

时间的方向

Stephen W. Hawking

L. P. Hartly 在他的书“*The Go Between*”中写道：为什么过去与未来如此不同？为什么我们记得过去而不记得未来？这是否和宇宙在膨胀的事实相联系？

一、CPT

物理学定律不区分过去和未来。更精确地说，物理学定律在 C 、 P 和 T 的联合变换下不变。 C 是指粒子反粒子互换。 P 指镜象变换，即左右手互换。 T 指逆转所有粒子的运动方向，实际上，就是将运动倒过来。

支配常规下物质行为的物理学定律在 C 和 P 的联合变换下不变。换言之，生命对那些由反物质组成并且是我们的镜象的外星居民来说，与我们完全一样。如果你遇到了外星人，当他伸出左手时，你可不要去握手，因为他可能是由反物质组成的。你们会在霎时的闪光中湮没。

如果物理学定律在 C 和 P 的联合变换下不变，并且在 C 、 P 和 T 的联合变换下也不变，那么它们一定在独自的 T 变换下不变。然而，在我们日常生活中，实时间的向前与向后之间有着大的差异。设想杯子从桌子上掉下来在地上碎成几块。如果你将此拍成电影，你能很容易地说出电影在顺着或倒着放映。如果倒着放，你会看到，那些碎片会突然自动地从地上聚起来，组成一个完好的杯子并跳回到桌子上。你能知道电影在倒着放，因为在日常生活中从来没有看到过这种现象。如果能看到这种现象，瓷器制造商就得关门了。

二、时间指向 (arrow)

为什么我们从未看见破碎的杯子自动从地

物理

上聚起来并跳回到桌子上？通常的解释是：热力学第二定律禁止这样的事情发生。第二定律说，无序或熵总随时间增加。桌上的好杯子是高度有序的状态，地上的碎杯子是无序的状态。因此，事情可以有从过去桌上的好杯子到将来地上的碎杯子，而反过来却不行。

无序或熵随时间的增加，是时间指向的一个例子。时间是某种给时间以方向并区分过去和未来的东西。至少有三种不同的时间指向。

1. 热力学时间指向：沿此时间方向，无序或熵增加；

2. 心理时间指向：沿此时间方向，我们感觉时光流逝。沿此时间方向我们记得过去，但不记得未来；

3. 宇宙时间指向：沿此时间方向，宇宙在膨胀而非收缩。

我将证明，心理指向是由热力学指向决定的，这两个指向总是相同的。如果我们假设宇宙无边界，这两个时间方向便与宇宙时间指向相关联，虽然它们不一定指着相同的方向。然而，我将表明，只有当它们指着与宇宙时间指向相同的方向时，各种条件才适合于有智慧的生命的发展——这样的生命能够问：为什么无序沿这样的时间方向增加，沿此相同的时间方向宇宙在膨胀？

三、热力学时间指向

我先谈热力学时间指向。热力学第二定律基于这样的事实：无序的状态比有序的状态多得多。例如，考虑一盒子中的拼板玩具。设只有一种拼块的排列能构成一幅完整的图案，在很多很多的排列中拼块是混乱的，不构成图案。

假设系统始于少数有序状态的一个。随着

时光流逝,系统会按物理学定律演化,它的状态会改变。在下一时刻,系统有很高的几率进入更加无序的状态,这是因为有多得多的无序状态。因此,如果系统始于高度有序的状态,则无序倾向于随时间增加。

假设拼块始于构成图案的有序排列。如果你摇动盒子,拼块将会取另一种排列。这可能是一个无序的排列,在这排列中拼块不构成适当的图案,简单地说,这是因为无序的排列要多得多。有些拼块或许还构成图案的某部分,但你摇动盒子愈厉害,那些构成部分图案的拼块愈是可能被拆散,拼块将会取完全混乱的状态,不构成任何图案。因此,拼块的无序可能随时间增加,如果它们满足这样的初始条件:始于高度有序的状态。

然而,假设上帝决定宇宙在后来终止于高度有序的状态,而与宇宙始于怎样的状态无关,那么,早期宇宙就可能处于无序的状态,无序将随时间减少。你就会看到,破碎的杯子自动聚起来并跳回到桌子上。然而,任何在观察这杯子的人将生活在无序随时间减少的宇宙里。这样的人类将有向后的心理时间指向。即是说,他们记得未来的事件,却不记得过去的事件。

四、心理时间指向

要谈人的记忆,还很困难,因为我们不知道大脑工作的细节。然而,我们确实知道计算机的记忆器是怎样工作的。因此,我将讨论计算机的心理时间指向。我想,假设计算机的时间指向与人类的一样,这是合情合理的。否则,人们可以靠掌握一台能记住明天价格的计算机在股票交易所牟取暴利。计算机的记忆器基本上是些能处于两种状态之一的器件。超导环便是一例,如果环中有电流,则电流将持续下去,因为环中无电阻;如果环中没有电流,则它将保持无电流的状态。我们可以标识记忆器的两状态为0和1。在数据被记录到记忆器之前,记忆器处于无序的状态,0和1等可能地出现。当记忆器与待记忆的系统相互作用后,记忆器将

