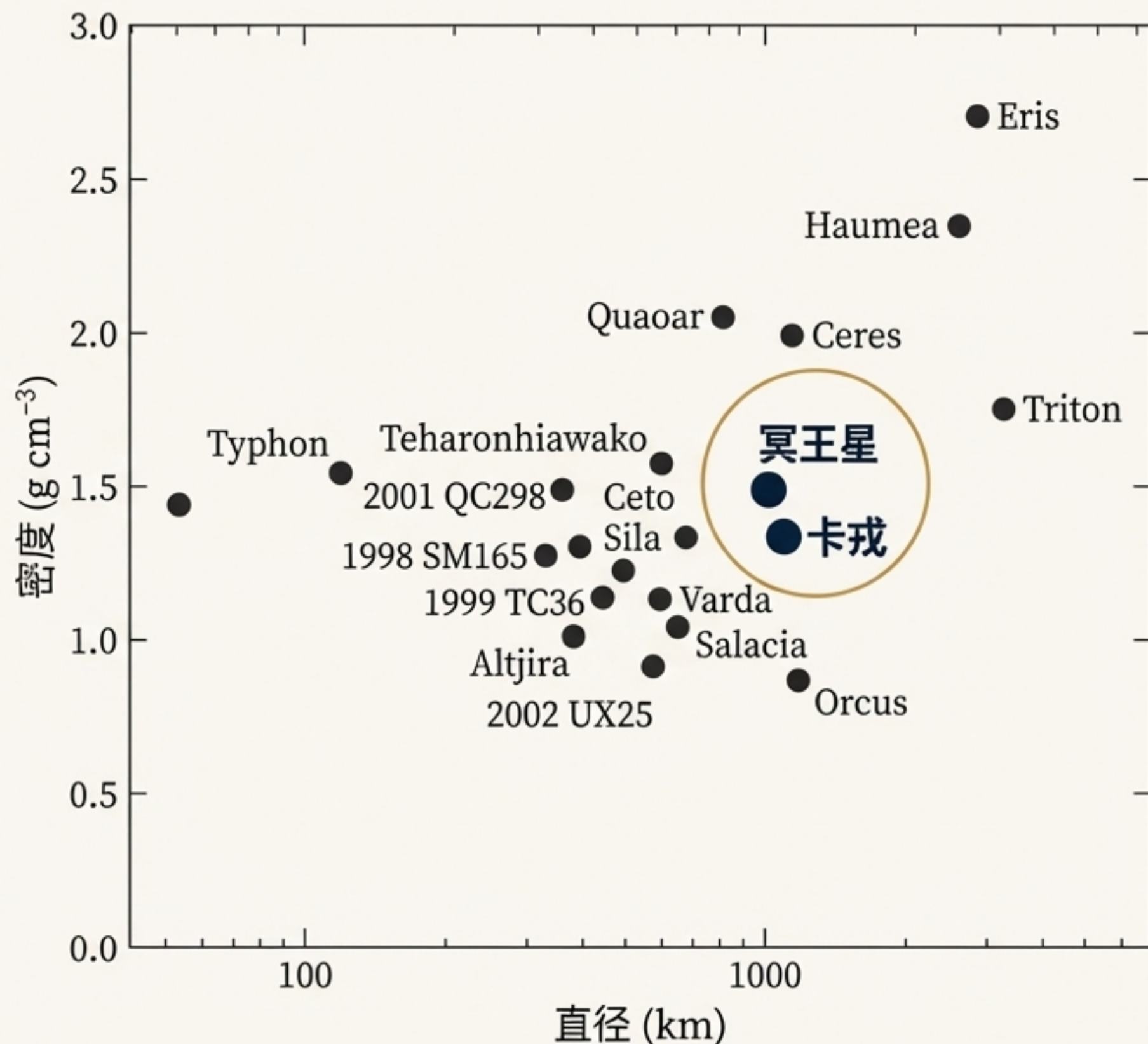
飞掠时间：协调世界时（UTC）2015年7月14日11:49
当时与太阳的距离：32.9 天文单位

第一个线索：一对出人意料的“双星”

