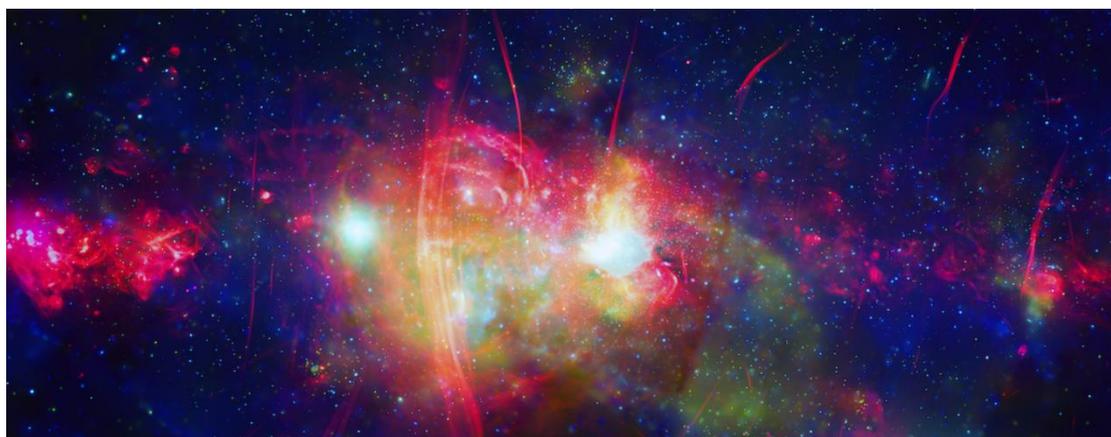


## “当暗物质变得模糊时” (When Dark Matter Gets Fuzzy)

究竟哪种暗物质模型能最恰当地描述我们的宇宙？一项新发表的研究使用我们自己星系中的一个独特区域来约束一个特定模型：模糊暗物质（fuzzy dark matter）模型。



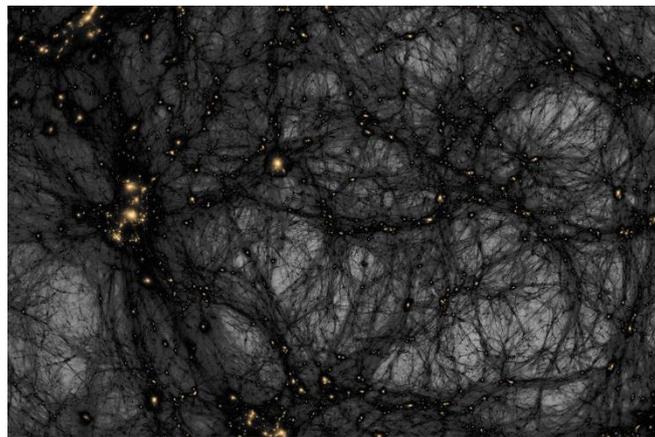
这张图片展示了银河系中心的 X 射线（绿色和蓝色）及射电（红色）波段的复合图像。一项新研究利用中心分子区来限制暗物质模型。[X-Ray: NASA/CXC/UMass/D. Wang et al.; Radio: NRF/SARAO/MeerKAT]

### 关于暗物质模型

通过对宇宙的观察，我们得知宇宙中只有约 15% 的物质是我们能够观测到的普通重子物质。剩下的 85% 是暗物质。暗物质被认为是一种神秘的物质，它通过引力相互作用影响我们宇宙的结构和演化，但这种物质不会发光，因此人们称之为暗物质。

由于直接测量暗物质粒子的特性比较具有挑战性，关于暗物质究竟是什么仍然是一个悬而未决的问题。目前存在许多不同的暗物质假说和模型。有些认为

暗物质是“热”的，另一些认为它是“冷”的。关于暗物质到底是微观的亚原子粒子，还是类似原初黑洞这样的宏观物体也存在许多争议。对于天文学家而言，将不同模型的预言与我们观测到的实际结构相比较，是测试这些模型最有效的方式。



目前有许多模型可以描述暗物质的成分，演化，以及它如何影响我们宇宙中结构的形成。

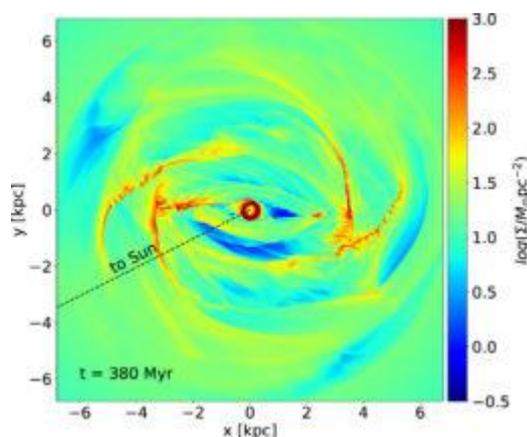
[美国自然历史博物馆]