根据系统的状态确切无疑地处于0或1。因此,记忆器便从无序状态过渡到有序状态。然而,为了确信记忆器处于正确的状态,必须用掉一定的能量。这能量耗散为热,增加了宇宙中无序的量。可以表明,宇宙中这无序的增加大于记忆器中有序的增加。因此,当计算机记录数据到记忆器时,宇宙中无序的总量增加了。计算机记得过去的时间方向与无序增加的时间方向是一致的。这意味着,我们对时间的主观感觉,即为心理时间指向,它是由热力学时间指向决定的。这使得热力学第二定律几乎一文不值了。无序随时间增加,是因为我们沿无序增加的方向测量时间!你不能有比此更安全的断言了!

五、宇宙的边界条件

为什么宇宙在我们称为过去的时间端点处于高度有序的状态?为什么宇宙不自始至终处于完全无序的状态?必竟,这似乎更为可能。为什么无序随之增加的时间方向与宇宙随之膨胀的时间方向相同?

一个可能的答案是,上帝简单地选择了宇宙该在膨胀阶段的始点处于光滑和有序的状态。我们不该试图去理解为什么,或者询问上帝的理由,因为宇宙的始点是上帝的杰作。整个宇宙的历史也可以说是上帝的杰作。看来宇宙在根据定义得很好的规律演进。这些规律或许是,或许不是由上帝制定的,但似乎我们能够发现并理解这些规律。因此,希望同样的或类似的规律在宇宙的始点还有效,难道不合情合理吗?

在经典广义相对论中,宇宙的始点必定是密度和时空曲率无穷大的奇点。在这样的条件下,所有已知的物理学定律都失效了。因此,人们不能用这些定律来预言宇宙怎样开始。宇宙可能始于很光滑和有序的状态。这会导致定义明确的热力学和宇宙学的时间指向,象我们观察到的那样。但是,宇宙同样可能始于很粗糙和无序的状态。在这种情形下,宇宙已经处于

完全无序的状态，无序不再可能随时间增加。要么无序保持常数，这样，就没有明确定义的热力学时间指向了。要么无序随时间减少，这样，热力时间指向将指向宇宙学指向的相反方向。这两种可能都与我们的观测不一致。

如我所说，经典广义相对论预言宇宙应该始于时空曲率无穷大的奇点。事实上，这意味着，经典广义相对论预言了它自身的崩溃。当时空曲率很大时，量子引力效应将变得重要，经典理论不再是宇宙的一个好的描述。我们必须用量子引力理论来理解宇宙怎样开始。

在量子引力理论中，我们考虑宇宙所有可能的历态。有两个数与每个历态相联系。一个代表波的大小，另一个代表波的相位，即波在峰顶或在谷底。宇宙具有某种特性的几率，由具有此特性的所有历态的波函数之和给出。

这些历态是弯曲的空间，代表宇宙在虚时间中的演化。我们还必须说明，宇宙的可能历态在过去时空的边界上行为怎样。我们不知道，也不可能知道如何做到这一点。然而，有可能避免这个困难，如果历态满足无边界条件：它们在广度上有限，但没有边界、边缘或奇异性。它们象地球表面，但多了两维。在这种情形下，时间的始点将是时空中平常的光滑的点。这意味着，宇宙从一个很光滑和有序的状态开始它的膨胀。它不可能是完全均匀的，因为这将违背量子力学的测不准原理。一定会有密度和粒子速度的小涨落。然而，“无边界”条件意味着，这些涨落应当尽可能地小，并与测不准原理一致。

宇宙开始时有一段指数膨胀或“暴胀”。在暴胀期，宇宙的大小增加了一个很大很大的因子。在这一膨胀期间，密度的涨落在开始时仍然很小，但后来开始增大。在密度稍高于平均值的区域，膨胀将会由于额外质量的引力减慢下来。最终，这样的区域将停止膨胀，坍缩而形成星系、星体和我们这样的人类。宇宙始于光滑和有序的状态，随着时间的推移，它变得粗糙和无序。这可以解释热力学时间指向的存在。前面我已说明，心理时间指向指着与热力学指

向相同的方向。因此，我们主观感受的时间，是宇宙在随之膨胀的时间，而不是相反的宇宙在随之收缩的时间。

六、时间指向会逆转吗？

当宇宙停止膨胀，并开始收缩时，会发生些什么？热力学时间指向会不会逆转？无序会不会随时间减少？对那些从膨胀到收缩阶段幸存下来的人们，这会引导出各种各样科幻式的可能性。他们会不会看见，破碎的杯子自动从地上聚起来，并跳回到桌子上？他们能不能记住明天的价格，在股票市场上大发横财？担心宇宙重新坍缩时会发生什么，这似乎有些学究气，因为至少在100亿年内宇宙不会开始收缩。但是，有更快的办法来揭示出什么会发生：跳进黑洞。（我不建议任何人去试），形成黑洞的星体坍缩很象整个宇宙坍缩的后期。因此，如果在宇宙的收缩阶段无序减少，那么我们可以期望，在黑洞里无序也会减少。掉进黑洞的宇航员或许能够在轮盘赌博中赢钱：在下赌注前就记住小球落在哪儿。然而，很不幸，在他被极强引力场弄成肉酱之前，他不会有多长时间来玩。他也不可能告诉我们热力学指向的逆转，甚至不可能把他赢得的钱存到银行里，因为他陷在黑洞的视界后面。

