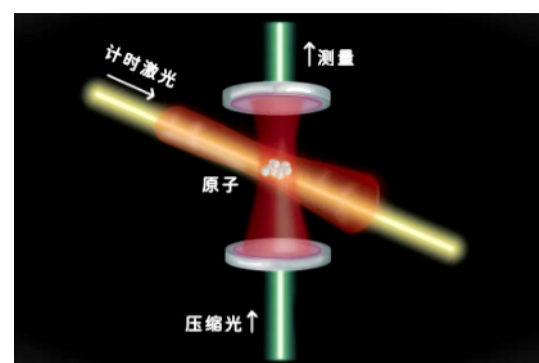


用纠缠原子，追寻时间极限



从人类开始追踪时间的流逝起，就会凭借一些周期性的现象来标记时间，例如太阳在天空的运动。在这些事件中，原子的振荡是科学家目前所能观测到的最稳定周期性事件。而原子钟也是目前世界上最精确的计时仪器。

原子钟通常会使用激光来测量原子的振荡。以恒定的频率振荡的原子，就好像是许多同步振荡的微型单摆一样。目前，世界上最好的原子钟能以极高的精确度追踪时间，如果它从宇宙诞生之初就开始运行，那么累计到今天，它的误差也只有大约半秒而已。

然而，对于许多科学家来说，他们希望这一精确度还能继续高。拥有更加精确的原子钟具有十分重要的科学意义，它们能帮助探索更多令人费解的问题，比如引力对时间流逝有什么影响？时间和光速是否会随着宇宙年龄的增长而变化？……

若要获得更加精确的原子钟，科学家需要能够更准确地测量原子的振荡，现在，麻省理工学院的物理学家设计了一种新型的原子钟，将原子钟的精确性实现了进一步的提高。这一新的研究成果发表在近期的《自然》杂志上。

为了精确计时，理想的原子钟应该能准确地追踪每个原子的振荡。但在原子级别的微观尺度下，原子的行为取决于量子力学中的那些神秘定律：当对它进行测量时，其行为就像是抛掷一枚硬币，只有在多次抛掷再取平均数后，才能得出正确的概率。这个极限就是物理学家所说的标准量子极限。当原子的数量越多，得出的平均值就越趋向于正确的值。

这也是为什么现在的最先进的原子钟所测量的，都是随机振荡的原子云。这些原子钟被设计来对由数千种相同类型的原子组成的气体进行测量，以便能更好地对它们的平均振荡进行估算。一般来说，典型的原子钟是这样做的：首先用一套激光系统将

一团超高密度的原子气体困在一个由激光形成的阱中；再发射另一束非常稳定的、频率与原子的振荡频率相近的激光，以探测原子的振荡，记录时间。

然而，标准量子极限仍然存在，这意味着无论有多少个原子，关于每个单个原子的频率仍存在一些不确定性。而这正是量子纠缠或许能够解决的问题。研究人员认为，如果原子处于纠缠状态，那么它们各自的振荡将会收敛到一个共同的频率附近，这与没有纠缠的情况相比，偏差会更小。因此，这样的原子钟所测量的平均振荡，其精度将超越标准量子极限。

在新的研究中，研究人员建造的原子钟测量的是量子纠缠的原子。量子纠缠描述的是一种非经典的物理状态，在这种状态下，不同的原子可以显示出相关的测量结果。

在实验中，研究人员大约让 350 (±40) 个铯原子实现了相互纠缠。这些原子的振荡频率非常高，如果它们的振荡可以被精确地捕捉，那么它们就可被用来对更小的时间间隔进行区分。

在实验过程中，研究人员先将原子冷却到接近绝对零度的温度。这些原子被困在由两面镜子构成的光学腔中。他们向光学腔中发射一束压缩激光，这束在反射镜之间来回碰撞的光会与原子发生成千上万次的相互作用。如此一来，这束光就像是原子与原子之间的“通讯”纽带，第一个与这束光相遇的原子会对它产生轻微的改变；接着，它会与第二个、第三个原子相互作用……经过许多个周期之后，这些原子就会集体地彼此“认识”，并开始表现出相似的行为。