新视野号的精确测量揭示了冥王星和卡戎的密度，带来了第一个意外。它们的密度不仅接近，而且比柯伊带中其他大型天体（如阋神星和妊神星）更为相似。

冥王星: 半径 1188.3 km, 密度 **1854 kg/m³**

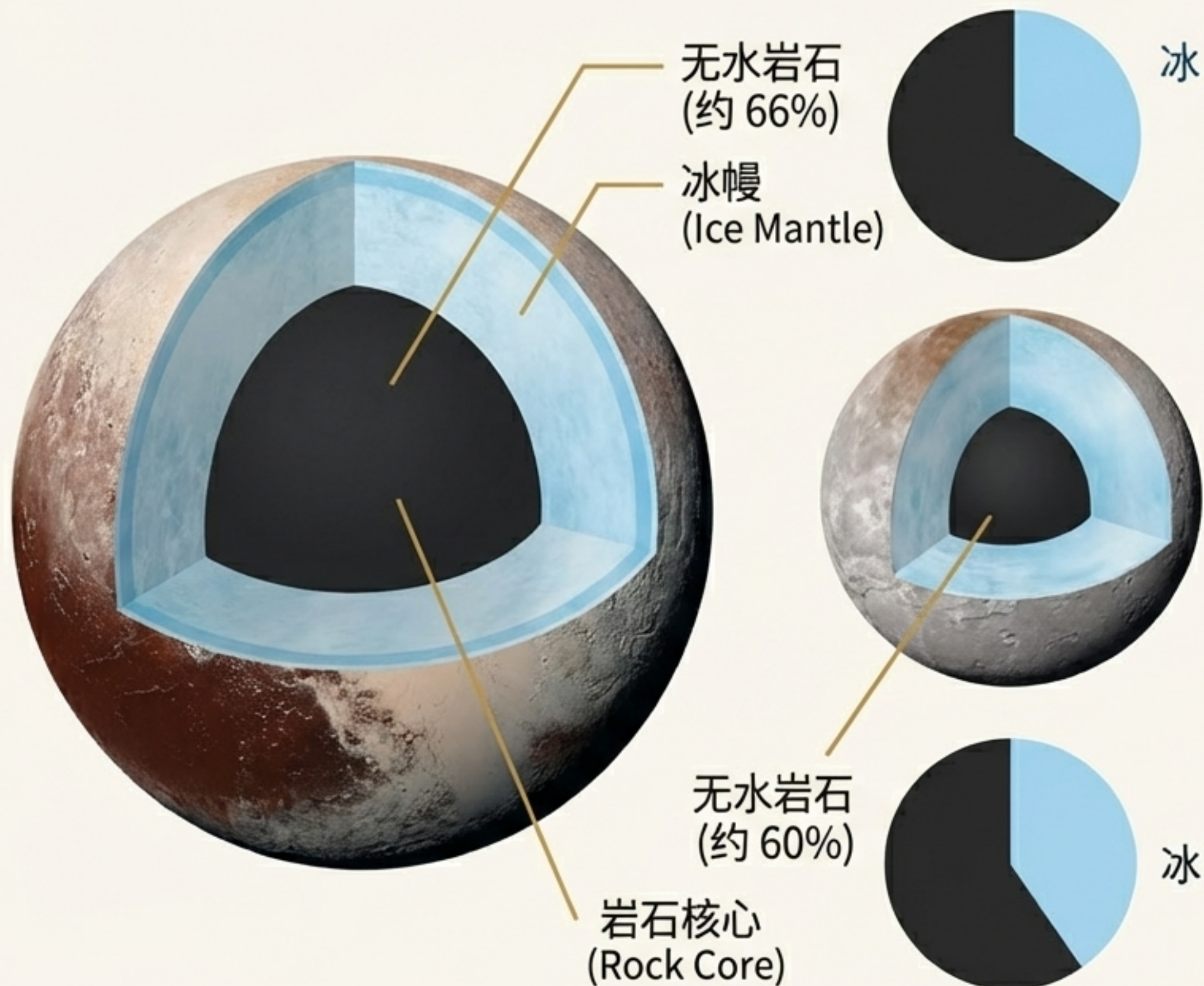
卡戎: 半径 606.0 km, 密度 **1702 kg/m³**



相似外表下的不同核心

尽管整体密度相近，但基于分化的岩-冰结构模型分析表明，冥王星和卡戎的岩石质量分数存在统计学上的显著差异。卡戎实际上比冥王星“更冰”。

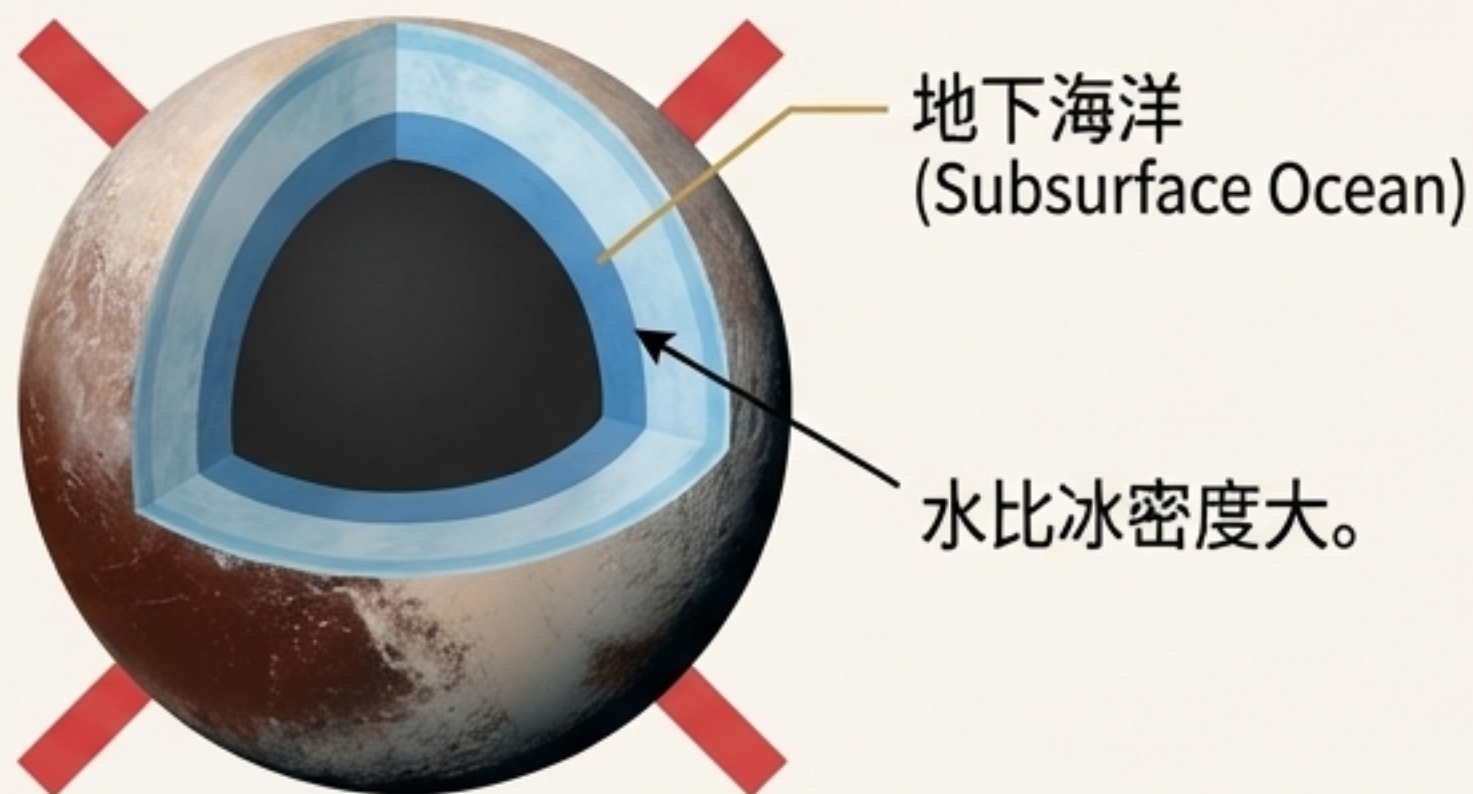
结论：卡戎的“含冰量”比冥王星高出约10%。这个看似微小的差异，对于解释它们的起源至关重要。



