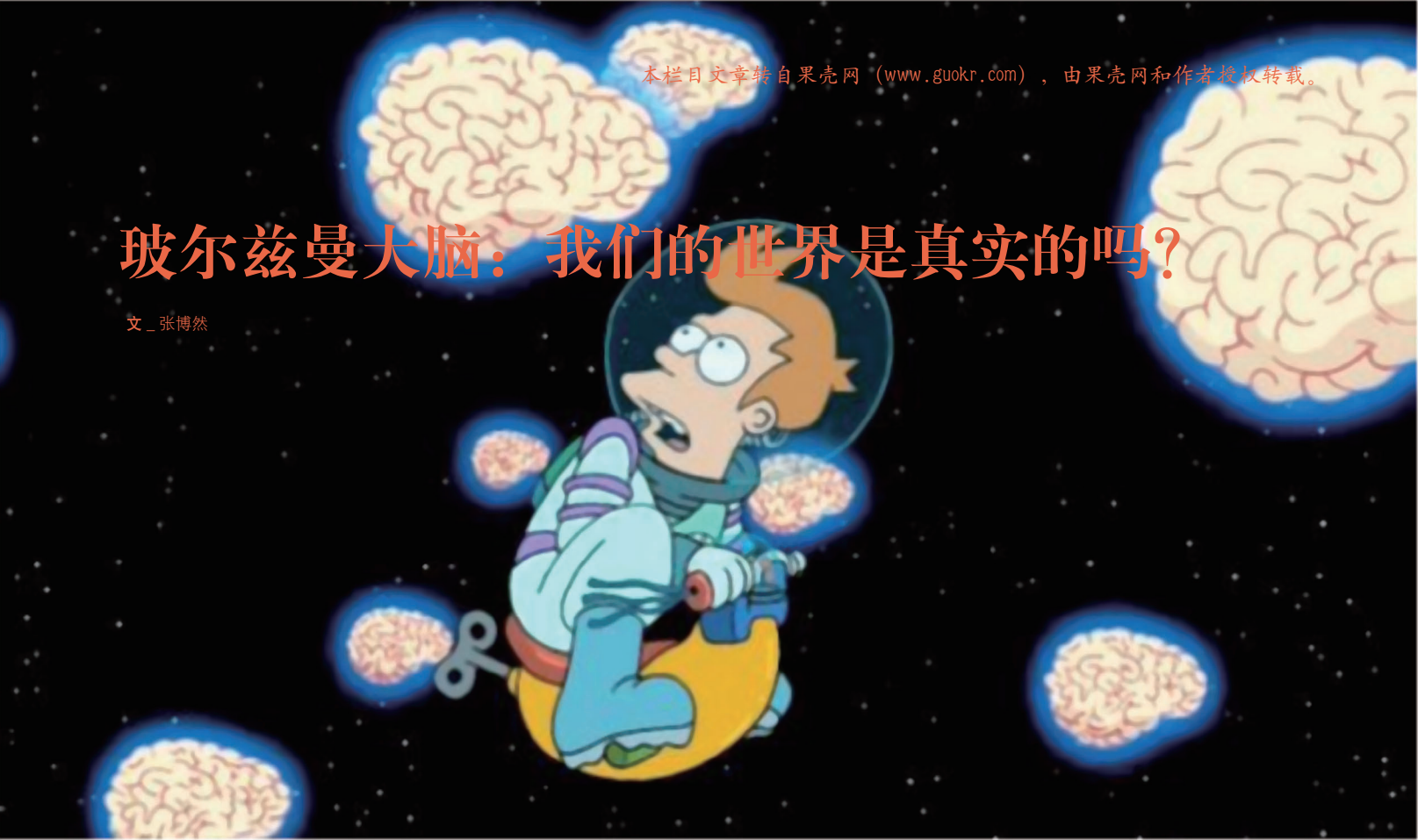


玻尔兹曼大脑：我们的世界是真实的吗？

文 | 张博然



几百年前，有个叫笛卡尔的人提出过一个著名的思想实验：设想有一个“邪恶魔鬼”既强大又聪明，而它整天不干别的，唯一的任务就是欺骗我。确切地说，是围绕我的一切感官制造一个幻觉，让我以为自己看见了一个完整的外部世界——但这个世界并不存在。事实上，它还营造出了我的全部身体，而我的身体也不存在。那么，我如何判断“现实”中的我感知到的一切是不是真实的呢？