经过这个过程之后，这些原子就被“量子纠缠”了。然后，另一束激光会被用来充当原子钟的功能，对原子的平均频率进行测量。

为了测试新原子钟的效率，研究人员在不涉及量子纠缠的情况下进行了类似的实验。他们发现，涉及纠缠原子的原子钟，能以 4 倍速度达到不涉及纠缠原子的原子钟的相同精度。

研究人员表示，如果现在最先进的原子钟能够像新研究中的那样做到测量纠缠的原子，那么它们的计时精确性将能得到很大的提升。在追踪整个宇宙的年龄时，误差将不超过 100 毫秒。并且除了能更加准确地计时之外，这样的原子钟还能帮助科学家破译深藏于宇宙中的许多奥秘，比如暗物质和引力波，让科学家得以探索一些古老的大问题，从而有望揭示新的物理学。(袁理)

研究人员发现更好的金属合金设计方法

从汽车到卫星，从建筑材料到电子产品，先进的金属合金在现代生活的关键部分中必不可少。但是，由于研究人员对构成大多数金属的微小晶粒之间的边界一知半解，限制了为特定用途创造具有最佳强度、硬度、耐腐蚀性和导电性等性能的新合金。

当两种金属混合在一起时，次级金属的原子可能会沿着这些晶界聚集，或者它们可能会通过晶界内的原子晶格分散开来。材料的整体性能很大程度上取决于这些原子的行为，但迄今为止还没有系统方法可以预测它们的行为。

麻省理工学院的研究人员现在找到了一种方法，结合计算机模拟和机器学习过程，对这些性质进行详细预测，从而引导用于各种应用的新型合金的开发。这些发现发表在《自然-通讯》杂志上，论文由研究生 Malik Wagih、博士后 Peter Larsen 以及材料科学与工程教授 Christopher Schuh 共同发表。

Schuh 解释说，多晶金属占我们所使用金属的绝大部分，了解多晶金属的原子级行为是一项艰巨的挑战。虽然单个晶体中的原子排列有序，相邻原子之间的关系简单且可预测，但大多数金属物体中的多个微小晶体却并非如此。“晶体在我们称之为晶界的地方糅合在一起，传统结构材料中，有成千上万的这样的边界。”

这些边界有助于确定材料的性质。他说：“你可以把它们看作是晶体粘在一起的胶水。”“但是它们是无序的，原子是杂乱的。它们与相融合两端的晶体都不匹配。”他说，这意味着它们存在数十亿种可能的原子排列方式，而晶体的排列方式只有几种。创造新的合金涉及“试图在金属内部设计这些区域，这确实比设计晶体要复杂数十亿倍。”

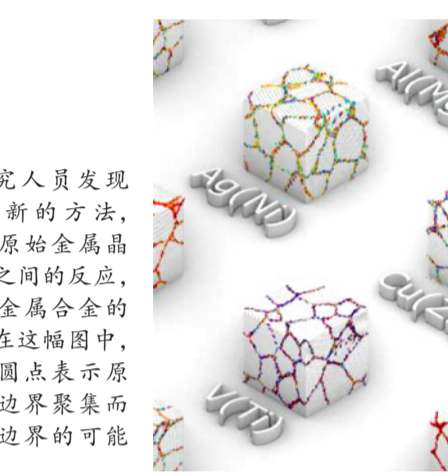
Schuh 用邻里邻居做了一个类比。“这有点像住在郊区，周围可能有 12 个邻居。在大多数金属中，你环顾四周，你会看到 12 个人，他们离你的距离都是

一样的。这完全是同质的。而在一个颗粒边界，你仍然有大约 12 个邻居，但他们都在不同的距离，他们都是不同大小的房子，在不同的方向。”

他说，传统上，设计新合金的人会直接忽略这一问题，或者只关注晶界的平均性质，就好像它们都是一样的，尽管他们知道事实并非如此。

相反，团队决定通过检查大量典型案例的配置和交互的实际分布来严格地处理这个问题，然后使用机器学习算法从这些具体情况进行推断，并为一系列可能的合金变化提供预测值。

在某些情况下，原子沿晶界聚集是一种理想的特性，可以提高金属的硬度和抗腐蚀能力，但有时也会导致脆化。根据一种合金的预期用途，工程师们将尝试优化其性能组合。在这项研究中，该团队基于文献中描述的基本组合，检测了 200 多种不同的贱金属和合金金属组合。研究人员随后系统地模拟了其中一些化合物，以研究它们的晶界构型。