是海洋还是孔隙？解开密度差异之谜

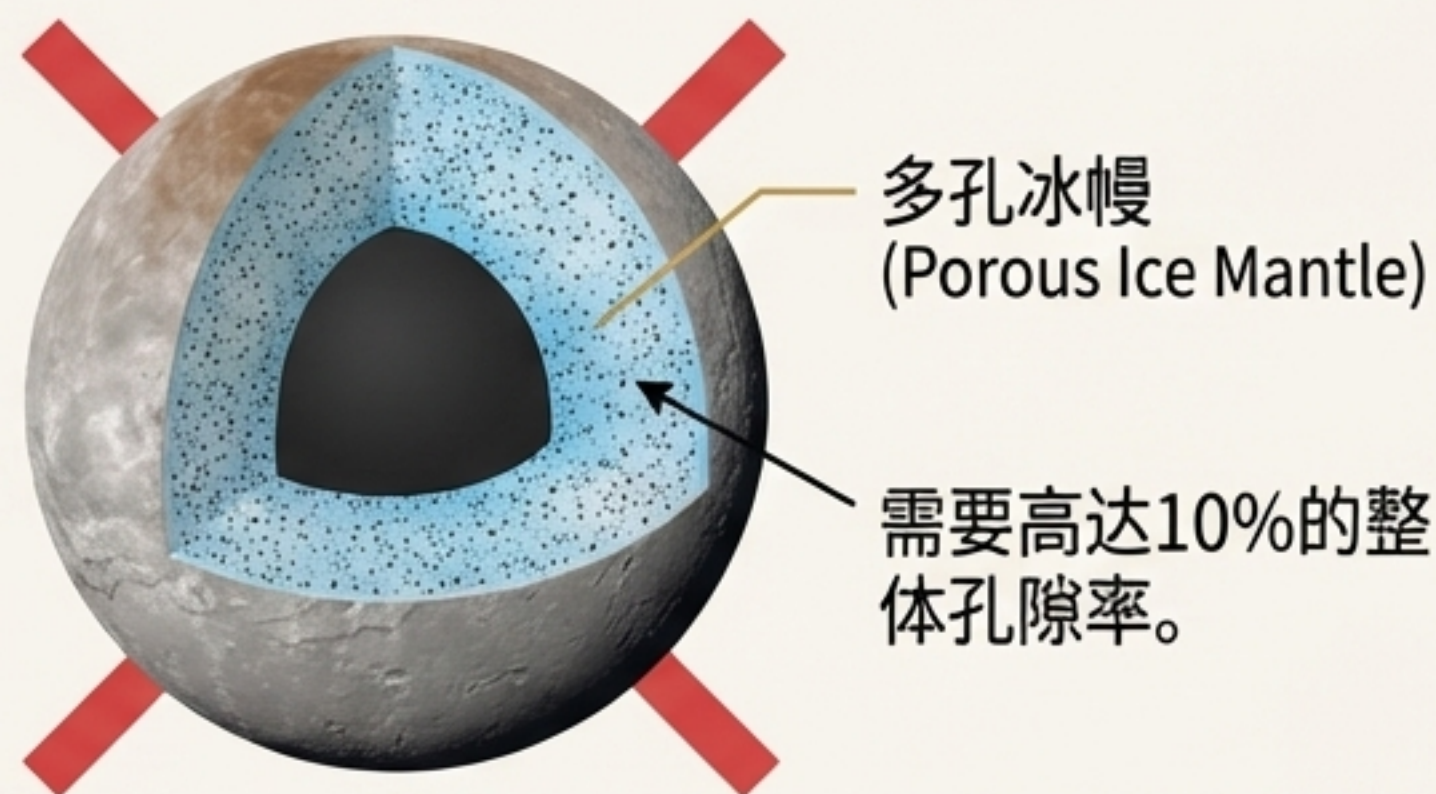
科学家们考虑了两种可能解释密度差异的物理效应，但计算表明它们都无法完全解释观测到的数据。

