

量子实在论第一部分：观测到的实在

Quantum Realism Part I. The Observed Reality

第一章 物理世界作为一种虚拟现实

Chapter 1. The Physical World as a Virtual Reality

Brian Whitworth (布莱恩·惠特沃斯)

New Zealand (新西兰)

“宇宙不仅比我们想象的更奇妙，它甚至超出了我们所能想象的极限。”

——亚瑟·爱丁顿爵士 (*Sir Arthur Eddington*)

我们理所当然地认为我们的世界是一个客观实在，但真的是这样吗？“物理世界本身独立存在”这一假设，在解释现代物理学的发现时早已显得力不从心。一个客观的空间和时间应该“只是存在”，但我们的空间可以收缩，时间可以膨胀。客观事物应该“只是存在”，但我们世界中的电子却是存在的概率涂抹，它们以物理上不可能的方式扩散、隧穿、叠加和纠缠。宇宙学同样证实，我们的宇宙在 140 多亿年前毫无明显原因地“突然出现”。这不是一个客观实在应有的表现。

1.1. 一个奇异的世界

本书探讨了一种通常被断然拒绝的可能性：我们的世界是一个虚拟现实。请读者保持开放的心态，因为这里所提出的观点既非不合逻辑、不科学，也并未与现代物理学相悖。它也并不现代，因为“我们的世界是虚幻的”这一观念可以追溯到数千年前。今天它依然适用，因为物理学已经发现，我们的世界比我们曾经想象的要奇妙得多。

1.1.1. 奇异的物理学

现代物理学中充斥着奇异的理论。例如，在多世界理论中，每一次量子选择都会分裂现实，因此在平行世界构成的不可思议的多元宇宙中，所有可能发生的事情都必定发生 (Everett, 1957)。在暴胀模型中，我们的宇宙只是众多暴胀泡泡宇宙中的一个 (Guth, 1998)；而根据弦理论，它隐藏着六个卷曲的额外维度。在 M 理论中，我们的宇宙漂浮在我们看不见的第五维度“膜 (brane)”上 (Gribbin, 2000, p177-180)；在火劫理论 (ekpyrotic theory) 中，我们是两个在一个永恒循环中碰撞和后退的宇宙之一 (J. Khoury, 2001)。物理学仅仅用来描述我们所见世界的日子早已一去不复返了。

这些理论之所以存在, 是因为物理学的发现同样奇异, 比如爱因斯坦发现太阳通过弯曲其周围的空间来使光线偏折, 或者地球的引力会使时间变慢, 因此高楼上的时钟走得比地面上的时钟快。运动也会使时间膨胀, 所以飞机上的原子钟走得比地面上同步的时钟慢 (Hafele & Keating, 1972)。然而, 尽管空间、时间、质量都随速度而变化, 光速却出奇地恒定。

如果相对论很奇异, 那么量子理论则更加奇异, 因为它预测一个电子可以同时穿过两条狭缝并与自身发生干涉, 纠缠的光子可以无视光速限制, 而真空空间能够产生压力, 所有这些都已被实验所证实。爱因斯坦, 这个像任何人一样对新思想持开放态度的人, 认为量子理论毫无意义, 那是因为它确实说不通。然而它的预测从未失败过。物理学研究了我们的现实, 并得出了结论:

“……不管我们喜不喜欢, 量子世界的奇异性是真实存在的。” (Tegmark & Wheeler, 2001, p4)。

物理学理论之所以奇异, 是因为我们的世界本身就是奇异的。

1.1.2. 一门空洞的科学

量子力学和相对论是物理学皇冠上的明珠, 原因很简单, 它们从未犯过错。现代物理学始于 19 世纪 60 年代麦克斯韦的波动方程, 随后是 1900 年的普朗克常数、1905 年的狭义相对论、1915 年的广义相对论以及 1925 年的薛定谔波动方程。尽管最初受到怀疑, 但这些理论经受住了批评者能够设计出的所有逻辑和实验考验。它们甚至让其拥护者感到惊叹, 比如费米在 1953 年发现中微子之前于 1933 年就预测了它, 狄拉克在反物质被发现之前就预测了它。然而, 一个多世纪过去了, 量子理论依然让人无法理解。正如福特 (Ford) 所言:

“只是这个理论缺乏一个基本原理。约翰·惠勒 (John Wheeler) 喜欢问 ‘量子为何如此 (*How come the quantum*)’。据报道, 尼尔斯·玻尔 (Niels Bohr) 曾说, 如果你在思考量子时没有感到头晕目眩, ‘那你就是还没有理解它’。而理查德·费曼 (Richard Feynman)……这个比任何人都更深刻理解量子力学的人, 写道: ‘我的物理系学生也不理解它。那是因为我也不理解它。’ ” (Ford, 2004, p98)。

有史以来第一次, 一门学科的学者们实际上并不相信他们占统治地位的理论所说的话! 他们承认计算是正确的, 但否认它们代表了现实。至少可以说, 这是一种不寻常的状况。问题不在于缺乏经验, 因为这些理论奠定了当今定义生活的大量技术基础, 从手机到太空探索, 然而:

“……每天使用该理论工作的物理学家们并不真正知道该如何理解它。他们在黑板上写满了量子计算, 并承认它可能是迄今为止发展出的最强大、最准确、最具预测性的科学理论。但是, 只要一提到它可能作为对自然的描述而在字面上是真实的, 依然会招来犬儒主义的嘲笑、不解, 甚至愤怒。” (Vacca, 2005, p116)。

方程、测试和应用都在起作用, 但该理论在物理上却没有意义, 例如在费曼的历史求和法中, 一个电子同时走过两点之间的所有可能路径, 但是一个电子怎么能做到这一点? 理论通常会增加我们的理解, 但在物理学中, 理论似乎剥夺了理解。例如, 波粒二象性允许波变成粒子, 但

这否认了波和粒子原本的定义。在意义与数学之间, 物理学很久以前就选择了后者, 因此高中依然不教授量子理论, 因为谁能去教授那些毫无道理的东西? 现代物理学是一场没有意义的数学盛宴, 是一门建立在关于大家都同意“不存在的量子态”的令人印象深刻的方程之上的空洞科学! 而这种毫无意义的做法是蓄意的:

“……我们把量子物理锁在了‘黑匣子’里, 我们无需知道里面发生了什么就可以操作和处理它。” (Audreysch, 2004, 序言, *px*)。

结果被描述为“童话物理学” (Baggot, 2013), 因为在毫无根据的情况下, 真空中不可见场的虚构粒子让方程得以成立。但当基础物理学停止尝试理解其发现时, 它就停滞不前了:

“三十年过去了, 基础物理学没有取得重大进展, 这是多么不寻常? 即使我们回顾两百多年……这也是史无前例的。” (Smolin, 2006, *p viii*)。

原因并非是一个原本完美的图景中存在几个异常现象。量子理论统治着原子的微观世界, 相对论统治着恒星的宏观世界, 所以如果这些核心理论完全说不通, 那就是一个大问题。更糟糕的是, 相对论和量子力学相互矛盾! 它们各自在其领域内起作用 (相对论用于宇宙事件, 量子理论用于原子事件), 但放在一起时它们就会发生冲突:

“问题在于……当广义相对论的方程与量子力学的方程混合在一起时, 结果是灾难性的。” (Greene, 2004, *p15*)。

这种冲突告诉我们有些事情出错了。如今的粒子物理学停滞不前, 因为其“闭嘴, 计算”的教条导致了对意义的否认, 从而允许神话滋生:

“……量子力学 (*QM*) 中存在神话的主要原因是, *QM* 没有对‘如果有的话, 什么是客观实在’这个问题给出明确的答案。” (Nikolić, 2008, *p43*)。

是时候回到物理学最初的难题了, 那就是“什么是实在 (*reality*)?”

1.2. 什么是真实的?

几千年来, 人们一直在思考什么是真实的? 在东方, 印度教、道教和佛教得出结论, 世界是一个被生成的幻象; 但在西方, 唯物主义 (认为物质在虚空中是真实的) 和唯心主义 (认为物质是由另一个现实生成的) 之间存在分歧。从逻辑上讲, 这些世界观中必有一个是错误的, 而正统科学和宗教在这个问题上站在了对立面。

1.2.1. 唯心主义 vs. 物理主义

西方的物理主义, 即只有物理事物存在, 是从早期的唯物主义 (只有物质存在) 演变而来的, 因为那时科学开始描述的不仅仅是物质。唯物主义和唯心主义的区别可以追溯到苏格拉底, 这位希腊哲学家生活在这个词意味着“智慧 (*sophia*) 之爱 (*philo*)”的时代。他的学生柏拉图认为,

预先存在的理念形式生成了事物, 这种观点后来被称为唯心主义, 即某种非物理的东西是所有现实的最终基础。柏拉图的学生亚里士多德并不否认这一点, 但他认为一个事物的实体是它的质料因, 其他物质如何改变它是它的动力因, 这支持了唯物主义。西方的科学随后专注于亚里士多德的物理原因, 而西方宗教则专注于柏拉图的非物理原因, 但两者都接受物理世界本身是真实的。

柏拉图的前提是, 一个精神的现实创造了我们的世界, 就像太阳在墙上制造阴影一样¹。西方诺斯替教派随后得出结论, 世界是一个谎言, 由一个对原始现实一无所知的造物主 (demiurge) 创造²。在东方, 禅宗认为宇宙的普遍心灵本质生成了被观察到的世界, 就像海上的泡沫; 印度教将物理世界视为玛雅 (Maya), 是由神的嬉戏 (Lila) 创造的幻象。然而在任何时候, 大多数人都相信物理世界本身是真实的。

1.2.2. 二元论

西方科学与宗教之间的意识形态战争不断升级, 直到笛卡尔提出了二元论的休战方案, 提出“我思故我在”。为什么不能同时拥有心灵和身体, 宗教的灵魂和科学的物质呢? 这将科学家分成了只相信物理世界的无神论者、相信物理世界之外还有另一个世界的有神论者, 以及无法决定的不可知论者。这种权宜之计的结合奏效了一段时间, 但今天科学和宗教却难以相互对话。

二元论随后接受了物理实在论, 即物理事物存在, 并在其之上加上一个精神实在, 但是不同的实在如何能够相互作用呢? 如果心灵和身体不相互作用, 它们彼此就无关紧要; 但如果它们相互作用, 谁先谁后? 如果大脑首先引起了心灵, 那么心灵就像火车头的汽笛, 是一个多余的产物。反之, 如果一个理想的心灵首先引起了世界, 那世界不也是虚幻的吗? 无论哪种情况, 如果一个真实的, 另一个就不是, 或者充其量是无关紧要的。而如果两个现实发生冲突, 为什么天堂还没有净化地球, 或者地球还没有腐蚀天堂? 两个独立的原因互为因果似乎是不合逻辑的。

面临这些挑战, 二元论现在不如过去受欢迎了。一个实在比两个更简单, 所以为什么不只保留物理实在呢? 科学将它现在所描述的世界称为真实的, 神学将它所描述的未来称为真实的, 但在现在和后来之间做出选择时, 许多人更喜欢关注现在。

1.2.3. 虚拟主义 (Virtualism)

然而, 当科学与宗教进行着旷日持久的意识形态战争时, 另一种一元论却被所有人忽视而袖手旁观, 即虚拟主义 (Raspanti, 2000), 它认为物理世界是由某种其他事物生成的。这个想法看似新颖, 但实际上可以追溯到柏拉图的唯心主义, 即世界反映了另一个现实。毕达哥拉斯称数字是世界的非物质本质, 柏拉图认为上帝在做几何, 高斯相信上帝在做算术 (Svozil, 2005), 就像布莱克的《亘古常在者 (Ancient of Days)》用他的圆规测量世界一样 (见图 1.1)。