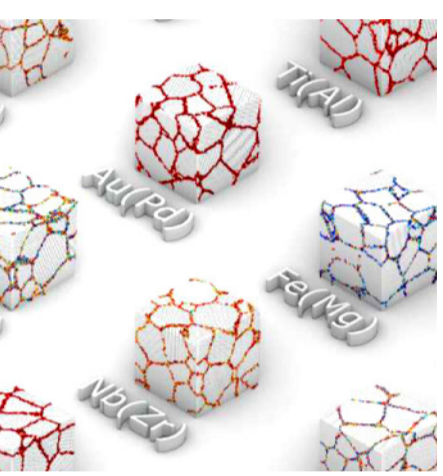
研究人员发现了一种新的方法，基于在原始金属晶粒边界之间的反应，以预测金属合金的性能。在这幅图中，彩色的圆点表示原子沿着边界聚集而非穿透边界的可能性。

这些数据被用于使用机器学习生成预测，而这些预测又被更多的模拟验证。机器学习的预测与详细的测量结果非常吻合。因此，研究人员能够证明许多被排除在外的合金组合实际上是可行的。Wagih 说，在这项研究汇编的新数据库已经在公共领域开放，可以帮助任意一位

正在设计新合金的人。该小组正在加紧进行分析。“在我们理想设定中，我们要把元素周期表里的每一种金属都拿出来，然后把元素周期表里的每一种元素都加到这些金属里去。”Schuh 说。“所以你拿着周期表，交叉检查每一种可能的组合。”他说，对于大部分组合，目前还没有基本数据，但随着越来越多的模拟和数据收集的完成，这些组合就可以集成到新系统中。

乔治梅森大学的物理学和天文学教授 Yuri Mishin 说：“合金中溶质元素的晶界偏析是材料科学中最基本的现象之一。偏析会对晶界产生灾难性的脆化作用或提高晶界的粘聚力和抗滑性。对偏析的精确控制是设计具有先进机械性能、热学性能或电子性能的新材料的有效工具。”

但是，Yuri Mishin 教授补充说，“现有偏析模型的一个主要局限是依赖于平均偏析能，这是一个非常粗糙的近似。”但这个团队已经成功解决了这一挑战。



对于这个研究，他评价道，“研究质量是优秀的，核心思想具有重要的潜力，通过提供一个基于合金性能的快速筛选框架，将对合金设计领域界定合金晶界产生影响。”(曾欣欣)



小行星采矿已经成为一些公司研究的课题。

如何从零开始建造一颗宜居行星



建造一个宜居星球的想法一直是科幻作家们讨论的话题。问题是，我们能做到吗？如果能做到，我们又该怎么做？

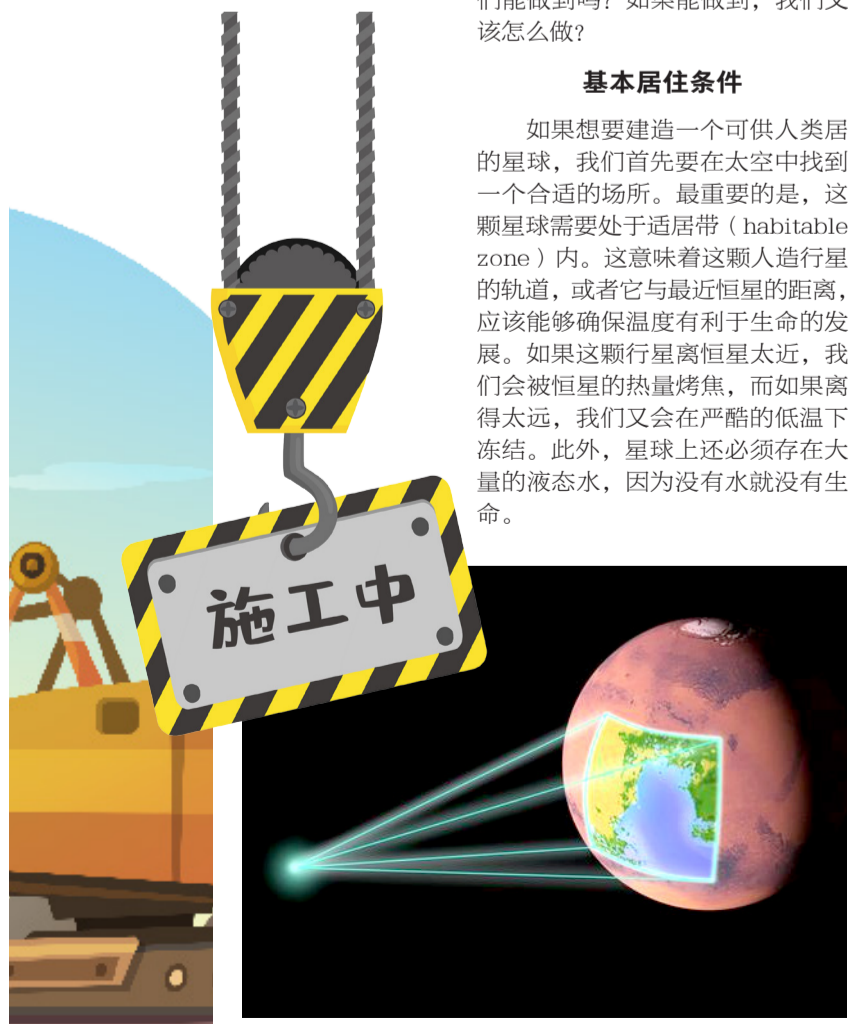
无论是建造一个类似行星的空间站，还是完整地复制一颗行星，都远远超出了目前的人类科技水平。至少在有生之年，我们都不太可能见证这样的壮举。不过，将现有行星地球化倒是一个更可行的选择。