假设1：冥王星有地下海洋



要使二者的岩石分数相同，冥王星的整个冰幔都需要融化成海洋，这与冥王星崎岖的地质特征相矛盾。

假设2：卡戎的冰幔存在大量孔隙

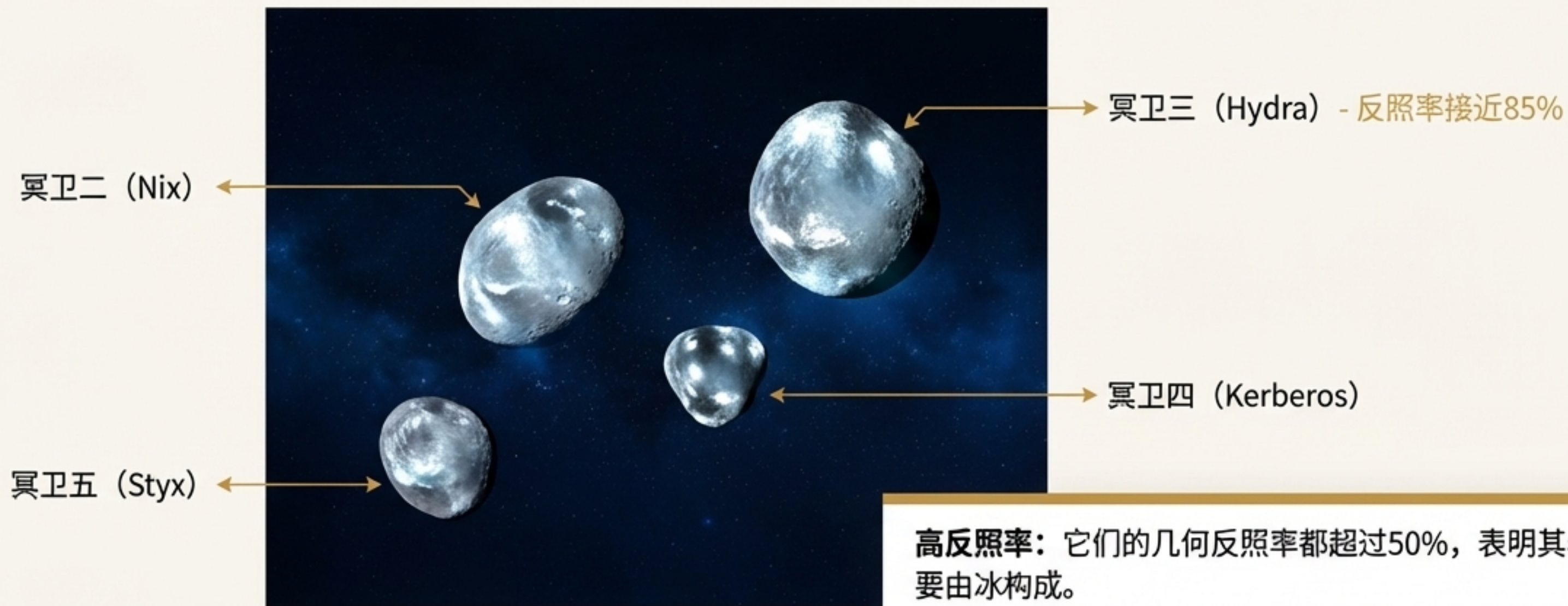


考虑到其内部压力和演化历史，如此高的孔隙率不太可能持续存在。

结论： 这些替代理论均不成立。我们必须接受一个事实：卡戎的组成确实比冥王星更富含冰。

解开谜团的关键：冰封的小卫星

冥王星系统中的另外四颗小卫星——冥卫二（Nix）、冥卫三（Hydra）、冥卫四（Kerberos）和冥卫五（Styx）——提供了一条决定性的线索。它们与冥王星和卡戎截然不同。