### 来自银河系中心奇特结构的约束

我们生活的银河系中的一个独特区域，中心分子区（Central Molecular Zone, CMZ），却可以为暗物质模型提供约束。中心分子区由极其致密，绕星系中心转动的分子气体云团构成，其直径只有约几百光年。一些观测结果表明，这些分子气体云团的轨道呈环状或盘状，并在垂直于盘面的方向表现出扭曲的三维形状。但是笼罩于银河中心周围的尘埃阻碍了我们对中心分子区的进一步了解。

在另一方面，中心分子区的形状不仅是个谜，其形成的原因也不甚清晰。过去的研究认为银河系中的结构形成取决于星系盘的动力学特性。中心分子区可能是通过银河系的棒状势场及星系中心堆积物质的引力势共同作用所产生的。

最近李智博士等人（上海交通大学，李政道研究所）在一篇新发表文章中，使用上述物理图像来约束一种特定的暗物质模型，即模糊暗物质模型。该模型认为暗物质粒子由非常轻的波色子构成，这些粒子的物质波波长恰好处于星系尺度，并在星系尺度上表现出波的特性，因此称之为模糊暗物质。模糊暗物质模型的一个最重要的预言就是暗物质粒子会堆积在星系中心，进而影响星系中心的引力势。



模拟中气体的表面密度分布图。图中心高密度的气体环即为模拟中产生的中心分子区。该模拟中仅引入了一个恒星组成的核区核球，但没有包含模糊暗物质预言的中心孤子核。虚线指向太阳方向。[Li et al. 2020]

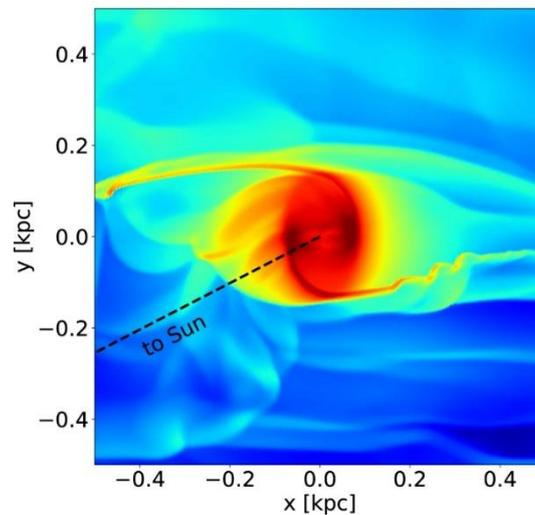
## 在银河系的中心添加“模糊感”

李智等人运行了一系列高精度流体数值模拟，用以研究气体在受观测限制的银河系势场中的结构形成与演化。在其中一些模拟中，作者们仅在银河系中心引入一个由恒星构成的核区核球（nuclear bulge）。在其他模型中，他们也引入了一个与模糊暗物质模型预言的中心孤子核。

该文结论表明，只有极其致密的核区核球起才能很好地重现观测到的中心分子区的结构和动力学。但是，一个质量较轻的核区核球加上模糊暗物质预言的孤子核的组合也可以很好地重现观测结果。他们得到的暗物质粒子的质量

约在  $(2-7) \times 10^{-22} \text{eV}$  内。该质量范围与很多其他独立方法得到的结果符合较好。因此，模糊暗物质模型仍有可能是一个合理的模型（“leaving the door open for this dark matter model”）。

那么暗物质是否真的“模糊”？我们还不能确定。但是李智博士和他的合作者们展望了一些未来的观测研究方向，例如限制银河系中心的恒星的质光比，将有助于我们更好地回答这个问题，这也会使我们更好地了解宇宙中看不见的那 85% 的物质的其他性质及演化历史。



放大后的模拟中气体的表面密度分布图。该模拟中同时包含了一个恒星组成的核心区核球，以及模糊暗物质预言的中心孤子核。虚线指向太阳方向。[Li et al. 2020]

AAS 报道原文：<https://aasnova.org/2020/08/14/when-dark-matter-gets-fuzzy/>