如今，似乎每个人都想进入太空，有些人甚至想在太空中建立国家。另一方面，世界正面临着许多全球性的威胁，如气候变化、人口过剩和潜在的流行病等。为了应对这些威胁，准备一个后备计划总是好的。显而易见的一个计划便是进入太空，在远离地球的地方建立人类殖民地。

在科幻作品中，我们经常能看到人类居住在行星大小的物体上。从《星球大战》中传奇的死星，到《银河系漫游指南》中的行星建造设施，建造一个宜居星球的想法一直是科幻作家们讨论的话题。问题是，我们能做到吗？如果能做到，我们又该怎么做？

基本居住条件

如果想要建造一个可供人类居住的星球，我们首先要在太空中找到一个合适的场所。最重要的是，这颗星球需要处于宜居带 (habitable zone) 内。这意味着这颗行星的轨道，或者它与最近恒星的距离，应该能够确保温度有利于生命的发展。如果这颗行星离恒星太近，我们会被恒星的热量烤焦，而如果离得太远，我们又会在严酷的低温下冻结。此外，星球上还必须存在大量的液态水，因为没有水就没有生命。



未来我们或许可以对火星进行地球化改造。

除了合适的温度和与恒星的距离外，我们还需要含有可呼吸气体的大气层、类似地球的稳定重力、适当的昼夜循环等。只有满足这些先决条件，我们才能考虑从零开始构建一个宜居星球的计划。

现在，建造所谓的“人造宜居行星”就可以有两种方式。第一个方案，我们可以制造一个行星复制品，包括一大块被做成巨大球体的岩石，几乎与太阳系的其他行星没有区别。另一个方案，就是在太空中建造一颗巨大的卫星，也许更确切地说，是一个球形空间站，就像《星球大战》中的死星一样。第二种方案并不是真正意义上的行星。尽管呈现球形，但这颗人造星球并不会以固定的轨道绕太阳运行，而可能只是像其他人造卫星一样在地球上空盘旋。

对工程师和科学家来说，这两种方案都是极其艰巨的，但第二种方案相对更加可行。接下来，就让我们从这个方案开始吧。

构成空间站

如前所述，建造一个类似行星的球形空间站要比建造一个巨大的类地行星容易得多。从《星球大战4：新希望》中可以看到，死星的直径大约为 120 千米，非常巨大！要知道，人类建造过的最大的空间站长度还不到 160 米。当然，当你将死星与直径为 12756 千米的地球相比时，就显得微不足道了。不过，为了简单起见，我们这里还是设定为 120 千米。

如果我们像建造航空母舰那样，建造这个类似行星的新空间站，并且主要用钢铁作为建筑材料，那么将需要大约 1000 万吨的钢铁。以我们目前的技术而言，光是生产这么多钢铁就需要 80 万年以上的的时间！目前，人类每年只能生产大约 18 亿吨的钢铁。