高反照率：它们的几何反照率都超过50%，表明其表面主要由冰构成。

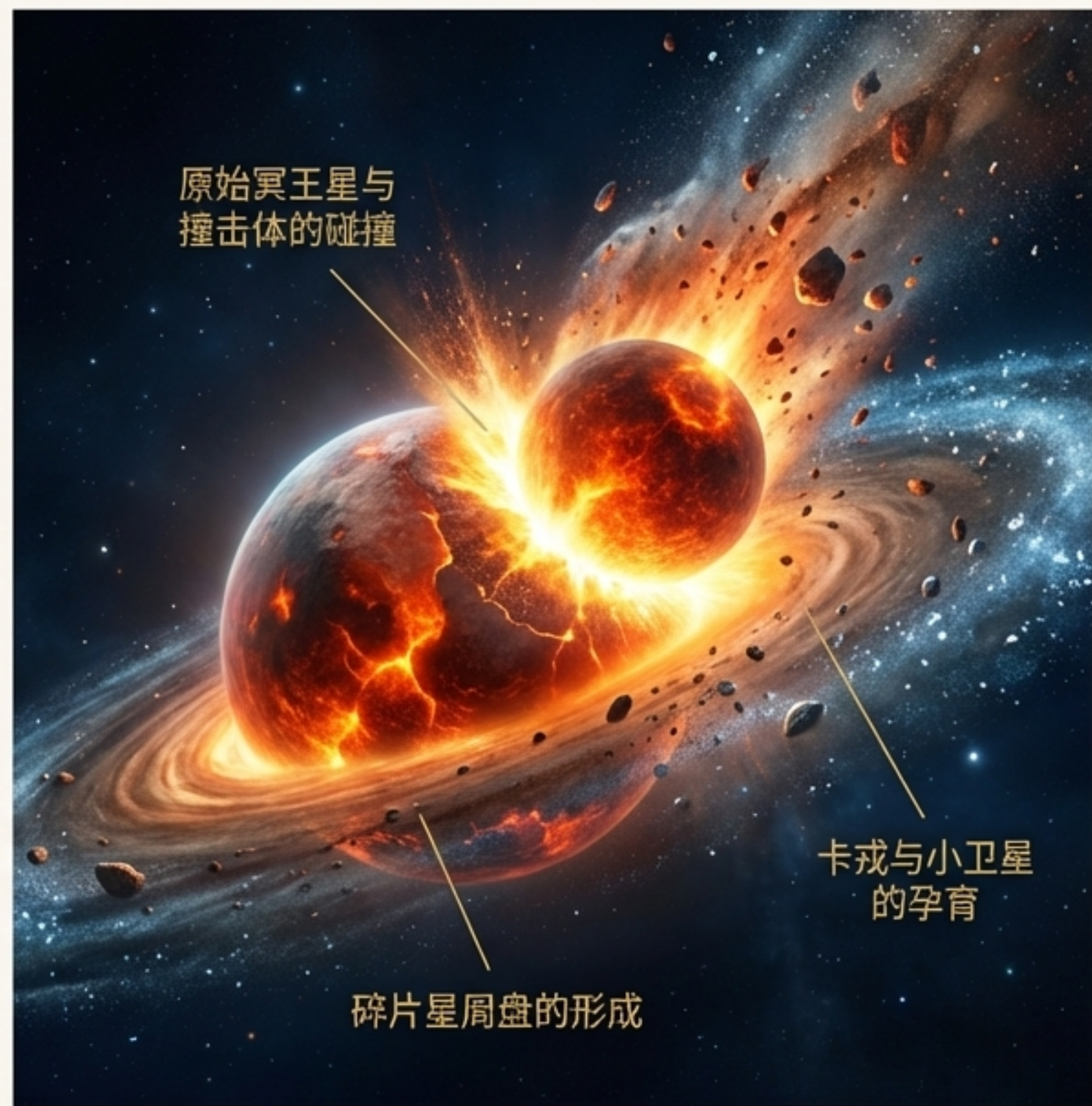
成分确认：光谱数据显示，它们的表面存在大量水冰，甚至可能有氨冰的迹象。

结论：这四颗小卫星远比冥王星或卡戎“更冰”。

一场塑造世界的远古撞击

如何解释一个系统中天体成分的巨大差异？所有线索都指向一个灾难性但富有创造性的事件：一场巨型撞击。这是形成冥王星-卡戎系统的主要理论。

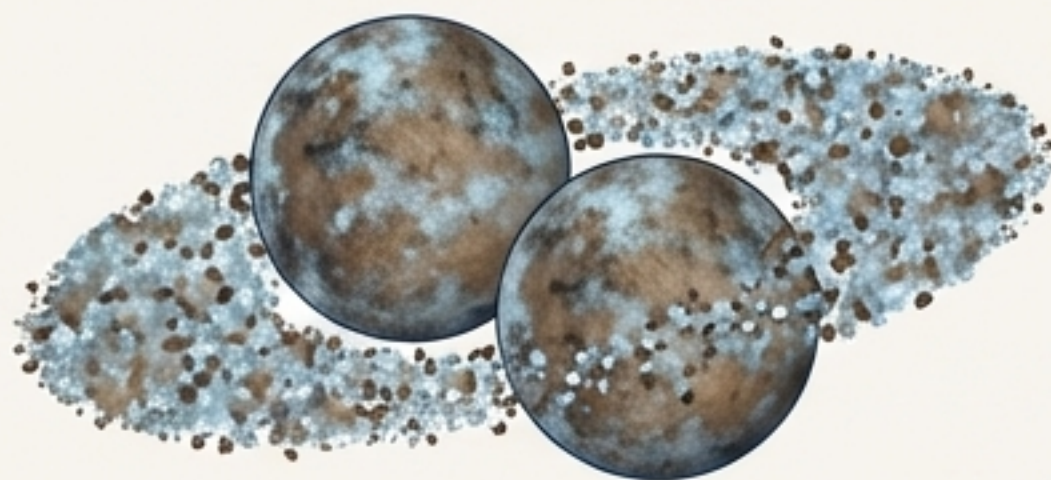
理论重点：在太阳系早期，一个与原始冥王星大小相当的天体撞击了它。这次撞击不仅形成了卡戎，还产生了一个由碎片组成的星周盘，最终凝聚成了四颗小卫星。



撞击的“配方”：缓慢、倾斜、且来自“半成品”