最初，我相信当宇宙重新坍缩时，无序会减少。我当时认为宇宙重新变小时，它必定回到光滑和有序的状态。这意味着，宇宙的收缩阶段就象膨胀阶段的时间反演一样。生活在收缩阶段的人们将会倒着活：先死后生，并随宇宙的收缩活得越来越年轻。

这个想法很诱人，因为它意味着膨胀和收缩之间的一种令人惬意的对称性。然而，你不能独自地采用它，而不顾其它有关宇宙的理论。问题是：这是否隐含在无边界条件中，或者，这是否与无边界条件相矛盾。如我所说，我最初认为，无边界条件确实意味着无序会在收缩阶段减少。这基于在一个简单的宇宙模型上的工作，在这模型中坍缩看起来象膨胀阶段的时间

反演。然而，我的同事 Don Page 指出，无边界条件并不要求收缩阶段一定是膨胀阶段的时间反演。更进一步，我的学生 Raymond Laflamme 发现，在稍为复杂些的模型中，宇宙的坍缩与膨胀很不一样。我意识到我犯了个错误：事实上，无边界条件意味着无序会在收缩阶段继续增加。当宇宙开始收缩时，或者在黑洞中，热力学和心理时间指向不会逆转。

当你发现自己犯了这样的错误时，你会怎么办？有些人如 Eddington，从不承认他们错了。他们继续寻找新的、常常相互矛盾的论据来支持他们的观点。其他一些人则声称从未真正支持过不正确的观点，或者即使承认了，那也只是为了显示其不一致。我可以举出许多这样的例子，但我不！因为这会使得我太不受欢迎。在我看来，如果你书面地承认错了，似乎要好得多，也少些混乱。爱因斯坦是个好榜样。他说，“宇宙常数”，这是当他试图建立静态宇宙模型时引进的，是“我一生中最大的错误”。

七、宇宙学时间指向

问题仍然是，为什么热力学与宇宙学指向指着相同的方向。为什么无序沿着与宇宙随之膨胀的时间相同的时间方向增加。

如果你相信，宇宙将膨胀，然后再收缩，问题就变成，为什么我们生活在膨胀阶段而不是收缩阶段。可以根据“弱人择原理”回答这个问题。收缩阶段的条件不适合有智慧人类的存在——这样的人类能够问：为什么无序沿这样的时间方向增加，沿此相同的时间方向宇宙在膨胀？宇宙早期的暴胀意味着，宇宙在很长的时间内不会重新坍缩。到那时，所有的星都烧尽了，其中的重子可能已衰变成了轻粒子和辐射。宇宙将处于几乎完全无序的状态，或热平衡。此时，再没有强的热力学时间指向了。然而，对人类活动来说，定义明确的热力学时间指向是必需的。人类需要消费食物，即有序的能量形式，然后转换食物成为热这种无序的能量形式。

因此，智慧生命不可能在宇宙的收缩阶段存在，而只能存在于膨胀阶段。这便解释了，为什么我们看到热力学和宇宙学时间指向相同。并不是宇宙的膨胀导致了热力学和心理时间指向，而是无边界条件导致了热力学时间指向的存在。这热力学指向是定义得很明确的，在人类存在的时空区域里，它与宇宙学时间指向一致。

总 结

物理学定律不区分时间的向前和向后。然而，至少有三种指示时间方向并区分过去和未来的“时间指向”。它们是：热力学指向，沿此时间方向无序增加；心理指向，沿此时间方向我们记得过去但不记得未来；宇宙学指向，沿此时间方向宇宙膨胀而非收缩。我已表明，心理指向由热力学指向决定，两者总是指着相同的方向。宇宙的无边界假设意味着，存在定义明确的热力学时间指向，因为宇宙始于光滑和有序的状态。我们看到热力学指向与宇宙学指向一致，其原因是，智慧生命只可能存在于膨胀阶段。收缩阶段不适合人类生存，因为它没有强的热力学时间指向。

如果你记得我说的每个词，你的大脑将记录约 15 万比特的信息。因此，你大脑的有序将增加约 15 万单位。然而，在你听我讲演时，你转换了约 30 万焦耳的食物形态的有序能量成为热形态的无序能量，通过对流和出汗，你把这些热量散发到空气中。这将增加宇宙的无序约 3×10^{24} 单位，这约是因你记住我的讲演而增加的有序的 20,000,000,000,000,000 倍。因此，我想，在我们退化到完全无序的状态之前，我最好现在就结束这个讲演。

(敬克兴根据 Stephen W. Hawking 于 1988 年 4 月 7 日在伯克利加州大学的讲演稿译)