我们的计算机创造了虚拟世界, 但我们的世界是虚拟的这通常是科幻小说的主题, 而非物理学。这引出了诸如空间在计算 (Zuse, 1969) 以及现实在计算 (Fredkin, 1990), (Schmidhuber, 1997), (Rhodes, 2001), (Wolfram, 2002), (Lloyd, 2006) 和 (Tegmark, 2007) 等观点。柏拉图的唯心主义在今天依然像两千多年前一样激进。

¹ 参见柏拉图的《理想国》中的“洞穴之喻”。

² 诺斯替主义 (Gnosticism) 认为物质世界是由邪恶或无知的造物主创造的。



图 1.1 《亘古常在者》计算宇宙（威廉·布莱克，1794 年）。

问题在于，物理世界是仅仅依靠自身独立存在，还是有其他事物导致了它的存在。物理世界作为一个客观实在，除了自身之外不需要任何东西来存在，因此当前物理学的首要公理是：

在物理宇宙之外没有任何东西 (*Smolin, 2001*)。

相反，虚拟主义提出了它的对立面：

物理宇宙中没有任何东西是客观地、由其自身或依赖自身存在的。

这些是相互排斥的论点，因为一个客观的世界不能是虚拟的，一个虚拟的世界也不能是客观的。虚拟现实猜想本质上是：

物理世界是由某种其他事物输出的一系列事件的集合，如果没有它，物理世界就根本不会存在。

关于实在的理论无法在逻辑上被证明 (*Esfeld, 2004*)，因此世界是虚拟的并不确定，但出于同样的原因，物理主义也不确定，而要求一种理论提供另一种理论无法提供的东西是偏见。不偏不倚的方法是公正地比较两种观点的证据。

1.2.4. 实在论的选项

主要的实在论选项可归结为三个：

1. **物理主义 (Physicalism)**。只有物理实在存在，并且它仅靠自身存在。
2. **二元论 (Dualism)**。物理实在存在，但还有一个更高的实在在观察它。

3. **虚拟主义 (Virtualism)**。物理实在并不单独靠自身存在, 而是由其外部的某种事物生成的, 该事物同时也观察着它。

物理主义要求物质观察其自身, 但死物如何能做到这一点? 物质又如何能做出先前物理事件无法预测的选择, 就像放射性原子所做的那样?

二元论让心灵观察并选择物理事件, 但结果是一个“填补空白的上帝 (God of the Gaps)”, 它只能解释科学进步后留下的未能解释的部分, 而这些空白每天都在缩小。

最后, 虚拟主义让另一个实在生成并观察物理世界, 但对于这个“另一个实在”是什么, 意见存在分歧, 如下所示:

1. **物理的 (Physical)**。在电影《黑客帝国》中, 一个虚拟世界对其中的居民来说显得很真实, 因为他们只能通过信息来认识它, 就像我们认识我们的世界一样。但是当男主角从矩阵中拔出插头时, 他跌回了另一个世界, 在那里, 后核时代的机器在营养槽里把人类当做能源来养殖, 同时向他们喂食虚拟现实。在电影中, 他一直生活在一个由另一个物理世界中的程序创建的构造体中。在理论上这是可能的³, 因为邱奇-图灵论题 (Church-Turing thesis) 允许有限程序模拟任何可指定的输出 (Tegmark, 2007), 但在实践中, 即使是用传统计算机模拟几百个原子:

“……也需要比整个宇宙中原子总数还要多的内存空间, 并且完成这项任务所需的时间将超过宇宙目前的年龄。” (Lloyd, 2006, p53)。

即使是像我们宇宙一样大的计算机也远远无法完成这项工作⁴, 所以这个选项是不太可能的。

2. **精神的 (Mental)**。唯我论 (Solipsism) 认为物理世界是心灵的梦境, 梦见了根本不存在的東西。光学错觉表明我们的大脑构建了我们的现实, 但这并不意味着外面没有现实。正如爱因斯坦问玻尔的, 你认为当没有人看月亮时它就不存在了吗? 唯我论解决了量子观察者效应, 但如果我是在梦见你, 你根本就不存在。而且如果森林里一棵树倒下却没有被任何人观察到, 历史是如何产生的呢? 难道是在我们出现之前, 我们捏造了恐龙漫步地球的数百万年吗? 如果我在做梦, 为什么我不能梦到我想要的身体? 因为这些原因, 这个选项是不太可能的。⁵⁶

3. **量子的 (Quantum)**。在这个选项中, 量子事件创造了否则不会发生的物理事件⁷。物理学目前拒绝这个选项, 因为它没有提供:

“……理解运行该软件的硬件的方法。因此, 我们无法理解现实的真正物理学。” (Deutsch, 1997)。

³正如尤吉·贝拉 (Yogi Berra) 所说: “理论上, 理论与实践没有区别。但在实践中, 区别是存在的。”

⁴银河系的体积 1.6×10^{60} 立方米除以普朗克体积 4.2×10^{-105} 立方米约为 551 比特, 对于 10^{-43} 秒的普朗克时间而言, 这是单次量子事件需要超过 5×10^{45} 赫兹的处理能力。

⁵诺克斯 (Knox) 关于唯我论的五行打油诗是: 有个年轻人说: “上帝肯定觉得非常奇怪, 如果他发现这棵树继续存在, 而四方院里根本没有人。”

⁶匿名的回复是: “尊敬的先生: 您的惊讶才奇怪: 我一直都在四方院里待。这就是为什么这棵树, 将会继续存在, 因为您忠实的上帝正在看。”

⁷在量子理论中, 观察一个扩散的量子波会导致一个物理事件, 因此为了创造一个物理事件, 观察是必要的。

假设我们只能研究物质, 然后得出结论说我们不能研究量子事件因为它们不是物质的, 这是一种循环逻辑。它通过预设前提来证明前提。认为量子波需要物理硬件, 就是假设物质是基本的, 而这恰恰是被质疑的问题。量子波以不可能的方式坍缩, 穿过不可逾越的屏障, 并在纠缠时无视光速限制, 因此它们不可能由物质构成的。但这并不意味着它们不存在, 或者我们不能研究它们, 就像我们研究物理上看不见的引力一样。期望创造物质的东西遵循物质的规则是不合逻辑的, 因此量子处理的量子比特 (qubit) 不是物理处理的比特 (bit)。

非物理的东西就不存在, 这是一个假设而非事实。科学不能研究它看不见的东西, 这也不是真的, 量子理论就证明了这一点。量子事件创造了物理事件, 这既不逻辑, 也不违反科学, 所以现在让我们基于证据来探索这个选项。

1.2.5. 量子实在论 (Quantum realism)

量子实在论是指, 正如量子理论所描述的那样, 量子事件导致了物理事件。如果物理世界是虚拟的, 那么创造它的东西就不可能在物理上存在, 就像创造电子游戏的东西不可能存在于它所创造的游戏中一样。量子世界遵循它自己的规则, 而不是它所创造之物的规则。

在《黑客帝国》电影中, 另一个物理世界模拟了我们的世界, 但物质并没有做到这一点的能力, 因为即使是计算一个遍布银河系然后坍缩到其中一点的电子波函数, 也超出了目前的计算能力。然而量子处理具有这种能力。

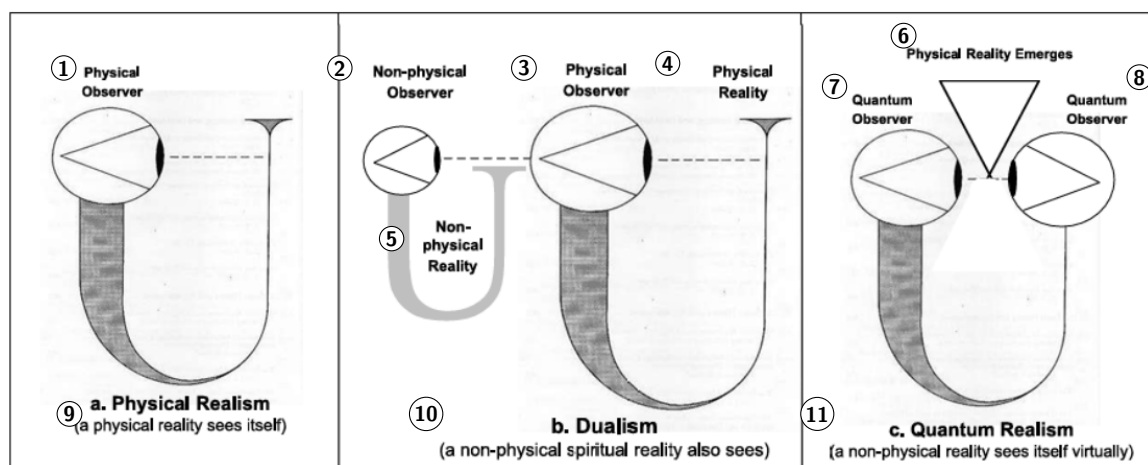
在量子实在论中, 外面有一个真实的世界, 但不是你所看到的那个。你所看到的是当物理事件发生时反映它的界面。如果量子波扩散直到它们在允许观察的物理事件中相互作用, 那么这就是相互的。由此得出的结论是, 当我们观察一个光子时, 它也在它的尺度上观察我们, 正如物理学中的观察者效应所暗示的那样, 因此森林里不可能有一棵树倒下而不被看见, 因为被它砸中的地面观察到了它。第 6 章将意识定义为观察的能力。

人们可以用计算机游戏的术语来比较这些实在选项如下:

- **物理主义 (Physicalism)**。一个自己启动的游戏, 没有人在掌管。
- **二元论 (Dualism)**。一个程序员启动的游戏, 但随后失去了控制。
- **量子实在论 (Quantum realism)**。一个大型多人游戏, 每个光子都是一个玩家。
- **唯我论 (Solipsism)**。一个单人游戏, 只为一个人存在。

1.2.6. 科学的终结? (The end of science?)