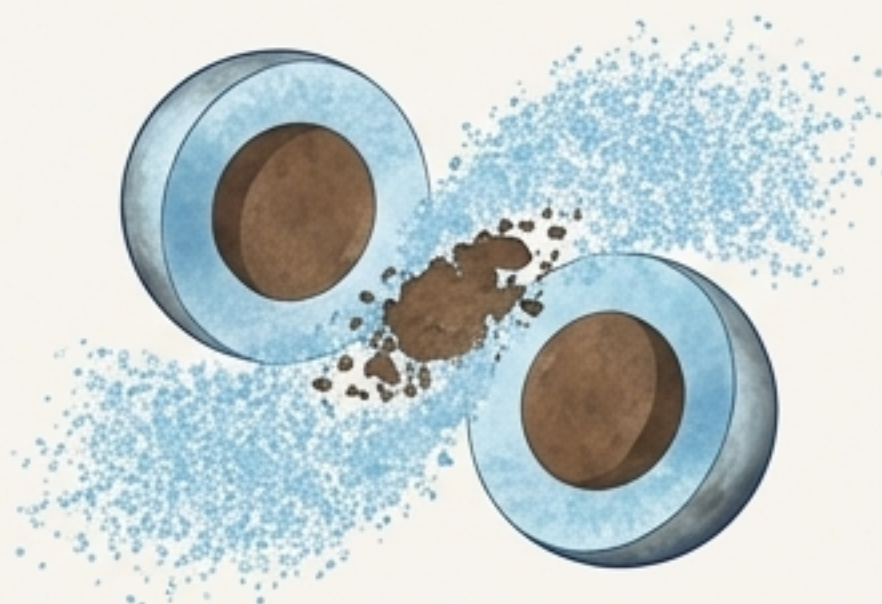
并非任何撞击都能产生我们今天看到的冥王星系统。
新视野号的数据为这次撞击的性质提供了严格的约束。

完全未分化
(Fully Undifferentiated)



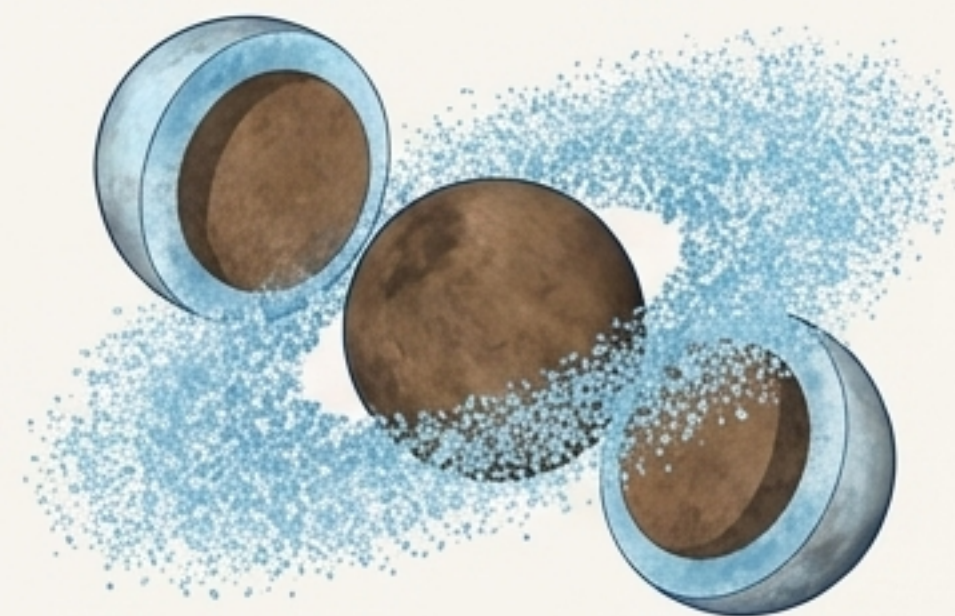
✗ 无法形成富含冰的碎片盘

完全分化
(Fully Differentiated)



✗ 会使卡戎变得“过于”富含冰

部分分化
(Partially Differentiated)



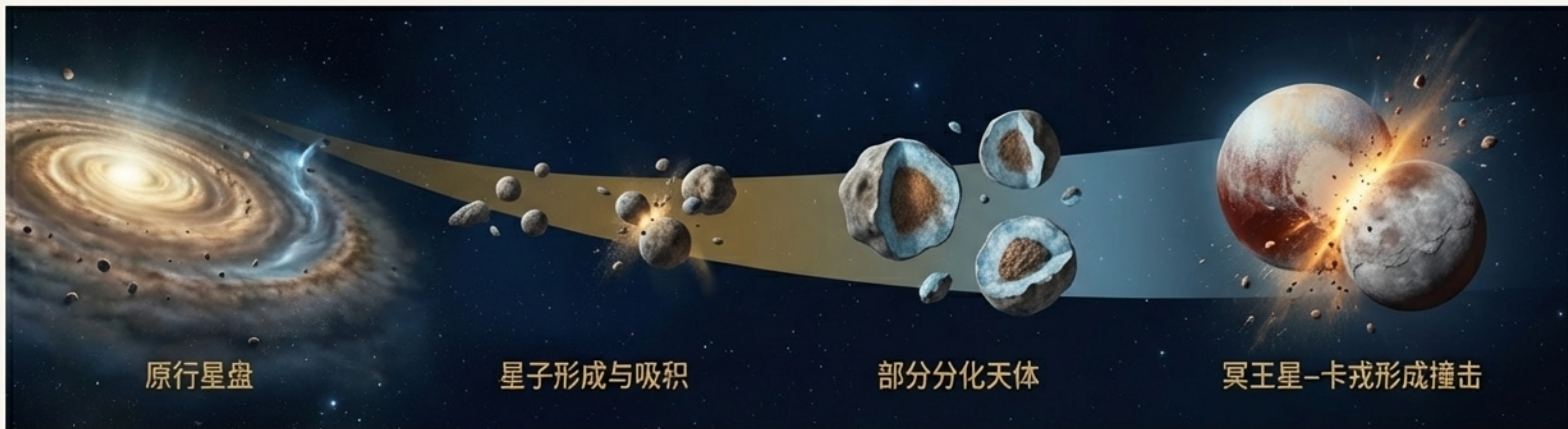
✓ 精确地产生一个稍冰的卡戎和由
纯冰幔碎片形成的极冰小卫星

撞击参数：速度必须相对缓慢 ($v_{\infty} < 0.7 \text{ km/s}$)，且撞击体必须是部分分化的——已经形成了岩石核心和冰幔，但尚未完全分离。

