

解释微调的第三种方法

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Francesco Riva. *Physics*, November 15, 2021)

希格斯粒子的质量与地球轨道的椭圆度都比它们的理论估计值小几个数量级。这似乎是两个更大的量经过微调而抵消所造成的。粒子物理有两个最有趣的微调难题：希格斯玻色子的质量和宇宙常数。长期以来，人们一直认为粒子物理的微调可能与新的对称性有关，如难以解释的超对称性，或者与统计参数有关——我们微调的宇宙只是许多可能的多重宇宙之一。

为了理解微调，考虑一个可由理论计算的可观测量。例如，带电导体附近的电场，我们观测区域的电场可由其中已知的电荷来计算，但是可能受到未知电荷的影响，观测值将是已知的与未知的贡献之和。观测值接近由已知贡献导出的值表示未知贡献不重要，但是如果观测值比由已知贡献预期的值小很多，就意味着已知和未知部分几乎完全抵消了。通常，这种微调揭示出系统的某种新东西。例如，导体表面可能形成一个封闭的壳，其内部电场为零。



某些物理参数被“微调”后产生我们所了解的宇宙。有三位科学家提出一种新途径来解释希格斯粒子质量和宇宙常数这两个参数的微调

类似地，当考虑电子周围电场中的能量时，电子的质量似乎被微调了。对此的解释是有一种“新”粒子，正电子，它通过在电子周围的量子力学真空中产生短暂的电子—正电子对效应影响电子的质量。地球轨道的低偏心率是明显微调的例子，可从统计学上加以解释：地球只是无数外行星中的一个，它们的轨道偏心率适合生命的发育。在这两种情况下，明显的微调都被颠覆性的科学发现——正电子和系外行星的发现——所解决。

然而其他的微调仍然令人困扰，如在粒子物理标准模型中所发现的微调。标准模型的两个参数，希格斯粒子质量和宇宙常数，似乎得到了极其精确的微调：为获得这两个参数小的观测值，需要未知贡献来抵消来自标准模型精确描述的尺度上的物理的其他贡献。如果标准模型直到普朗克尺度上都有效，额外贡献对于希格斯粒子必须调谐到 10^{34} 分之一，对于宇宙常数要调谐到 10^{120} 分之一。

传统的解释分为两类：动力学解释和多重宇宙解释。动力学解释意味着新的结构、粒子或对称性，如超对称性（在这个理论中，物质和力的方程是相同的），或希格斯复合性（该理论认为希格斯玻色子是一种新的强相互作用的束缚态）。另一方面，多重宇

宙解决方案对于为什么所观测到的宇宙常数那么小，提供了一种统计解释：我们恰巧居住在一个“人类的”宇宙中，它只是宇宙常数适于生命存在的 10^{120} 个可能的宇宙之一。但是迄今为止的观测并没有为这两类解释提供证据。

由新泽西高等研究所的 Nima Arkani-Hamed、巴黎萨克雷大学的 Raffaele Tito D'Agnolo 和韩国国立大学的 Hyung Do Kim 探索的第三条路径将动力学与多重宇宙结合起来。他们考虑一个粒子物理系统，其中的特殊参数是希格斯粒子质量。这个方案需要一个“触发器”的概念：希格斯粒子与其他粒子或力的一定耦合将导致希格斯粒子质量影响其他物理量的观测。当希格斯粒子质量为特定值时才出现多重宇宙。这些“触发器”同时解决两种微调，因为多重宇宙容许一个人类宇宙的存在。与原来的多重宇宙解不同，触发器是可检验的。因为它们与可寻找的新耦合或新粒子相联系。与动力学解不同，触发器不意味着至今没有探测到的新对称性。

Arkani-Hamed 等的计算显示，只有很少的相关的触发器（在标准模型中，很奇怪地，也在扩展标准模型理论中），而且该理论能够对每个触发器的可能性给出精确的预言。最有趣的触发器可能涉及质量等于或小于已知的希格斯玻色子质量（125 GeV）的另一种希格斯粒子（双希格斯模型），这样的能量范围是对撞机实验可以达到的。关于触发器的新理论将对科学理论产生重要影响。