如果我们处于一个虚拟现实中, 那是科学的终结吗? 如果《模拟人生 (The Sims)》中的一些角色开始怀疑他们的世界是虚拟的, 他们可以对照他们世界的数据来测试那个理论, 就像我们能做的那样。如果他们发现自己生活在一个像素构成的世界里, 那里的时间可以膨胀, 空间可以收缩, 所有事物都开始于过去的一个时刻, 他们可能会得出结论: 这是真的。他们无法感知是什么在生成他们的世界, 但他们可以构想它, 就像我们现在所做的一样。然而, 科学依然会



- 1 物理观察者
- 2 非物理观察者
- 3 物理观察者
- 4 物理实在
- 5 非物理实在

- 6 物理实在涌现
- 7 量子观察者 (左)
- 8 量子观察者 (右)
- 9 a. 物理实在论 (物理实在看着它自己)
- 10 b. 二元论 (非物理的精神实在也在看)
- 11 c. 量子实在论 (非物理实在虚拟地看着自己)

图 1.2 针对观察者比较各种实在选项

起作用，就像即使我们看不到量子理论所描述的东西，它依然起作用一样。科学只需要可观测的证据就能发挥作用，而虚拟现实提供了这一点，所以，虚拟现实可以支持科学，即使它不是客观真实的。

一个对里面的居民来说显得真实的虚拟现实可以被称为**局部实在 (local reality)**，因为它从内部看是真实的，但从外部看却不是，就像大富翁 (Monopoly) 游戏里的钱可以在游戏里买东西，但在游戏外却不行。局部实在总是被另一个实在所包含，而客观实在则仅靠自身存在，所以它不需要任何东西来包含它。局部实在在内部是真实的，因为像素对其他像素来说可以是真实的。性质相同的东西可以相互作用，所以地球对由它构成的我们来说是坚固的，但对中微子来说，它只是一个穿梭而过的阴影。因此，局部实在对其中的人来说可以是真实的，但对外部的人来说依然是不真实的。

1.3. 物理证据 (The Physical Evidence)

我们如何才能知道我们的世界是否是虚拟的？仅仅观察是不够的。游戏世界之所以显得真实，是因为当我向左看时，会显示左侧的视图；当我向右看时，会显示右侧的视图。无论我看向哪里，它都会呈现出来，但关键是：只有当我看的时候它才会呈现。相反，客观实在无论我看与不看都存在，因此物理事件不应该因为观察方式的不同而发生改变。然而，量子理论预测了观察者效应，即我们观察事件的方式会改变它们的属性，而证据也与此相符。在延迟选择实验中，以不同方式被观察的光子会沿着不同的路径到达探测器。物理学家惠勒 (Wheeler) 得出结论，我们生活在一个参与性的宇宙 (participatory universe) 中，我们看到什么取决于我们看向哪里，这正是对一个虚拟现实的预期。那么，我们的世界是否还展现出其他虚拟主义的蛛丝马迹呢？

1.3.1. 虚拟主义的十五大特征 (Fifteen features of virtualism)

以下特征是虚拟现实所具有而客观现实不具备的:

1. **一个开端 (A beginning)**。天文学家看到恒星和星系正以已知的速度离我们远去, 因此他们可以向后推算出我们的宇宙在一百四十多亿年前有一个开端。但是, 一个包含了“所有存在”的宇宙怎么可能有一个开端呢? 在它之外没有任何东西可以创造它; 在它开始之前它不能创造自己, 因为它那时还不存在; 而一个从虚无中产生的宇宙则违背了逻辑。关于 D-膜 (D-branes)、虫洞、替代宇宙以及隐形传态或振荡宇宙的猜测无济于事。相反, 每个虚拟现实都被预期有一个启动 (boot up) 过程, 这个事件同时也开启了它的空间和时间。由此推论, 大爆炸仅仅是我们的宇宙启动的时刻 (1.4.2)。
2. **一个最高速度 (A maximum speed)**。在我们的世界里, 没有任何东西的运行速度能超过光速, 但这种限制毫无道理, 因为一个物质对象应该总是能够跑得更快一点。相反, 屏幕上像素到像素的传输速率预期会受到其刷新率 (refresh rate) 的限制。由此推论, 光速限制仅仅反映了空间的刷新率 (3.2.4)。
3. **空间和时间是数字化的 (Space and time are digital)**。量子理论要求时间和空间以微小的普朗克步长变化, 但客观实在应该是连续的而不是数字化的。相反, 虚拟现实总是由不可分割的像素和不可约减的周期组成的。由此推论, 我们的空间和时间是数字化的, 因为我们的世界分别具有一个分辨率和周期率 (2.2.1)。
4. **隧穿 (Tunneling)**。隧穿是指电子出现在它无法穿过的场势垒之外, 就像一个完全密封的玻璃瓶里的硬币突然出现在了瓶外。物质不应该移动到一个没有任何路径允许它到达的点, 但它确实做到了。相反, 虚拟现实可以从一帧切换 (cut) 到下一帧而无需任何中间路径。由此推论, 隧穿只是物质从一帧跳跃到下一帧, 就像它一直做的那样 (5.3.1)。
5. **纠缠 (Entanglement)**。两个以光速分离的光子本不应该能够相互影响, 但纠缠的光子却能做到。观察其中一个的自旋会使另一个立刻具有相反的自旋, 无论距离多远。爱因斯坦称其为“幽灵般的超距作用”, 因为它无视了光速。相反, 服务器可以瞬间改变屏幕上的任意点, 无论屏幕上的距离有多远。由此推论, 当光子纠缠时, 它们的服务器合并了, 从而能够为任何事件瞬间控制两者 (3.8.5)。
6. **空间弯曲 (Space curves)**。根据相对论, 太阳通过弯曲其周围的空间来使地球保持在轨道上, 但是一个三维空间怎么可能弯曲呢? 如果物理学中那些想象的维度不是真实的, 我们的空间就无法弯曲进入它们。相反, 作为屏幕表面的我们的空间预期是可以弯曲的, 就像一些电视屏幕那样。由此推论, 我们的空间是一个可以弯曲进入四维量子空间的三维表面 (2.4.1)。
7. **时间膨胀 (Time dilates)**。爱因斯坦认为, 一个乘坐高速火箭在宇宙中旅行的人, 一年后返回地球时, 会发现他在地球上的双胞胎兄弟已经是八十岁的老人了! 相对论要求时间在高速下变慢, 粒子研究也同意这一点, 但物质怎么能改变时间呢? 相反, 每个游戏玩

家都知道, 他们的屏幕在激烈的宏大战斗中会变慢。由此推论, 时间在高速下变慢, 是因为在虚拟现实运行更多事件需要花费更长的时间 (5.2.4)。

8. **随机性 (Randomness)**。放射性原子随机地发射光子, 以一种物理历史无法预测的方式。物理实在不允许非物理的原因, 因此发明了机械的多元宇宙论——即每一个量子事件都会孕育出一个新的宇宙, 这简直荒谬至极。相反, 在虚拟现实中, 预期是服务器来选择屏幕事件, 而不是屏幕自己。由此推论, 对我们来说看似随机的事件, 仅仅是量子服务器在选择物理事件发生的位置 (3.5.3)。
9. **空间不是空的 (Space isn't empty)**。如果只有物质是真实的, 那么物质之间的空间应该一无所有, 但在卡西米尔效应 (Casimir effect) 中, 在真空中靠得很近的平坦金属板会经历一种将它们推到一起的力。当前的物理学将其归因于来自虚空的虚粒子, 但是“无”怎么可能导致“有”呢? 相反, 一个开启但显示空白的屏幕并没有“什么都不做”, 因为它还会显示静电噪点 (static)。由此推论, 在接近像素分辨率的尺度上, 空间的异步空闲处理 (asynchronous null processing) 会产生一种压力 (2.4.5)。
10. **波粒二象性 (Wave-particle duality)**。在杨氏双缝实验中, 一个光子可以同时穿过两条狭缝, 像波一样与自身发生干涉, 然后像粒子一样到达屏幕上的一个点。物质做不到这一点, 所以发明了波粒二象性, 认为粒子也可以是波, 但从逻辑上讲它们不可能同时是两者。相反, 一个处理波 (processing wave) 可以穿过两条狭缝进行干涉, 但仍然在一个点上重启。由此推论, 波粒二象性就是量子波在一个物理事件中重启, 从而看起来像粒子 (3.5.2)。
11. **黑洞 (Black holes)**。狭小空间内的大质量可以坍缩成所谓的黑洞。大多数星系, 包括我们自己的星系, 其中心都有一个黑洞。物质被说成是坍缩成了一个无限致密的点奇点, 但为什么黑洞在吸收物质时体积会增大呢? 相反, 一个虚拟空间预期有一个它能处理的最大带宽 (maximum bandwidth)。由此推论, 黑洞是物质填满了空间的带宽, 因此它具有大小, 而不是一个奇点 (5.4.6)。
12. **叠加态 (Superposition)**。量子理论允许叠加的电流同时在超导环中双向流动 (Cho, 2000), 这在物理上是不可能发生的。相反, 在网络上扩散的处理预期会重叠, 因为每个点都可以运行许多进程, 直至达到其带宽上限。由此推论, 叠加态仅仅是处理在扩散时的重叠 (3.8.1)。
13. **非物理探测 (Non-physical detection)**。一个极其敏感、连一个光子都会引爆的炸弹应该无法被探测到, 但马赫-曾德尔干涉仪 (Mach-Zehnder interferometer) 却能做到这一点 (Kwiat et al., 1995)。非物理探测本不该发生, 但在我们的世界里却发生了。相反, 在虚拟世界里, 我们不知道门后有什么, 但系统知道。由此推论, 非物理探测就是我们欺骗系统, 让它揭示它所知道的信息 (3.8.4)。
14. **追溯作用 (Retrospective action)**。在延迟选择实验中, 观察飞行中的光子能在观察之前定义它的路径, 这表明未来可以影响过去, 从而破坏了所有物理学的基础。相反, 虚拟现实预期会计算每一条路径, 但在最后一刻才做出选择。由此推论, 追溯作用就是一个光

子波采取每一条路径，直到一个物理事件选择了它的物理路径，因此这里面没有时间旅行 (3.8.3)。

15. **反物质存在 (Anti-matter exists)**。量子方程预测了反物质，但客观存在的物质不需要一个质量相同但电荷相反的反面。相反，如果处理 (processing) 生成了物质，它必定也能反向运行。由此推论，反物质仅仅是物质背后的处理在反向运行，所以每个物质实体都必须有一个反面，事实也确实如此 (4.3.5)。

这十五个事实表明，物理世界是虚拟的，而不是客观的。在 4.5.9 节中提出了一个科学实验来测试这两种理论，但就目前而言，我们可以这样认为：

如果它看起来像鸭子，叫起来像鸭子，那么它很可能就是一只鸭子。

鉴于这些事实，夏洛克·福尔摩斯 (Sherlock Holmes) 的格言便适用了：

当你排除了所有不可能的情况，剩下的无论多么难以置信，那都是真相。

因此，目前的证据为“物理世界是一个虚拟现实”提供了一个初步确凿的案件 (prima facie case)。

1.3.2. 初步确凿的案件 (A prima facie case)

物理学家如何知道我们的物理世界不是虚拟的？斯蒂芬·霍金 (Stephen Hawking) 解释道：

“但也许我们都连接在一台巨大的计算机模拟器上，当我们发送一个运动信号去用一只想象的脚踢一块想象的石头时，它会发送一个痛觉信号。也许我们是外星人玩的电脑游戏里的角色。” 引自 (Vacca, 2005, p131)。

他似乎对虚拟主义持开放态度，但他的下一句话却是“不开玩笑了……”。在物理学精英中，虚拟主义是个笑话，但既然宇宙中 95% 是他们无法解释的暗物质和暗能量，这种确定性又从何而来？“物质是一种自我存在的实体”这一传统对他们来说似乎显而易见，但在逻辑上它仅仅是一个假设，在科学上它仅仅是一个理论。物质只占宇宙的不到 5%，而且没人知道剩下的到底是什么，所以认为只有物质是真实的这种信念是错位的。

学术界对虚拟主义的讨论在智力上也是薄弱的。在 2016 年的艾萨克·阿西莫夫纪念辩论会“宇宙是一个模拟吗？”中，专家们攻击了电影《黑客帝国》中天真的虚拟主义，却无视了量子理论所说的量子波创造了物理事件这一事实。他们攻击了一个稻草人——一部没有任何学术依据的幻想电影，却对自己的立场视而不见。

在一个客观世界里，时间不会膨胀，空间不会弯曲，物体不会瞬间传送，空的空间就是空的，宇宙也不会无中生有地蹦出来。只要我们的世界表现得像个客观现实，就没有人会怀疑它是客观真实的。相反，它提供的证据足以让法庭认为值得进一步调查。因此，虚拟主义有了一个初步确凿的案件 (prima facie case)，但这又意味着什么呢？