冥王星的故事，柯伊伯带的历史

冥王星系统的形成“配方”也揭示了其诞生地——远古柯伊伯带的环境和演化历史。

- **形成时间：**撞击体只是“部分分化”，意味着它们形成的时间相对较晚（在太阳系最初的几百万年之后），避免了早期放射性同位素（如 ^{26}Al ）产生的过多热量。
- **形成方式：**形成过程必须足够缓慢，以避免积聚过多的吸积热。这支持了传统的“星子碰撞”模型，但对某些快速的“卵石吸积”模型构成了挑战。
- **对“星云直接坍缩”模型的排除：**观测到的成分不均一性排除了整个系统由一团均匀的“卵石堆”直接引力坍缩形成的可能性。

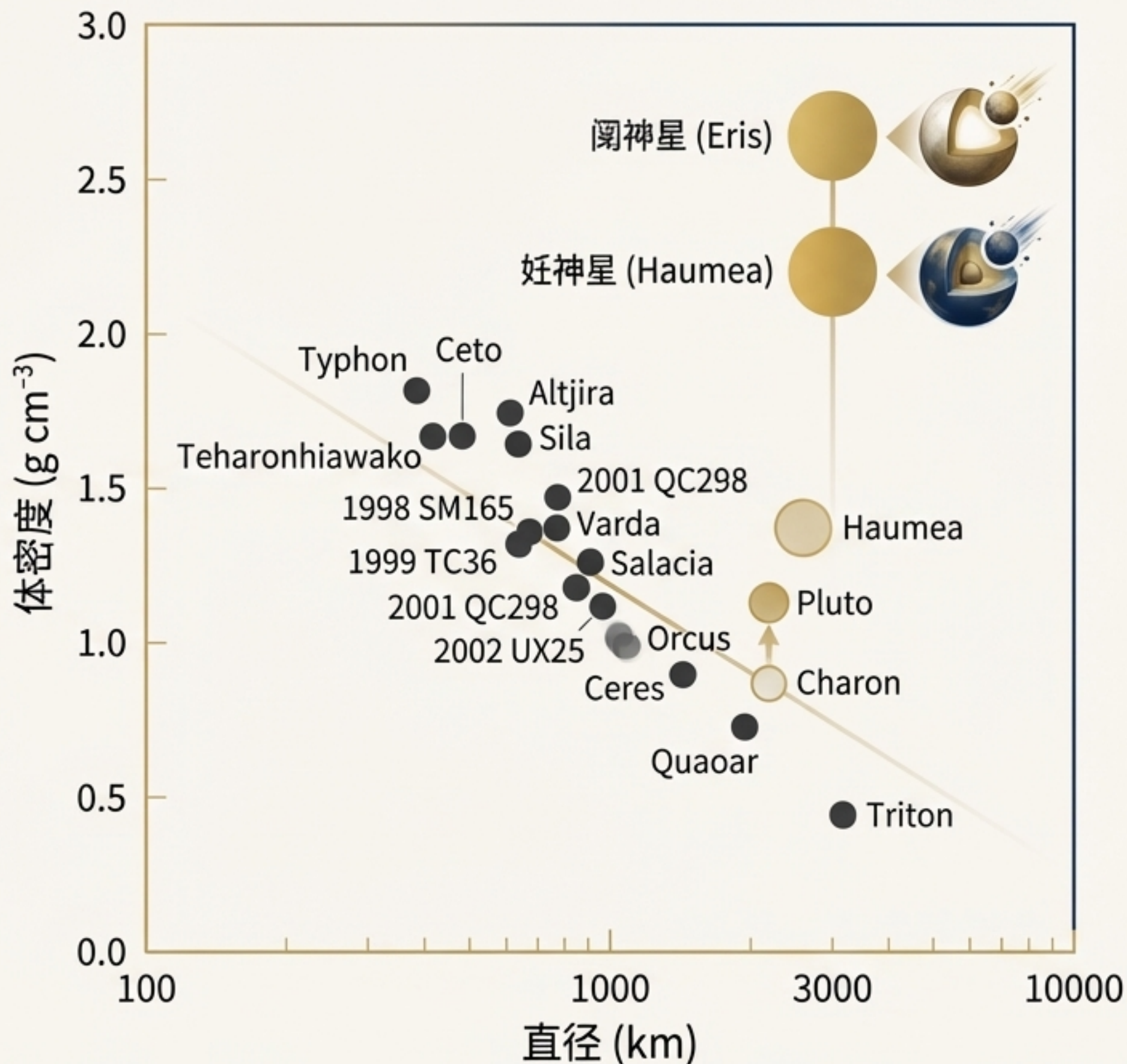


巨型撞击：塑造矮行星的普遍力量？

柯伊伯带中的大型天体在密度上表现出巨大的随机差异。例如，妊神星和阌神星的密度远高于冥王星。巨型撞击可能是造成这种多样性的主要原因。

撞击剥离假说

像妊神星那样的高密度天体，可能是在一次剧烈的撞击中被剥离了大部分富含冰的地幔，只留下了更致密的岩石核心。因此，巨型撞击不仅可以创造卫星系统，还可以深刻地改变矮行星本身的整体成分。