那句人尽皆知的“我思，故我在”就出自这个思想实验——不管魔鬼怎么欺骗，我作为思考的主体一定是存在的。但是这不能解决外部世界是否为幻觉的问题。笛卡尔本人最后动用了上帝，这恐怕不能让现代读者满意。其他类似的思想实验也没有一个能干净利落地解决这一问题——印度哲学有摩耶，希腊哲学有洞穴隐喻，中国哲学有庄周梦蝶，科幻读者会想到缸中之脑，电影爱好者会想到《黑客帝国》和《盗梦空间》……不过不管怎么看，这都是个纯粹的哲学命题吧！

但是事实上，物理学也堂堂正正在里面掺和了一脚。而这个邪恶魔鬼的物理学版本，就叫做玻尔兹曼大脑。

宇宙的起源为什么是低熵的？

路德维希·玻尔兹曼这个名字通常会和19世纪末的热力学联系在一起，玻尔兹曼大脑也不例外。事实上，它是源自热力学第二定律的产物。

我们都听说过墨菲定律：事情只要能变得更糟，总会变得更糟。这时热力学第二定律会冒出来半开玩笑地解释说，因为孤立体系里事物的无序度（熵）不可能自发减少嘛。杯子能自动变成碎片，碎片不能自动变成杯子；空气分子会均匀分布在屋子里，而不会突然全跑到左边，让右边的人憋死。但是，为什么会这样呢？

玻尔兹曼提出过一个巧妙的基于概率的解释。假如所有的空气分子都龟缩在房间的一个小角落，那么这样可能的分布方式数量很小。假如空气分子均匀分布在房间里，可能的分布方式数量就超级大。现在你任选一个时刻看一眼这间屋子，你看到它的气体非常不均匀的概率，几乎就是零。事实上，你就在这里等上1000亿年，也不见得能等到气体全跑到左边的那一瞬间。之所以孤立系统的熵不会自发减少，因为熵高的状态出现的概率大。

但是这个解释有一个严重的麻烦。如果熵高的状态概率大，那么它不管什么时候的概率都应该很大——概率是数学，数学可是无视时间流逝的。可是熵又在随时间增加，所以我们如果一路推回过去，宇宙起源的时候熵应该很小才对。那么，这个起源点何德何能，凭啥就可以占据一个概率小的低熵状态？

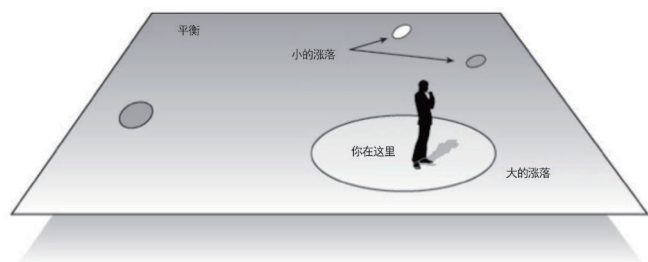
一般人的第一反应是人择原理。如果没有低熵的开端，我们就不会存在，也就不会问出“为啥我们看到了低熵宇宙起源”这个问题。这个回答没有错，但并没有解决问题：