1.4. 推论 (Implications)

如果我们的世界是虚拟的，我们所看到的物理事件就是由量子波生成的图像。那么现实就在我们身边，但它并不是我们所看到的那个。我们看到遵循物理定律的物体，但并非物理存在的量子波创造了这些定律。因此我们生活在一个量子波的宇宙中，而不是一个死物的宇宙，是一个巨大的海洋而不是一台巨大的机器，但这种“虚拟实在论”伴随着以下推论：

1. **处理器 (Processors)**。一个虚拟现实需要处理器。
2. **启动 (A boot-up)**。一个虚拟现实必须以一个启动过程开始。
3. **空闲处理 (Null processing)**。一个虚拟现实允许空闲处理。
4. **屏幕刷新率 (A screen refresh rate)**。一个虚拟屏幕需要一个有限的刷新率。

目前的证据支持这些推论吗？

1.4.1. 处理器 (Processors)

一些人暗示，物理世界既是一台计算机又是它的输出：

“宇宙不是在其他地方运行的程序。它是一台通用计算机，在它之外没有任何东西。”
(*Kelly, 2002*)。

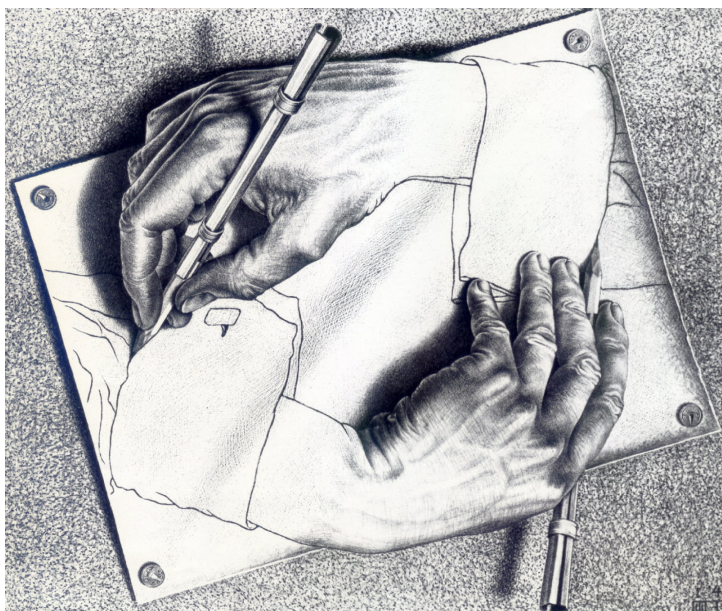


图 1.3 物理世界无法做到这一点（《画手》，M. C. Escher，1948）。

计算机输出信息，但宇宙的大部分根本不输出信息 (Piccinini, 2007)，比如太阳输出的是光而不是信息。计算机的输出如果同时也是它唯一的输入，这是一种会导致它崩溃的循环，在一个无法停止的死循环中，简单地说，它死机 (hangs) 了。但我们的宇宙在不断变化，所以它不可

能被锁定在一个无限循环中。逻辑上，物理世界不能自己计算自己，就像两只手不能互相画出彼此一样（见图 1.3）。

物理学家将量子处理描述为发生在空间和时间中，同样是轻率的：

“想象一下量子计算被嵌入在空间和时间中。每一个逻辑门现在都位于空间和时间的一个点上，线路代表了量子比特从一点流动到另一点的物理路径。” (Lloyd, 1999, p172)。

将量子处理嵌入固定的空间和时间中与相对论相矛盾，因为相对论不允许绝对固定的空间或时间。此外，开启了我们宇宙的那个事件同时也开启了它的空间和时间，因此如果是量子处理做到了这一点，它就不可能存在于它所创造的空间和时间之中。只有未被嵌入我们世界的空间或时间中的处理，才能将其作为一个虚拟现实生成出来。

但是，处理（计算）能够创造我们的宇宙吗？如果我们的宇宙是虚拟的，它必须是有限的，因为无限的东西无法被计算，而证据表明它确实是有限的。同样，所有的物理定律必须是可计算的，它们也确实如此。像圆周率 (π) 这样的抽象概念可以是无限的，只要它不代表一个物理事物即可，而它确实不代表。因此，我们的宇宙可能是：

1. **可计算的 (Calculable)**：科学家们基于邱奇-图灵论题 (Church-Turing thesis) 接受了“处理 (processing) 能够计算出物理现实”的观点，该论题指出有限的程序可以模拟任何可指定的输出 (Tegmark, 2007)。这不是决定论，因为并非所有可定义的数学都是可计算的，例如无限级数。如果我们的世界是可指定的（哪怕是概率性的），理论上一个程序就可以输出它。这个选项并不是说我们的宇宙“是”虚拟的，而是说它“可能”是。如果发现一条不可计算的物理定律，这个选项就会被证伪，但至今从未发现过。事实上，我们的世界具有超乎所有人预期的算法简单性：

“数学在自然科学中极其巨大的有用性近乎神秘，对此没有理性的解释。”
(Wigner, 1960)。

2. **正在计算的 (Calculating)**：某种计算创造了物理事件，这一观点得到了许多学者的支持，包括像惠勒 (Wheeler) 这样的主流物理学家，他的“万物源于比特 (It from Bit)”理论暗示了处理（比特）能够以某种方式创造物质（万物）。在这个选项中，处理不仅仅是模拟宇宙，它可以导致宇宙发生 (Piccinini, 2007)。
3. **被计算出来的 (Calculated)**：处理确实“导致”了物理现实是最后一步，但在物理学中很少有人支持这种强烈的观点，即宇宙真的是一个计算出来的输出 (Fredkin, 1990)。

这些陈述是层层递进的，每一个都假设了前一个：不能计算的东西不能通过计算产生，不能通过计算产生的东西就不可能是计算出来的输出。这是一个滑坡效应，因为一个“计算可能导致”的“可计算世界”可能真的就是“被计算出来的”，换句话说，是虚拟的。第二个选项（万物源于比特）听起来不错，但“物质产生信息，信息又产生物质”是循环的，像永动机一样不可能。这将上述选项减少到了两个：要么物理现实仅靠自身存在，只是碰巧惊人地可计算；要么它实际上是被计算出来的，因此是虚拟的。物质要么是一个原因，要么是被引起的，这里没有有效的中间地带。

1.4.2. 一个启动 (A boot-up)

当你打开一台计算机时, 它必须启动 (boot up), 那么我们的宇宙能像那样开始吗? 上个世纪, 科学家们假设我们的宇宙一直存在, 所以它的各部分在转化, 但整体处于一种稳态 (steady state)。他们非常合理地认为, 一整个宇宙从“一个点”开始是不太可能的。然后在 1929 年, 天文学家哈勃发现, 我们周围的所有恒星和星系都在以极高的速度从数十亿年前的“第一个事件”中飞离, 而在我们周围发现的那个事件的宇宙余辉 (微波背景辐射) 证实了这一点。发生过一场被新闻界称为“大爆炸 (big bang)”的事件。

这使物理学陷入了困境, 因为一个包含了“一切存在”的宇宙不能就这样凭空开始。要么是其他东西制造了它, 要么它制造了自己, 要么它来自虚无。如果是其他东西制造了它, 就像父母制造了孩子一样, 那么它就不是“一切存在的全部”。如果它制造了自己, 它就必须在自己被创造之前存在, 这是不可能的。而它来自于虚无则违背了物理学和逻辑。一个完整的系统就这样突然开始, 没有任何合理的解释。

然而, 我们的宇宙既是完整的又有一个开端, 奇怪的是这正是今天大多数物理学家的信念。巴门尼德 (Parmenides) 曾得出结论: *Nihil fit ex nihilo* (无中不能生有), 但现在的物理学却认为一切都来自虚无。把最初的虚无称为“某种波动的东西” (Atkins, 2011) 无济于事, 因为虚无不可能波动。第一个事件不可能是“真空的量子涨落”, 因为它同时也开始了“空间”, 所以如果物质只是从空间里蹦出来的, 那么空间又是从什么里蹦出来的? 如果一个“从一个点爆炸出来的宇宙”是不理性的, 那么今天科学的创世故事怎么就比以前的更好了呢?

目前对“大爆炸之前有什么?”这个问题的回答是, 在它之前, 没有时间。但是通过定义把问题抹除并不能回答它。一个有开端的宇宙必须以某种方式开始, 所以问“它是如何开始的?”是合法的。因为如果时间只是在某个时刻开始了, 那么它今天能出于同样的原因突然停止吗? 关键问题是:

1. 物质是如何开始的, 在没有时间和空间供它开始其中的情况下?
2. 空间是如何开始的, 在没有时间供它存在其中的情况下?
3. 时间是如何开始的, 在没有空间供它流逝于其中的情况下?

我们的物理宇宙制造了自己是不可能的, 它来自虚无是不可想象的。相反, 每个虚拟现实都以一次“大爆炸”开始, 这次大爆炸创造了它的物体, 以及它的空间和时间。当《模拟城市 (Sim City)》启动时, 那个世界里没有任何东西启动了它, 而在那个事件之前, 《模拟城市》的时间和空间根本不存在。

由此推论, 大爆炸就是我们虚拟宇宙启动 (booted up) 的时刻。

1.4.3. 空闲处理 (Null processing)

目前的物理学无法解释为什么光波在真空中以固定的速度传播。波速应该随介质而变化, 所以水波的速度取决于水的弹性。十九世纪的科学家们预期光也是如此, 所以它的速度应该取决于充满空间的“以太 (ether)”。但地球以每小时 108,000 公里的速度绕太阳公转, 而太阳绕星系运转的速度甚至更快, 所以相对于那个以太, 我们不可能保持静止 (图 1.4)。由此推论, 光速

应该随其方向而变化，但在 1887 年，迈克尔逊和莫雷发现光速在每个方向上都是相同的，所以不存在物理的以太。

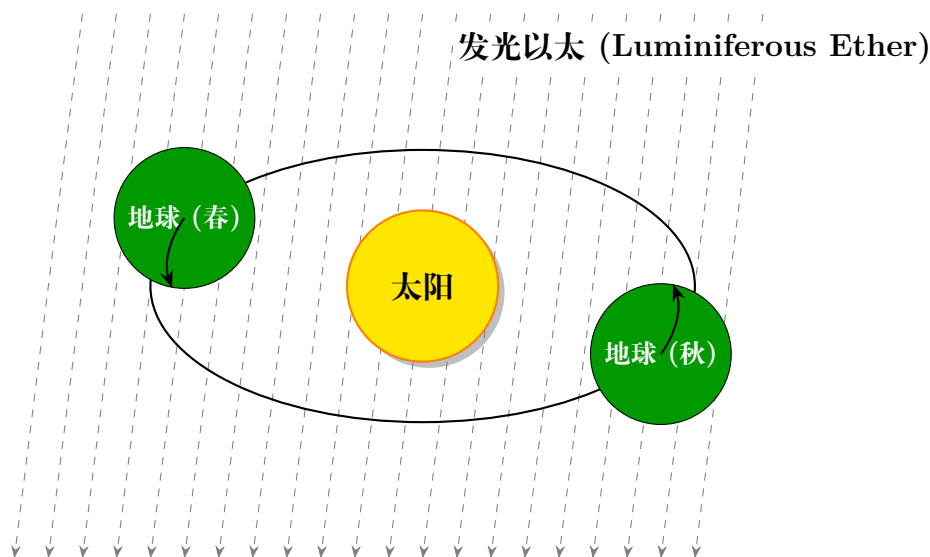


图 1.4 物理以太模型 (包含向下吹拂的“以太风”)