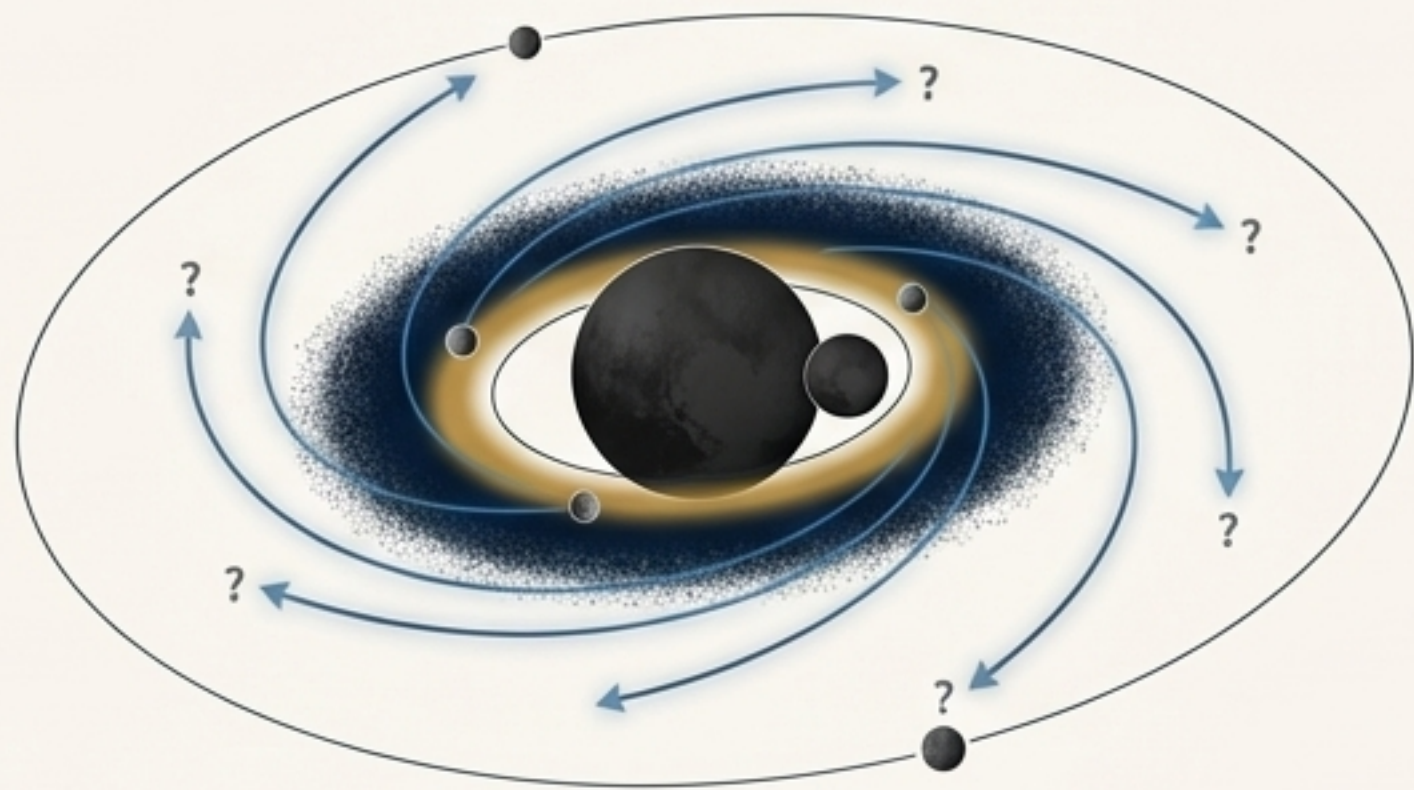


新视野号留下的未解之谜

尽管取得了巨大成功，新视野号的发现也带来了两个主要的动力学难题，至今仍未完全解决。

1. 卫星轨道的扩展

数值模拟显示，撞击产生的碎片盘最初是紧凑的。这些小卫星是如何迁移到今天这样宽阔、稳定的轨道上，同时避免被强大的卡戎吞噬的？这是一个复杂的轨道动力学问题。



2. 在“尼斯模型”动荡期中的幸存

如果冥王星系统在太阳系外行星轨道大迁移（“尼斯模型”）之前形成，那么这个由引力微弱束缚的脆弱卫星系统是如何在剧烈的动力学动荡中幸存下来的？



从一个光点到一个世界：新视野号的遗产

新视野号任务彻底改变了我们对太阳系外缘的认知。它将冥王星从一个模糊的像素点，转变为一个拥有复杂地质、多变大气和独特历史的生动世界。

- **探索：**完成了对太阳系九大“古典行星”的初步探索。
- **科学：**提供了关于矮行星系统形成过程的“活化石”，揭示了巨型撞击在塑造太阳系“第三疆域”中的关键作用。
- **未来：**它所揭示的复杂性和提出的新问题，为未来的探索（如冥王星轨道器任务）指明了方向，因为要完全解开这些世界的秘密，我们需要重返那里。





飞向更遥远的深空

在完成了对冥王星的探索后，新视野号继续向柯伊伯带深处前进。2019年1月1日，它成功飞越了当时人类探测过的最遥远天体——“天涯海角”（486958）Arrokoth），进一步揭示了行星形成最初阶段的秘密。

新视野号的旅程仍在继续，它正朝着星际空间航行，成为继先驱者号和旅行者号之后，又一个飞向太阳系之外的人类使者。