初始的那个低熵态，是哪儿来的？^[1]就算我们把它推给上帝或超级智慧外星生命体，也不过是变成了上帝的低熵是哪儿来的新问题……

对此，玻尔兹曼本人给出了另一个巧妙的解释：涨落。

玻尔兹曼和他的涨落理论

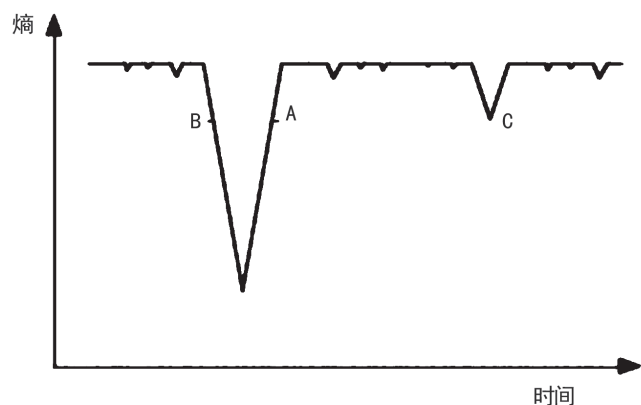
玻尔兹曼说，按照概率，确实高熵的容易出现——但我可没说低熵的就绝对不能出现。再小的概率，也不是时间的对手，一群猴子敲打字机都能敲出莎士比亚呢。只要你等得足够久，总有一天你能等到小概率事件，看到气体全聚在半边、碎片自动变成玻璃的那一天。这种小概率事件就是“涨落”的结果。既然等得越久，越可能出现大的涨落，那么全宇宙这么大的涨落也不是不可能的嘛。



(图片修改自 Sean Carroll, 《From Eternity to Here》)

的确，这种概率低得无以复加，如果我们是外来的观测者，一眼望过去不可能看到这么大的涨落和这么大的低熵态。但是，我们生活在宇宙内部。如果宇宙没有出现过这样的涨落，我们就不能存在！既然我们已经存在了，那么我们必须存在于这个涨落之中，我们当然也就必须能看到涨落。

于是玻尔兹曼的宇宙是这个样子的：



(玻尔兹曼涨落理论的宇宙图景，修改自 Sean Carroll)

大部分时候，宇宙都待在高熵期；少数时候，宇宙产生了小的涨落；极少数时候，宇宙产生了巨大的涨落，允

许智慧生命存在——所以有了 A、B、C 这些点。

注意，不管你生活在 B 和生活在 A，宇宙对你看起来都是一样的——区别是在 B 点你会觉得“右边”是过去、是低熵，而在 A 点你会觉得“左边”是过去、是低熵。但是放眼整个时间线，左和右没有区别，两个方向上物理定律都能用，数学也是完美的。

多么美妙的解决方案啊！如果世界只停留在这一步该多好。但是不行。你已经咬了第一口，就得整个儿吞下去。你不能只拿好处，不接受苦果。

而玻尔兹曼解释的苦果，就是玻尔兹曼大脑。

邪恶物理学家的缸中之脑，或玻尔兹曼脑

从概率上讲，小的涨落比大的涨落多。事实上是多得多得多。那么，既然前提是我们拥有意识，应当预测，我们身处所有能产生意识的涨落中最小的那一批。好比说我现在告诉你气体真的都在屋子的左半边，那你还是应该预测气体在左半边均匀分布，而不是进一步聚集到左四分之一。

但是我们现在的宇宙里有那么多的恒星和星系，甚至很多都可能支持生命。要这么多干嘛？明明一个银河系，不，甚至一个成分合适的太阳系就可以支持生命存在了呀！如果一切都是涨落，那么小小的太阳系独自涨落出来的次数显然比整个低熵宇宙涨落出来的概率大得多。

还没完。涨落是靠概率的，所以是无所不能的，那我们干脆让它涨落出来一个孤零零的大脑（或者电脑，或者任何意识的载体）就是了！确实很难，但是考虑到大脑这么小，里面的粒子数量这么有限，这应该要比涨落出来一个宇宙容易多了。这个大脑会像《银河系搭车客指南》里的那头鲸鱼一样，刚刚意识到自己的存在并为之惊叹，转瞬之间就恢复到虚无状态之中。而这样的大脑，其总数量肯定比这太阳系里的 70 亿大脑要多得多。从概率上讲，我们都应该是这样的大脑，正如概率上讲我们看到气体应该均匀分布一样。

什么？你说你的生活很丰富很充实，和那种瞬间体验截然不同？没关系，既然连大脑都能涨落出来，再涨落几个虚假的记忆又有何不可？连成套的感官输入也一起涨落出来又有何不可？区区一个大脑里面再怎么复杂，其概率还能比外面千亿太阳的概率更低（假如真的更低，那你这个大脑是怎么从宇宙里“自然”诞生的）？你以为你是在屏幕前看这篇文章，焉知你不是一个缸中之脑？不是一个虚无高熵宇宙中涨落出来的玻尔兹曼大脑？