爱因斯坦随后用同样绝对的时空取代了牛顿的绝对空间和时间，其中：

“……对于狭义相对论来说，绝对时空就像绝对空间和绝对时间对于牛顿一样绝对……” (Greene, 2004, p51)。

他把问题从“光如何振动空的空间”改为了“光如何振动时空矩阵”，尽管后者同样没有为弹性提供基础。在反向逻辑的一个典型例子中，现在据说光速定义了空间的弹性，所以一个波可以定义它传播的介质。这是修改理论来迎合事实，是倒退的科学！

为了理解这个问题，想象一个包含物体的空间，就像海洋包含鱼一样：

1. 那个空间中的任何物体都需要一个“不是那个物体”的边界才能成为一个物体。
2. 除非只有物体，否则必然存在一种“不是任何物体”的东西，即空的空间。
3. 如果那个空间什么都不是，那么只有物体存在，所以就没有运动的基础。
4. 如果那个空间像其中的物体一样存在，逻辑就会回到第 1 点，所以它需要另一个“空间”来存在于其中。

物体需要一个空间边界来存在，但如果那个空间什么都不是，它们就不能移动；或者如果空间是一个“东西”，什么来框定它的边界？事物的追溯必须在某处停止，而对我们来说，空间就是那一处。悖论在于，空间不能是“无”，也不能像它里面的物体那样“存在”。在一个纯粹物理的世界里，空间什么都不是，但爱因斯坦和牛顿都意识到这是不可能的：

“根据广义相对论，没有以太的空间是不可想象的；因为在这样的空间中，不仅没有光的传播，而且空间和时间的标准也没有存在的可能性……” (Einstein, 1920, 在莱顿大学 5 月 5 日的演讲中)。

爱因斯坦的以太不是迈克尔逊和莫雷所摒弃的物理以太, 而是一种表现得像“什么都没有”但却是“某种东西”的介质。一种物理物质已经被怀疑, 但非物理的物质却没有:

“自 1905 年爱因斯坦首次废除发光以太以来, 空间充满无形物质的观点正在强劲复苏。” (Greene, 2004, p76)。

这种“物质”必须能够传输光, 却又看起来什么都没有。物理物质无法做到这一点, 但空闲处理 (null process) 可以。在计算中, 空闲处理是处理器单元在做“无事”时运行的程序, 所以即使一个人没有按键或移动鼠标, 一台 4 GHz 的计算机仍然以每秒约 40 亿个周期在进行处理。作为空闲处理的空的空间没有输出, 但它不是“无”, 所以它满足非物理以太的要求。

物质没有空闲元素, 但处理有。所以它可以输出一个实体, 如电子或光子, 同时仍然代表空的空间, 就像屏幕可以显示图像也可以不显示。然而, 没有图像的空白屏幕仍然在做某事, 而不是什么都不做。只有关闭屏幕才会让它停止, 但这也会破坏它上面的任何图像。因此, 如果空间的屏幕被关闭, 我们整个宇宙就会瞬间消失, 我们也会随之灰飞烟灭。

由此推论, 空的空间根本不是空的, 而是充满了空闲处理 (null processing)。

1.4.4. 屏幕刷新率 (The screen refresh rate)

这本书始于我思考为什么我们世界中的最大速度是光速。爱因斯坦从事实中推导出了“没有什么能比光走得更快”, 但他没有解释为什么。客观物体应该可以跑得越来越快, 所以为什么它们不能? 然后我想到, 也许光速是一个屏幕限制, 就像我的电脑屏幕只能以一定的速度运行一样。

在虚拟世界中, 空间是以屏幕像素来测量的, 时间是以处理周期来测量的。问在周期或像素之间发生了什么, 就像问在帧之间的电影或像素点之间的图片发生了什么一样——当电影或图片在那些地方根本不存在时。一部每秒运行 70 帧的电影对我们来说似乎是连续的, 因为我们的眼睛每秒只刷新 30 次。同样地, 一个每秒刷新 10^{43} 次的物理宇宙, 在直到最近以前, 对我们的仪器来说也似乎是连续的。普朗克长度和普朗克时间就是我们虚拟现实的像素和周期。

如果是这样, 从一个点到下一个点的最大传输率是每周期一个像素, 或普朗克长度除以普朗克时间, 这实际上就是光速。我们使用的数值, 如每秒 186,000 英里或 299,792,458 米, 只是反映了我们的人类单位, 但在量子单位中, 光速仅仅是每周期一个像素。

由此推论, 空间的刷新率限制了它的传输速率, 这就是光速。

1.4.5. 重新审视实在 (Reality Revisited)

什么是真实的? 考虑以下案例:

“2005 年 6 月, 中国公民邱成伟 (音) 在网络游戏《传奇 3 (Legend of Mir 3)》中赢得了一把虚拟的剑。他把剑借给了另一位玩家朱曹元 (音), 后者随后 (在 eBay 上) 卖掉了它。当邱向警方报案时, 他被告知虚拟的剑不是真实的财产, 不受法律保护。邱去了朱家并将他刺死, 这是一起极其真实的犯罪, 他现在正为此服无期徒刑。” (Power, 2010, p188)。

这把 Mir 剑在物理上并不存在，但它足够真实，人们可以拥有、出售并为之杀人，所以在所有实际意义上，它是真实的。比特币在物理上也不存在，但它们有真实的效果。如果我们把现实限制在“只有物理存在的才算”，那么价值数十亿美元的比特币就不是真实的！显然这是不对的，所以让我们将实在 (reality) 定义为**对观察者存在的事物**。

如果量子理论是正确的，即每一个物理事件都有一个观察者，那么将观察者添加到定义中就有效了。这个定义允许梦境对梦者来说是真实的，但对其他人不是。这不是唯我论（即我们创造了所有现实），而是我们各自构建我们自己的现实。这使得诸如社会学、心理学和计算机科学等学科能够研究真实的社会、经验和信息系统。因为如果信息不真实，或者如果认知不真实，或者如果社会不真实，计算机科学、心理学和社会学将是研究不真实事物的科学。这也让科学家能够在信息、经验和社会层面研究计算机 (Whitworth & Ahmad, 2013)。

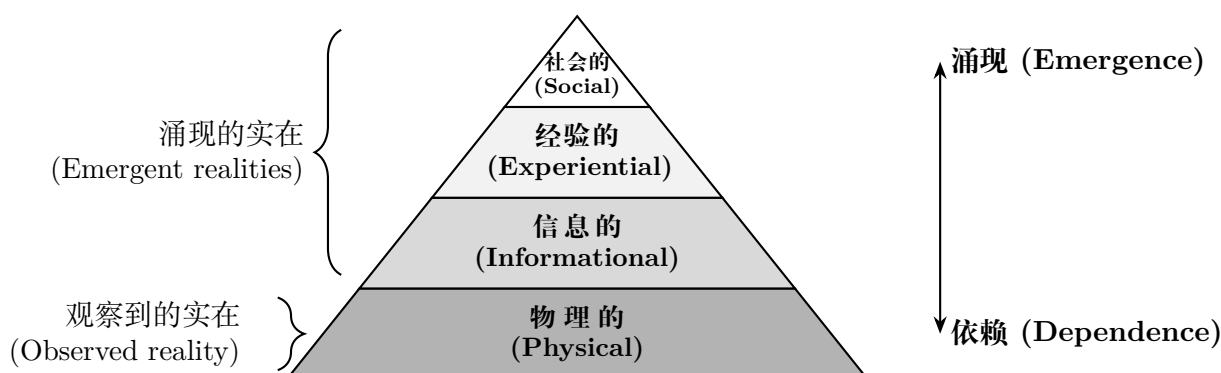


图 1.5 科学的观察 (The observations of science)

在图 1.5 中，科学的观察从物理事件中涌现，所以工程师将手机视为硬件，而程序员将其视为软件。存在着一个单一的现实（手机），但工程师和程序员可以用不同的视角来看待它：看硬件以解决硬件问题，或看软件以解决软件问题。

因此，硬件可以没有软件而存在，但软件不能没有硬件而存在，因为它是由硬件涌现的。总的来说，社会结构产生于人类的体验 (Bone, 2005)，这些体验产生于神经信息，而神经信息又产生于大脑事件，因为以社会视角看待现实有助于我们生存 (Hogg, 1990)。科学建立在可以随主体而改变的观察基础之上。

Mir 剑虽然不存在于物理世界中，但它是 Mir 数据库中的信息实体、其所有者经历的认知实体，以及 Mir 社区中的社会实体，因此它在这些层面上是真实的。如果说幻想只对一个人是真实的，那么 Mir 剑并非如此。它因普遍共识而存在，甚至成为科学研究的主题。在一个社会中，出售自己不拥有的东西是不公正的，由于警方无法提供法律补救，所以所有者自己动手伸张了正义。

在图 1.5 中，一个国家并不是一个物理实体，但如果它的成员视自己为一个单位的一部分，它可以表现得像一个物理实体，所以社会实体产生于共享的观察经验。同样，体验也不是一个物理事物，而是对许多大脑信息事件的统一观察。信息也不是物理事物，而仅仅是看待物理事物的一种方式。于是，科学在社会、经验和信息层面的观察，都是作为实在的更高级视角，从物理事件中衍生出来的。那么，又是谁提供了这些不同层级观察所依赖的观察者本身呢？

在图 1.6 中，量子事件不仅像量子理论所说的那样生成了物理事件，而且还提供了观察

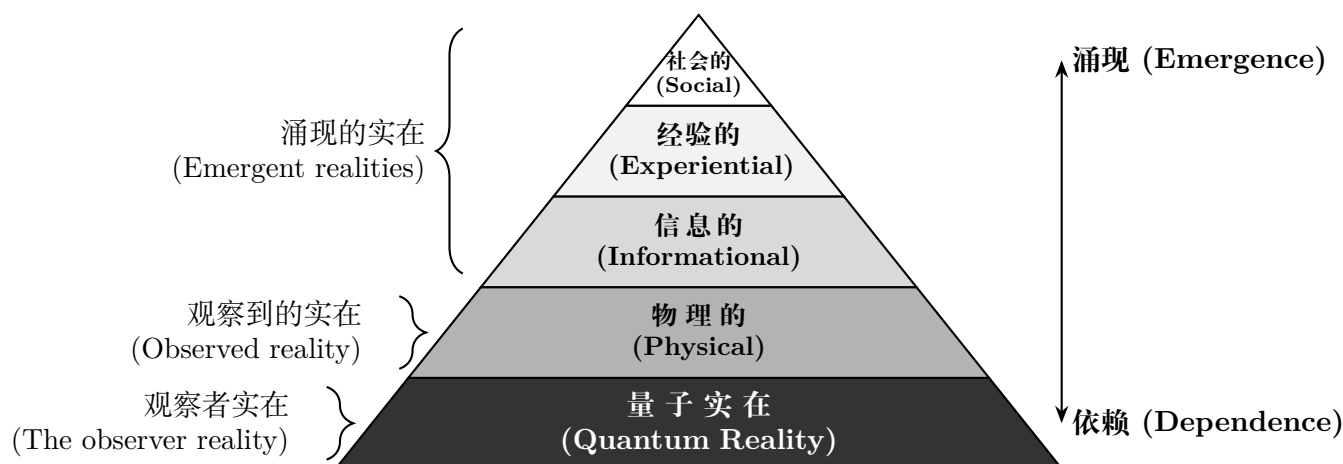


图 1.6 物理实在从量子实在中涌现 (金字塔模型)