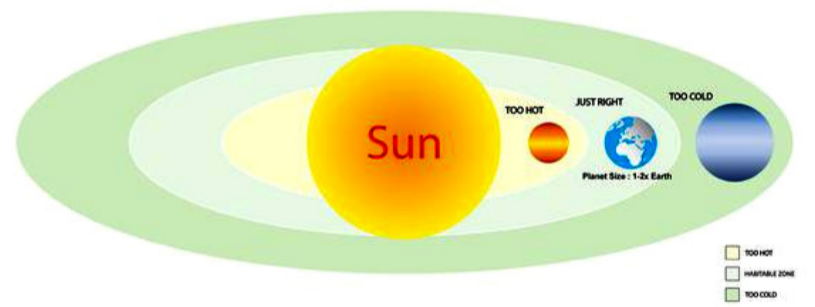
要获得建造这种行星空间站的原材料，唯一的变通办法是向太空获取，而不是依赖地球的资源。为此，我们可能需要开采小行星，甚至月球。事实上，许多公司都在研究这个概念，一些相关的研究也在进行中。

现在，假设我们在某种程度上克服了采购原材料的后勤挑战，那么接下来，我们就需要利用先进的机器人（能够在微重力下工作）建造一个可供居住的球形物体。之所以要建造一个类似行星的空间站，是因为这样才能获得类似地球的重

力。在失重状态下，我们的身体情况可能会变得十分糟糕。在国际空间站 (ISS) 长期工作的宇航员经常要应对由于微重力造成的骨量流失、低血压和其他健康问题。

建造一个像死星一样的类行星球形空间站听起来很酷，但它可能存在着固有的缺陷：缺乏稳定性。为了保持其稳定运行，我们需要进行大量的主动维护。要实现这一壮举，人类至少需要成为卡尔达肖夫指数中所谓的 I 型文明。而根据一些科学家的说法，我们距离达到这一水平还需要几个世纪的时间。

那么，如果是建造一颗完整的行星呢？



地球处于太阳系的宜居带内

复制行星

马克·亨普塞尔 (Mark Hempsell) 是英国私营航空公司 Reactions Engines 的航空工程师，已经对建造人工行星的可能性进行了全面的研究。他的研究成果发表在《英国星际学会杂志》(Journal of the British Interplanetary Society, 简称 JBIS) 上。

亨普塞尔认为，没有必要完全精确地建造地球的复制品。换言之，我们可以建造小一些的复制行星。他估计，要在人造行星上达到相当于地球重力的水平，工程师们可以将地球十分之一的质量压缩到一个接近地球大小的球体中。地球的质量约为 5842 亿吨，而月球的直径是 3476 千米。当然，这仍然需要大量的岩石，但亨普塞尔的建议是，我们可以去模仿大自然创造行星的方式。

从大自然中汲取灵感

像地球这样的岩石行星是由太阳诞生时所释放出来的残余物质聚集而成的。在几百万年里，这些残留颗粒一点一点、一块一块地聚在一起，直到形成一颗适居的行星。亨普塞尔认为，我们可以尝试模仿

大自然形成行星的过程，但要加快速度。

亨普塞尔认为，为了加快速度，我们可以在太阳附近建立一个先进的核聚变设施，在那里获取建造新的类地行星所需的较重的物质。他指出，密度较大的元素如钨、铀和铂等，将是构建复制行星的不错选择。这些较重的元素可以层层叠在一起，然后自然冷却。

不过亨普塞尔承认，目前人类已获得这些元素的唯一途径是超新星的核爆炸，我们或许能将我们发展到卡尔达肖夫指数的 II 型文明时，才能建造一个具有如此大能量的核聚变设施。然而，即使可以用

这种方法来加快行星的形成过程，建造一颗行星也需要几千年的时间。

更好的选择：地球化

除了上述两种异想天开的想法，还有一个更可行的选择——通过地球化改造行星或卫星，使其适合人类居住。

在地球化改造中，我们不必从零开始建造行星。我们所要做的，就是改造已经存在的行星（或卫星），使其环境适合生命生存。例如，我们可以在火星上进行核爆炸，使其大气层变暖到我们所需的程度。然后，我们需要寻找一种能保留住火星大气层的物质，使其能像地球一样维持适宜温度。许多研究人员相信，这一设想有可能在几十年内成为现实。

最后总结一下，从科幻作品的角度，从零开始建造行星是相当有意思的情节，但实际上，这一想法的实现离现在的我们还很遥远。未来几十年内，我们或许能将火星或月球变得更像地球，对人类来说，这已经是一项难以置信的壮举。(任天)