这回不是空想出来的邪恶魔鬼或者邪恶科学家了。这看起来是堂堂正正的物理学给出的预测啊……怎么办？难道就这么向虚无主义投降么？



(图片来源: petemandik)

解铃还须系铃人

果子吃到一半,发现是苦的,怎么办?在这个例子里,可能还就得坚持吃完,依然靠物理学来解决问题。

物理学家对待这个问题有很多种路线。比如费曼就提出过一个著名反驳:绝大部分玻尔兹曼大脑看到的应该是四周一片虚无,能拥有完整感官输入的大脑所占比例微乎其微。不过这个反驳也有一个小小的弱点,那就是那些大脑应该一开始就面对虚无被逼疯掉了,根本不可能像我们这样安心思考,也就不会提出这个问题。更多的理论是从分析而非综合的角度出发,讨论其他已知物理事实如何影响玻尔兹曼大脑。不过,我最喜欢的一个理论——来自物理学家西恩·卡罗尔(Sean Carroll)——是以其人之道还治其人之身。他仔细审查了涨落,发现它有一个大麻烦:虽然当初玻尔兹曼提出它是为了解释我们的过去,但其实它做不到这一点。

现在我们的宇宙处在熵“中等”的状态。请问我们宇宙的过去是什么样的?如果问的是“什么样的过去宇宙能自然演变为我们现在的宇宙”,那么当然是更低熵的宇宙。但是请问以下两种状态哪一种更为可能:先涨落出来了一个超级低熵的宇宙然后自然演变成我们现在的中等状态,还是直接就涨落出来了中等状态?

按照涨落理论,当然是熵越高的状态出现概率越大。而我们的宇宙的熵在增加,此时此刻的熵比100年前的熵高。所以,最大的可能是,我们这个宇宙是在上一个瞬间刚刚涨落出来的产物,而不是在138亿年前涨落出来然后自然演变到今天的结果。我们应该处在最低点C上,而非A或者B;我们的过去和未来应该都是更高的熵。

但是这不是我们观测到的场景,我们看到的过去分明是大爆炸。当初我们引入涨落理论就是为了解释过去,但是细究之下它的预测和我们的观测不符,那么这个理论就该抛弃掉。

所以更加可能的解释是:我们生活在母体创造的虚空世界,生活在一个不靠涨落就能存在的低熵世界里。我们看到的一切不是涨落的结果,而是某种比涨落概率大得多的事件的产物。在这个事件面前,不管玻尔兹曼太阳系还是玻尔兹曼大脑都重新变成了可以忽略不计的小概率。

可是这个新的事件是什么?老实说,我们还不清楚(不清楚=我们有很多假说,只不过没有一个假说能说服大多数人)。毕竟这一切都是有限框架下的一套推论,我们对于宇宙学和量子引力理论的了解还太浅,甚至最后发现整套玻尔兹曼理论都不成立也是有可能的。但至少,知道你不太可能是个虚空中的玻尔兹曼大脑,也许有助于睡个好觉——毕竟,按照某些哲学流派,物自体是不可知的,管好自己的感官就是了,何必在意它是“真”还是“假”呢。

[1] 不错,很多人提出过很多方法,试图解释为啥一个低熵的开端是“自然”的。问题是,如果低熵作为开端是自然的,那么它作为结束、作为任何一个中间状态同样应该是自然的。要知道,我们有CPT对称定理:物理定律在时间+电荷+手性三重反演下,不会改变。如果在我们的宇宙中,随着时间流逝,低熵变成高熵是自然的、反之不自然,那么我们也能创造或者找到其中的一个小区域,在那里电荷相反、手性相反,高熵变成低熵是自然的。于是热力学第二定律就不满足CPT定理。那么我们要么扔掉热力学第二定律(没门儿),要么扔掉CPT定理(违背实验观测),要么就得承认低熵开端并不自然。物理学家休·普莱斯(Huw Price)称之为“双重标准原则”:宇宙的任何初始状态如果是“自然”的,那么它作为最终状态也必须是自然的。玻尔兹曼的涨落解释就成功避免了这个问题——在涨落理论里,左和右是对称的,宇宙不管往前推还是往后推,大部分时间都在“自然”的高熵态,只不过偶尔出些小波动。■