者，因此物理实在作为量子实在的一种视角涌现出来，就像科学的其他观察从物理实在中涌现出来一样。每一层实在都通向下一层，如图 1.5 所示，但底座是量子的而不是物理的，因为它提供了观察者。正如十八世纪伟大的哲学家康德 (Kant) 所推断的那样，我们只看到**现象 (phenomena)** (实在的显现)，而永远看不到**本体 (noumena)** (实在本身) (Kant, 2002)。

但是如果我们观察到的现实并非客观真实的，这是否意味着它是假的？想象一下照镜子。你能在镜子里看到自己的身体，但如果你不看，这个图像就不存在。客观上它是不真实的，因为图像显然所在的地方（镜子后方）什么也没有，但它实际上是真实的，因为它准确地反映了我们的样貌。由此可见，一个反映现实的图像并不是假的，即使它不是客观存在的。

同样地，即使我们看到的世界并非那个自在存在的世界（正如康德所暗示的），只要它反映现实，它就不是假的。作为反映真实的量子世界的虚拟现实，物理世界既不是虚构的电影，也不是想象的梦。像那把 Mir 剑一样，它在客观上不是真实的，但它源于存在之物，所以对我们来说它实际上是真实的。本质上，我们生活在一个局部实在 (local reality) 中，它的存在要归功于其外部的另一个实在。

1.5. 评估量子实在论 (Evaluating Quantum Realism)

科学如何才能评估量子实在论？提出的方法是基于设计科学 (design science) 对物理事件进行逆向工程 (reverse engineer)。

1.5.1. 科学的方法 (The method of science)

科学是一种探究现实的方法，而不是一套关于现实的固定观念：

“科学不是关于建立一个已知‘事实’的体系。它是一种提出尴尬问题并对其进行现实检验的方法，从而避免人类倾向于相信任何让我们感觉良好的事物的弱点。”
(Pratchett et al., 1999)。

科学没有告诉我们物理世界是什么，而是告诉我们如何研究它。它将我们提出的问题限制

在那些我们可以检验的问题上, 因此关于多元宇宙 (Tegmark, 1997)、重启现实 (Schmidhuber, 1997) 或嵌套虚拟现实 (Bostrom, 2002) 等无法通过观测检验的理论, 都属于科学范畴之外。相反, 物理世界是虚拟的这一论点是关于我们这个世界的陈述, 因此它是可以通过观测来检验的, 这将在后文展示。

科学的方法是将相互排斥的理论在证据面前进行对比, 并拒绝最不可能的那个, 因此理论必须是可证伪的 (falsifiable)。虚拟主义是可证伪的, 因为任何不可计算的物理学发现都会证伪它:

“……我们的宇宙是在另一个宇宙中的数字计算机上运行的程序这一假设会产生经验预测, 因此是可证伪的” (McCabe, 2005, p1)。

如果物理世界不可计算, 它就不可能是虚拟的, 但它是可计算的。物理主义也是可证伪的, 尽管它的证伪被称为“未解之谜” (Aspect et al., 1982)。

量子理论是一门科学, 因为它可以通过观测来检验, 尽管量子波本身并不是物理存在的。能够“看到”一个理论所描述的东西并不是科学的要求, 而且从来都不是:

“原子论最初只是一个哲学思想, 它几乎无法通过任何当代关于什么应被视为‘科学’的测试; 然而, 最终, 它成为了物理科学的基石。” (Barrow, 2007, p3)。

当前的物理学中有不可观测的夸克、不可见的场和虚粒子, 所以它很难把“可见性”作为科学的要求。这也没有必要, 因为科学只要求一个理论去预测可观测物, 而不是非要关于可见物的。例如, 科学基于证据接受了我们的宇宙在很久以前有一个开端, 尽管我们永远无法观测到那个开端。如果科学能判断我们的宇宙有一个开端, 它就能判断宇宙是否是虚拟的。因此, 量子实在论并不与科学相悖, 而是契合了其探索的精神。

1.5.2. 逆向工程物理事件 (Reverse engineering physical events)

简而言之, 科学方法就是假设一个理论是正确的, 然后看它是否能预测发生的事情。如果有效, 我们就接受它, 如果无效, 我们就拒绝它。量子理论就是这样产生的。相反, 信仰的方法往往是寻找支持某种信念的事实, 而忽略那些不支持的事实。

设计 (Design) 在构建逻辑模型、实施它然后根据预期进行测试时, 就是一门科学。计算机科学使用这种方法, 即信息系统在理论上被设计, 在实践中被构建, 然后根据需求进行测试, 这是一个迭代过程 (Hevner et al., 2004)。

逆向工程 (Reverse engineering) 是设计科学的一个子集, 用于发现应用程序背后的过程。其方法是指定输出, 尽力猜测涉及的过程, 然后比较预测的输出与观测到的输出, 并重复这一过程直到始终正确。这里, 提出的设计必须是可证伪的。量子模拟就是利用这种方法来预测原子事件的。

因此, 对物理世界进行逆向工程涉及以下步骤:

1. **指定 (Specify):** 指定物理输出事件 (物理学)。
2. **设计 (Design):** 设计可以产生这些输出的处理过程 (计算机科学)。
3. **验证 (Validate):** 比较预期输出与实际输出 (实验)。

4. **重复 (Repeat)**: 重复步骤 1-3 以实现设计的一致性 (量子实在论)。

一致性约束至关重要, 因为满足一个要求很容易, 但同时满足许多要求就难得多了。此外, 设计应:

1. **遵循最佳实践 (Follow best practices)**。使用既定的计算机科学原理。

2. **满足奥卡姆剃刀原则 (Satisfy Occam's razor)**。给定一个设计选择, 采用更简单的选项。

其目的是从处理的首要原则出发, 一步一步地推导出物理定律。一个科学理论不能随意选择它想解释的东西, 所以这种方法必须解释所有当前的物理学, 包括空间、时间、能量、物质、引力、磁性、自旋和电荷。如果是通过“挑选 (Cherry-picking)”案例来证明某些程序能够模仿世界的某些属性 (Wolfram, 2002), 那就不是—种新型科学, 而是一种古老的偏见。对物理世界进行逆向工程可能会发现这种方法是:

1. **虚假的 (Spurious)**。虚假的模型不增加任何价值, 因为它们需要新的假设或参数来解释每一个新事实。

2. **巧合的 (Coincidental)**。巧合的模型由于运气好能在一段时间内起作用, 但随着时间推移会失败, 因为它们挑选支持模型的案例, 而忽略矛盾的案例。

3. **有用的 (Useful)**。有用的模型实际上并不真实, 但可以作为新研究的踏脚石。

4. **有效的 (Valid)**。有效的模型不仅在许多方面解释了观测到的现实, 而且还预测了后来被证明是真实的新效应。

如果物理学描述了物理事件, 而计算机科学描述了处理事件, 那么物理世界是否是由量子处理生成的, 就是一个设计科学可以评估的问题。接下来的章节采用了一种“从头开始的物理学 (physics from scratch)”方法来对世界进行逆向工程 (Tegmark, 2007, p6)。它们从第一原理推导出空间、时间、物质和能量, 通过推导而不是假设得出电子和中微子的电荷 (4.3.2), 并预测物质来自于光 (4.5.9)。

1.6. 范式转移 (A PARADIGM SHIFT)

量子实在论是物理实在论的反面, 因为它使量子世界成为真实的, 而物理世界成为虚幻的, 反之亦然。这是一次范式转移 (paradigm shift), 就像我们从认为太阳绕地球转转变为认识到地球绕太阳转一样。范式转移通常会遭到抵制, 因为它们挑战了传统的假设。第一波抵制通常是奥卡姆剃刀, 认为传统观点更简单, 然后是捍卫其基础, 最后才是在科学上测试新范式。然而, 任何新范式的最大障碍是“我们以为自己已经无所不知”的信念。

1.6.1. 奥卡姆剃刀 (Occam's razor)

奥卡姆剃刀是指倾向于更简单的理论, 从而不增加不必要的原因。一个世纪前, 伯特兰·罗素 (Bertrand Russell) 呼吁常识和奥卡姆剃刀, 争辩说生活不是虚拟的:

“在假设整个生活是一场梦，在这个梦中我们自己创造了出现在我们面前的所有物体时，没有任何逻辑上的不可能性。但是，尽管这在逻辑上并非不可能，但没有任何理由认为它是真的；而且，作为一种解释我们自己生活事实的手段，与那种认为确实存在独立于我们的物体、它们对我们的作用引起了我们感觉的‘常识性’假设相比，它实际上是一个更不简单的假设。” (*Russell, 1912*)。

同样的论点在今天依然适用吗？现在仍然是常识，认为有一个独立于我们的现实存在，但“我们整个宇宙曾经存在于一个点上”这根本不是常识，因为我们的宇宙从一个微小的开端“启动 (booted up)”也同样具有可能性。

奥卡姆剃刀的偏好也发生了改变。在罗素的时代，物理学只需要相对较少的粒子，每个粒子具有质量、电荷和自旋。但现在，它需要 48 个具有 24 种属性的粒子，加上在空虚空间中产生 14 种虚玻色子的 5 个无形场，仅仅是为了解释最基本的东西。为了解释暴胀、中微子或暗物质，还需要更多的场、粒子和玻色子。而我们最好的普适理论——弦理论——需要 11 个维度才能起作用。

很难想象还有什么比今天的物理学更复杂的了，所以如果它受到青睐，绝不是因为它的简单性。相反，接下来的章节将使用一个量子过程、一个额外维度和一个量子场来解释相同的事实。上个世纪，物理主义是更简单的理论，但快进一百年，量子实在论要简单得多，所以现在的奥卡姆剃刀砍向了另一边。

1.6.2. 物理主义的意识形态 (The ideology of physicalism)

如果一切都是物理的，那么物理事件就只有物理的原因，在当前物理学中，这意味着存在于空间和时间中施加力的物质或能量粒子。这预测了一个守恒的 (conserved)、连续的 (continuous)、完整的 (complete) 和基本的 (fundamental) 物理世界，但这些基础存在断层，需要理论上的修补，具体如下：

1. **守恒的 (Conserved)**。如果物理世界就是一切存在的总和，它在总量上必须是守恒的。它的部分可以转化，比如水变成蒸汽，但总量应该处于永恒的稳定状态。然而上个世纪的大爆炸理论震裂了这根支柱，因为曾经有开端的东西不可能是永恒的。掩盖这个断层的一个修补补丁是猜测大爆炸之后会有大挤压 (big crunch)，在一种持续的振荡中，实际上维持着稳态。
2. **连续的 (Continuous)**。如果物理世界就是一切存在，空间和时间必须是连续的，没有缝隙，粒子才能是基础的。如果时间有缝隙，一个基本粒子就无法存在于缝隙中，因此就不是基本的。如果空间有缝隙，基本粒子可能会移动到它无法存在的缝隙中，因此又不是基本的。然而，假设连续性的场论会产生无限大，而无限是不可能的。掩盖这个断层的补丁是重整化 (renormalization) 的数学方法，费曼称之为“发疯的过程”，因为它只是通过定义把问题抹掉了。
3. **完整的 (Complete)**。如果物理世界就是一切存在，所有事物必须有物理原因，但像原子衰变这样的事件没有物理原因，因为没有物理历史可以预测放射性原子何时发射光子。量

子理论补充说量子坍缩是随机的, 所以每一个物理事件也都涉及随机性。这种情况下的修修补补是极其荒谬的多元宇宙思想, 即每一个随机选择都会创造一个全新的宇宙, 从而得出一个避免随机性的多元宇宙。

4. **基本的 (Fundamental)**。如果物理世界就是一切存在, 粒子应该是基本的, 但在双缝实验中, 电子作为波穿过两个缝隙, 产生干涉图案, 只有在被观察时才变成粒子。掩盖这个断层的补丁是标准模型的波粒二象性, 它让粒子也可以是波, 所以粒子并不是真正基本的。

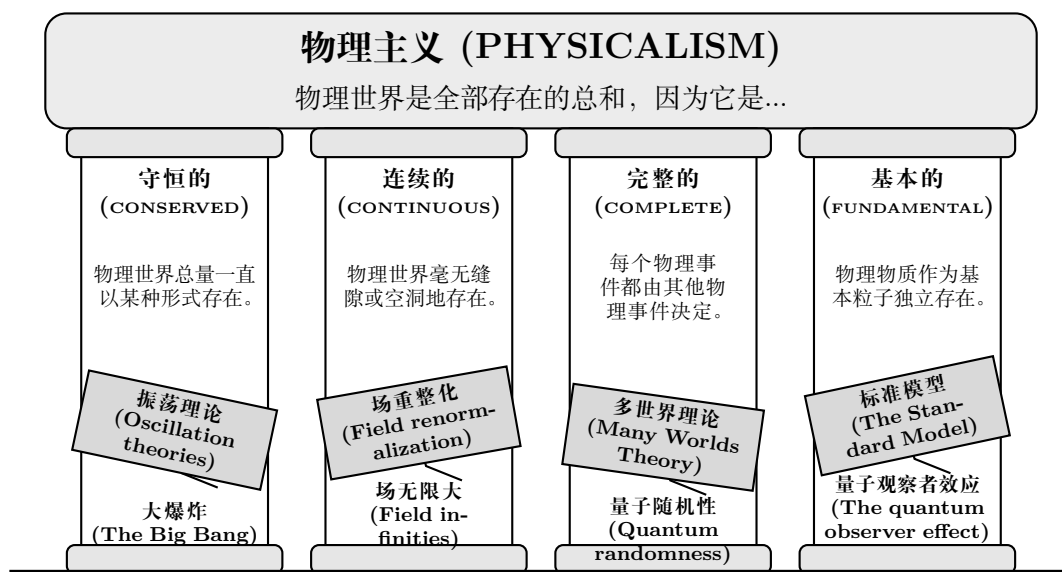


图 1.7 物理主义的四大支柱

图 1.7 显示了物理主义的四大支柱、它们的断层以及所需的修补。这些支柱作为物理主义的必要假设, 具有深远的含义, 因为如果物理世界永远是:

- a. 守恒的, 那么它必须是**永恒的 (eternal)**。
- b. 连续的, 那么它必须是**无所不在的 (all-pervading)**。
- c. 完整的, 那么它必须是**全能的 (all-powerful)**。
- d. 基本的, 那么它必须是**自我存在的 (self-existing)**。

因此, “物理世界是守恒的、连续的、完整的和基本的” 就等于说 “它是永恒的、无所不在的、全能的和自我存在的” ——所有这些属性曾经都被归属于上帝 (God)。物理主义的推论是, 物理世界拥有曾经被认为是神圣的属性, 所以它是一种意识形态, 与宗教的有神论没有区别。

物理主义作为一种意识形态而非事实, 无法证明其关于物理现实的主张, 就像宗教无法证明其关于上帝的主张一样, 所以现在由物理世界取代了拥有所有答案的“神圣经文”。但如果物理世界是永恒的, 它为什么会有一个开端? 如果它是无所不在的, 为什么会有普朗克限制? 如果它是全能的, 为什么会有随机事件? 如果它是自我存在的, 它是如何膨胀的? 难道我们只是用一种意识形态换了另一种?

要接受物理主义的意识形态，一个人必须相信：我们的世界是自己开始的，无限大可以通过定义被抹去，光子可以孕育出新宇宙，而粒子也可以是波。说物理主义的基础摇摇欲坠那算是保守了，那么为什么它依然屹立不倒呢？

答案似乎是二元论的意识形态更加缺乏吸引力，所以物理主义“聊胜于无”。但还有另一种选择，那就是量子事件就像量子理论所说的那样创造了物理事件。物理主义和二元论都假设了物理实在论（物理世界是真实的），因此认为量子世界是真实的，就是量子实在论。

量子实在论使物理世界成为一个必然是无常的 (impermanent)、数字化的 (digital)、被包含的 (contained) 和依赖的 (dependent) 虚拟现实。虚拟现实必须有一个开端，所以它是无常的而不是永恒的。它由离散的像素和周期组成，所以它是数字化的而不是无所不在的。它存在于另一个实在内部，所以它是被包含的而不是全能的。它也在被持续创造，所以它是依赖的而不是自我存在的。如果如后续章节所暗示的那样，物理世界是无常的、数字化的、被包含的和依赖的，那么将神圣属性赋予它是愚蠢的。然而，要拒绝物理主义的意识形态，科学必须改变其当前的公理。

1.6.3. 科学如何改变公理 (How science changes axioms)

常规科学通过基于假设公理的理论来扩展知识，但有时被称为范式转移的科学革命会改变这些公理 (Kuhn, 1970)。科学史就是由漫长的常规科学时期组成，其间穿插着偶尔改变其基础的范式转移。

例如，欧几里得的公理（平行线不能相交）被接受了两千年，直到人们认识到在像地球这样的曲面上，平行的经线确实在两极相交。改变那个公理使得在曲面上运作的超几何成为可能，所以欧几里得几何仅仅是平面的特例。爱因斯坦的相对论是另一次范式转移，它使牛顿力学成为特例。科学有时是通过改进其公理来进步的。

那么，什么是好的公理呢？它们是那些能预测不止一个事实的公理 (Chaitin, 2006)，这样一来基于几个公理的理论就能预测许多事实。无视这个标准，为每一个新事实增加一个新公理，只会增加体积而不会增加成功率，就像在每一块新土地上盖一间棚屋，得到的是棚户区而不是城市。使用少数公理产生大量知识的理论，就像在一小块土地上创造巨大价值的高塔。因此，当理论不能增加知识时，就需要范式转移，而今天的粒子物理学就属于这一类：

“一个接一个的实验返回的都是零结果：没有新粒子，没有新维度，没有新对称性。”
(Hossenfelder, 2018)。

随着新事实被发现，为了解释它们而发明了新粒子，所以粒子增加了，但它们的预测能力却没有增加。为了解释引力而发明了引力子，但它们没有预测任何新东西。为了解释中子衰变发明了具有质量的场粒子，但再次没有预测任何新东西，而且需要希格斯粒子来解释它们的质量，但这也没有带来任何进展。粒子物理学变得越来越复杂，却在几十年里没有取得任何突破，这暗示着我们需要一次范式转移。

提议的转变是，将物理学的基础建立在量子波之上，而不是物理主义的粒子之上。这个改变看似激进，但破坏性创新往往是进步的代价 (Sandström, 2010)。然而这种破坏并不大，例如薛定谔方程依然有效，它只是描述了“什么存在”而不是“什么不存在”。好处是物理学可以继续

前进, 就像天文学停止以地球为宇宙中心时所做的那样, 但这两种情况都需要我们不再固执地认为“**我们已经无所不知**”。

1.6.4. 万物理问 (A query of everything)

长久以来, 科学一直在挑战我们人类将自己置于事物中心的人性倾向, 因此:

“自从我们最早的祖先仰望星空以来, 我们人类的自我 (*egos*) 就遭受了一系列的打击。” (Tegmark, 2007)。

人类的自我是我们对自己的想法, 是我们用“**我 (I)**”指代的一套核心信念, 它自然而然地倾向于觉得自己很重要, 但科学无视这一点。

例如, 我们曾经认为我们处于宇宙的中心, 太阳和星星都围绕我们转, 所以“**我们在哪里?**”这个问题根本没有被提出, 因为我们“**已经知道**”了答案。我们位于万物的中心让我们觉得自己很重要, 所以当伽利略和哥白尼挑战地心说时, 他们同时也挑战了“**万物围绕我们运转**”的自我观念。现在的科学告诉我们, 人类生活在一颗小行星上, 绕着一颗中等恒星运转, 身处一个拥有一千亿颗恒星的星系中, 而这个宇宙里有至少同等数量的星系, 所以我们就像浩瀚森林里一棵树上的一片叶子上的细菌群落。然而, 这种对自我的打击是我们为理解天文学所付出的代价。

人类也曾认为他们是地球生命的中心, 动植物都是专为我们放在那里的, 所以“**我们何时开始?**”这个问题没有被提出, 因为我们“**已经知道**”了答案。我们一直存在让我们觉得自己很重要, 所以当达尔文挑战神创论时, 他也挑战了“**生命围绕我们运转**”的自我观念。现在的科学告诉我们, 人类只是在几百万年前才从动物进化而来, 而恐龙曾统治地球长达两亿年直到一颗流星消灭了它们。所以我们仅仅是另一个物种, 而细菌、昆虫和植物在生物量上都超过了我们。然而, 这种对自我的打击是我们为理解生物学所付出的代价。

今天, 人们通常认为自己处于控制身体的大脑中心, 所以“**我是谁?**”这个问题没有被提出, 因为我们“**已经知道**”了答案。我们是一个观察并选择身体行为的心灵, 这让我们觉得自己很重要, 所以当神经科学家挑战“**心灵控制身体**”的二元论时, 他们也挑战了“**身体围绕我们运转**”的自我观念。现在的科学告诉我们, 我们的大脑并不像计算机那样有一个中央处理单元, 而仅仅是一组以某种方式协调的神经末梢集合 (第 6 章), 所以大脑并不支撑一个心理上的自我。然而, 这种对自我的打击是我们为理解大脑正在付出的代价。

趋势很明显: 我们的自我假设我们处于中心, 但科学一再发现并非如此。我们既不是宇宙的中心, 也不是地球生命的中心, 甚至不是我们大脑的中心, 但旧习难改。我们依然认为我们观察到的东西是真实的, 仅仅是因为“**我们**”观察到了它, 所以“**什么是真实的?**”这个问题没有被提出, 因为我们“**已经知道**”了答案。我们是现实的知晓者, 这让我们觉得自己很重要, 所以当量子理论挑战物理主义时, 它也挑战了“**我们了解现实**”的自我观念。科学现在告诉我们, 物理世界不是真实的, 因为量子世界导致了它, 所以我们生活在一个虚拟现实。然而, 这种对自我的打击正是我们要为理解量子实在付出的代价。

这些对我们盲目优越感的挑战, 并没有影响“**我们是什么**”, 而是影响了“**我们自以为是什么**”——即自我。例如, “**科学全知**”的错觉 (Sheldrake, 2012), 这是一种我们自以为已经知道一切或者很快就会知道一切自我主义。因此, 科学不是提出一个“**万物理论 (theory of**

everything)” (根据哥德尔的证明, 所有理论都是不完备的, 因此这是不可能的 (Gödel, 1962)), 而是提出一个 “**万物理问** (*query of everything*)”, 去探索支撑我们所见图像底层的量子基础。

致谢 (ACKNOWLEDGEMENTS)

感谢新西兰理工学院 (NJIT) 的 Onofrio Russo 激发了我的兴趣, 感谢 Cris Calude, Tom Campbell, Jonathan Dickau, Andrew Eaglen, Ken Hawick, Belinda Sibley, Ben Iscatus, Bruce Maier, Mason Mulholland, Matthew Raspanti, Ross Rhodes, John Ringland, Claudio Soprano, Andrew Thomas, Ram Vimal, Bryan Warner, Marty Wollner 和 Tim Jones 提供的有用意见和评论。感谢我的儿子 Alex, 他帮助我更清晰地思考。当然, 任何错误都由我本人承担。

Table 1: 第一章摘要：物理实在论 vs. 量子实在论

物理实在论 (Physical realism)	量子实在论 (Quantum realism)
大爆炸。 宇宙在一次大爆炸中无中生有，同时也创造了我们的时间和空间。	启动。 宇宙在它启动时开始，这同时也创造了我们的时间和空间。
最大速度。 出于未知原因，光速是一个普遍极限。	最大速率。 量子网络的刷新率决定了光速。
量子化。 质量、能量、时间和空间在普朗克级别是量子化的，原因未知。	数字化。 质量、能量、时间和空间是量子化的，因为宇宙是一个数字系统。
量子隧穿。 量子实体可以突然出现在不可逾越的障碍之外。	量子重启。 在网络上扩散的量子处理可以在扩散范围内的任何一点重新启动。
光子纠缠。 纠缠的光子以超光速相连，这在物理上是不可能的。	处理合并。 运行这两个纠缠光子的合并的量子进程连接了它们。
空间弯曲。 质量以一种物理上不可能的方式使空间弯曲，原因未知。	屏幕弯曲。 空间作为 3D 屏幕可以弯曲进入另一个维度，就像 2D 屏幕可以弯曲一样。
时间膨胀。 在大质量物体附近和高速状态下，时间会膨胀，由于某种未知原因。	处理变慢。 大质量和高速度的负载减慢了处理时间周期的速度。
随机的先前事件。 不属于物理事件导致的随机放射性，本不应发生。	服务器选择。 虚拟现实中的随机事件源于服务器的处理选择。
空间是空的？ 空间作为“非物质”应该是空的，但由于卡西米尔效应，它并非如此。	空间是满的。 在虚拟现实中，空间充满了可以解释卡西米尔效应的空闲处理。
波就是粒子。 光波发生干涉但仍然作为点粒子到达屏幕，这归因于波粒二象性的奇迹。	光子波重启。 光是一种处理波，它可以发生干涉，但仍会在使屏幕过载的点处重启为一个粒子。
黑洞。 是无限质量密度的点，出于未知原因却具有尺寸。	黑洞。 是物质填满空间带宽极限的区域，所以它们具有尺寸。
非物理探测。 已被证明会发生，尽管这在物理世界中是不可能的。	非物理探测。 量子理论的非物理法则预测了非物理探测。
追溯事件。 在延迟选择研究中，光子在到达目的地之后才选择其物理路径，否认了因果关系。	准时 (Just-in-time) 选择。 延迟选择光子采取到达目的地的每一条物理路径，并在到达后才选择其中一条，从而保留了因果关系。
反物质。 出于未知原因，物质具有相同质量但相反电荷的反面。	反物质。 物质的处理意味着质量相等但电荷相反的反向处理。

讨论问题 (DISCUSSION QUESTIONS)

本章探讨了以下问题。最好在小组中讨论它们, 以便涌现出各种观点。每个问题后面给出了相关的节号链接:

1. 为什么当前的物理学是一门空洞的科学? 缺少了什么? ([1.1.2](#))
2. 为什么很难在主张物理世界的同时也主张一个精神世界? ([1.2.2](#))
3. 客观实在与虚拟现实有何不同? ([1.2.3](#))
4. 科学是否证明了物理世界是一个客观实在? ([1.2.3](#))
5. 量子实在论在何处与电影《黑客帝国》一致? 在何处不同? ([1.2.5](#))
6. 量子实在论和物理实在论有何相同之处? 有何不同之处? ([1.2.5](#))
7. 科学还能在一个虚拟现实中运作吗? ([1.2.6](#))
8. 哪些物理证据支持物理世界是虚拟现实这一理论? ([1.3.1](#))
9. 为什么许多物理学家否认量子事件导致物理事件? ([1.3.2](#))
10. 物理世界能自己计算自己吗? 给出理由。([1.4.1](#))
11. 一个作为“全部存在”的物理宇宙能在一次大爆炸中创造自己吗? 给出理由。([1.4.2](#))
12. 如果没有时间让我们的空间在其中开始, 它是如何开始的? ([1.4.2](#))
13. 如果没有空间让我们的时间在其中开始, 它是如何开始的? ([1.4.2](#))
14. 空间怎么可能既是“无”又是“有”? ([1.4.3](#))
15. 为什么任何东西的速度都不能超过光速? ([1.4.4](#))
16. 物理学是否因为研究真实的物理事件而更科学? ([1.4.5](#))
17. 量子实在论是可证伪的吗? 物理实在论是可证伪的吗? ([1.5.1](#))
18. 如何在科学上评估量子实在论? ([1.5.2](#))
19. 什么是奥卡姆剃刀? 它支持物理实在论吗? ([1.6.1](#))
20. 物理宇宙是永恒的、无所不在的、全能的和自我存在的吗? ([1.6.2](#))
21. 量子实在论是否改变了物理方程? 如果没有, 它改变了什么? ([1.6.3](#))
22. 量子实在论是万物理论 (TOE) 吗? 如果不是, 为什么? ([1.6.4](#))

参考文献 (REFERENCES)

- Aspect, A., Grangier, P., & Roger, G. (1982). Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities. *Physical Review Letters*, 49(2), 91-94.
- Atkins, P. (2011). *On Being: A scientist's exploration of the great questions of existence*. Oxford University Press.
- Audretsch, J. (2004). *Entangled World: The fascination of quantum information and computation*. Wiley.
- Baggot, J. (2013). *Farewell to Reality: How fairytale physics betrays the search for scientific truth*. Constable.
- Barrow, J. D. (2007). *New theories of everything*. Oxford University Press.
- Bone, J. (2005). The social map and the problem of order: A re-evaluation of "Homo Sociologicus." *Theory & Science*, 6(1).
- Bostrom, N. (2002). Are you Living in a Computer Simulation? *Philosophical Quarterly*, 53(211), 243-255.
- Chaitin, G. (2006). The limits of reason. *Scientific American*, 294(3), 74-81.
- Cho, A. (2000). Physicists Unveil Schrodinger's SQUID. *Science*, 287(31 March).
- Deutsch, D. (1997). *The Fabric of Reality*. Allen Lane.
- Esfeld, M. (2004). Quantum Theory: A Challenge for Philosophy! In J. Audretsch (Ed.), *Entangled World* (pp. 271-296). Wiley-VCH.
- Everett, H. (1957). "Relative state" formulation of quantum mechanics. *Rev. of Mod. Phys.*, 29, 454-462.
- Ford, K. W. (2004). *The Quantum World: Quantum Physics for Everyone*. Harvard University Press.
- Fredkin, E. (1990). Digital Mechanics. *Physica D*, 254-270.
- Gödel, K. (1962). *On Formally Undecidable Propositions*.
- Greene, B. (2004). *The Fabric of the Cosmos*. Vintage Books.
- Gribbin, J. (2000). *The Search for Superstrings, Symmetry, and the Theory of Everything*. Little, Brown & Company.

- Guth, A. (1998). *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Perseus Books.
- Hafele, J. C., & Keating, R. E. (1972). Around-the-world atomic clocks: Observed relativistic time gains. *Science*, 177, 168-170.
- Hevner, A. R., March, S. T., & Park, J. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75-105.
- Hogg, M. A. (1990). *Social Identity Theory*. Springer-Verlag New York.
- Hossenfelder, S. (2018). The Present Phase of Stagnation in the Foundations of Physics Is Not Normal. *Nautilus*, November.
- J. Khoury, B. A. O. (2001). Ekpyrotic universe: Colliding branes and the origin of the hot big bang. *Phys. Rev. D*, 64(12).
- Kant, I. (2002). *Critique of Pure Reason*. In M. C. Beardsley (Ed.), *The European Philosophers from Descartes to Nietzsche*. The Modern Library.
- Kelly, K. (2002). God is the Machine. *Wired*, 10(12).
- Kuhn, T. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions: Second Edition, Enlarged*. The University of Chicago Press.
- Kwiat, P. G., Weinfurter, H., Herzog, T., Zeilinger, A., & Kasevich, M. A. (1995). Interaction-free Measurement. *Phys. Rev. Lett.*, 74, 4763.
- Lloyd, S. (1999). Universe as Quantum Computer. *arXiv: Quant-Ph/9912088v1*, 17 Dec.
- Lloyd, S. (2006). *Programming the Universe. A Quantum Computer Scientist Takes On the Cosmos*. Alfred A. Knopf.
- McCabe, G. (2005). Universe creation on a computer. *Stud. Hist. Philos. Mod. Phys.*, 36:591-625.
- Nikolić, H. (2008). Quantum mechanics: Myths and facts. *arXiv:quant-ph/0609163v2*.
- Piccinini, G. (2007). Computational modelling vs computational explanation: Is everything a Turing machine and does it matter to a philosophy of mind? *The Australasian Journal of Philosophy*, 85(1), 93-115.
- Power, A. (2010). The online public or cybercitizen. *SCRIPTed - A Journal of Law, Technology & Society*, 7(1).
- Pratchett, T., Stewart, I., & Cohen, J. (1999). *The Science of Discworld*. EBURY PRESS/Random House, London.

- Raspanti, M. (2000). *The Virtual Universe*. Authorhouse.
- Rhodes, R. (2001). *A Cybernetic Interpretation of Quantum Mechanics*.
- Russell, B. (1912). *The Problems of Philosophy*.
- Sandström, C. G. (2010). *A revised perspective on Disruptive Innovation*. Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden.
- Schmidhuber, J. (1997). A Computer Scientist's View of Life, the Universe and Everything. In C. Freksa (Ed.), *Foundations of Computer Science: Potential-Theory-Cognition* (pp. 201-208). Springer.
- Sheldrake, R. (2012). *The Science Delusion*. Coronet Books.
- Smolin, L. (2001). *Three Roads to Quantum Gravity*. Basic Books.
- Smolin, L. (2006). *The Trouble with Physics*. Houghton Mifflin Company.
- Svozil, K. (2005). Computational Universes. *Chaos, Solitons & Fractals*, 25(4), 845-859.
- Tegmark, M. (1997). The interpretation of Quantum Mechanics: Many Worlds or Many Words. *arXiv:quant-ph/9709032v1*.
- Tegmark, M. (2007). The Mathematical Universe. In R. Chiao (Ed.), *Visions of Discovery: Shedding New Light on Physics and Cosmology*. Cambridge Univ. Press.
- Tegmark, M., & Wheeler, J. A. (2001). 100 Years of the Quantum. *Scientific American*, (Feb), pp. 68-75.
- Vacca, J. (2005). *The World's 20 Greatest Unsolved Problems*. Prentice-Hall.
- Whitworth, B., & Ahmad, A. (2013). *The Social Design of Technical Systems: Building technologies for communities*. The Interaction Design Foundation.
- Wigner, E. (1960). The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13(1).
- Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media.
- Zuse, K. (1969). *Calculating Space*. MIT.