

系统中的观察者

——被科学遗忘的角色

作者：张江

jakezi@163.com

集智俱乐部：www.swarmagent.cn

一、写在前面——图形与背景的切换



图 1-1

这是一个高脚杯，还是两张相对的人脸？把黑色作为背景，它就是高脚杯，把白色当作背景，它就是两张人脸。因此，两个答案都正确！

也许你总觉得上面的回答有些别扭，为什么答案是如此**模棱两可**？看来，你的心智已经完全习惯了“**非此即彼**”的世界观，以至于完全不能容纳其他更丰富的答案了！为什么不能让高脚杯和人脸在你的头脑中共存呢？

具有讽刺意味的是，我们现在科学发展正面临着类似的从图形到背景的转变过程。自从伽利略开创了以实验研究作为基本手段的近代科学以来，科学家们就不停地用一支白色的笔驱赶背景的黑暗。一种公正的、客观的、严谨的、理性的分析方式逐渐渗透到了从自然到社会，从艺术到人文的各个领域之中。正是因为前景如此丰富，黑色的背景（那些不那么客观、不那么理性的部分）也会被逐渐地塑造、成形。因此，白色的高脚杯映入眼帘的那一刹那也就是黑色的人脸形成的时刻。

本文所要论述的“观察者”理论正是一次从科学画卷的背景出发解决问题的尝试。不敢说这个理论就一定能解决所有的问题，但它至少是前景理论的一个重要补充。一方面，观察者理论仍然采用传统的科学研究方法（尤其是数理科学）；另一方面，我们采用了一种与前景科学完全不同的世界观来重新看待所有问题。这个转变说来很容易，那就是：**我们暂时将世界的客观存在性放在一边，而把我们自己——观察者——这个始终站在幕后的神秘角色推向了前台。**

其实，观察者作为一个科学中的关键词早已经出现在物理学中。当伽利略提出他的力学相对性原理的时候，被封闭在船舱中的乘客其实就是观察者；到了爱因斯坦那里，观察者就具有了更明确的地位，在所有惯性系中的观察者都会看到同样的力学规律，这是相对论的第一条基本假设。然而，相对论中的观察者仅仅是为了科学推理的“方便”而引出的一种说辞而已，他在相对论中起到了绝对的背景作用。

接下来到了 19 世纪末，玻尔兹曼提出了一整套统计物理的框架。玻尔兹曼虽然没有明确提出观察者这个词，但是他却开发了“标度变换”（或者用现代的词语来说，叫做重正化。注：当时的玻尔兹曼采用了从宏观到微观两种标度考察系统，并发现了熵正是联系两种标度的物理量，但玻尔兹曼并没有明确指出这种标度变换方法和重正化操作，这是后人起的名字）——这个观察者常常使用的技巧，以及熵这个对观测本身的测量的概念，从而奠定了统计物理的基础。玻尔兹曼的这套方法第一次显示出站在观察者的角度思考问题的确有很大的优越性。

观察者正经八百的进入科学殿堂是在量子力学中。20 世纪初期，为了解释微观粒子的奇异现象，物理学家发展出了一套数学框架：量子力学，其中，观察者的测量作用作为一个不可忽视的重要因素而引入到了科学之中。本来，沿着量子力学的道路，观察者马上就可以从背景走向前景了，但是那时候的科学家们却始终不能接受将观察者的观察作为第一假设，非要用传统的力学分析框架来消解这个观察者的作用。事实证明种种努力都失败了，观察者这个挥之不去的阴影始终缠绕在物理学家的心头。

此后将近 100 年过去了，随着信息科技、生物科学的大规模发展，信息、计算科学逐渐受到了人们的重视。人们逐渐发现，宇宙的根本更可能是一种抽象的信息结构，而不是传统意义上的物质。但是，信息的根本又是什么？我们为什么需要信息呢？此时此刻，“观察者”这个被沉睡多年的概念正被逐渐唤醒，这个一直隐藏在科学背景中的神秘角色即将登场。

整篇文章采用一种我自称为“危险的科普”的写作方式完成。称其为科普是因为我尽量采用白话、图形、比喻而非专业的公式和晦涩的术语把事情说清楚，从而达到有效传达信息的目的。这样做的一个很重要的原因是，这套观察者理论是一个远远没有完善的东西，虽然这篇文章是第一篇较系统性的阐述观察者理论，但是它也仅仅描绘出一张轮廓而已。所以，有太多的细节没有严谨的推敲。这种做法也为本理论的开放性提供了可能，希望真正对本理论的发展感兴趣的朋友能够从本篇文章中得到启发，并参与到这篇文章进一步的写作中来。但请千万不要拘泥于本篇文章所讨论的具体问题。我希望最终的观察者理论能以一种“科学 2.0”的方式得以完善。

称这种写作危险，是因为它不再是大家熟悉的探讨诸如“豆浆能不能凉着喝”等无关痛痒的问题的通俗科普。反过来，这里面的观点充满了挑战性，甚至很多观点与主流科学相反。表面上看，这种文字很容易被归为“民科”一类。因此，我说它很危险，建议未成年读者（没有形成自己的判断能力）莫看。

整篇文章的组织采用先抽象后具体的形式。第二章站在一定的哲学高度，引出了观察者

理论的框架。我们试图从观察者的角度出发建立一整套概念体系和逻辑，希望做到让整个体系遵循逻辑且前后一致，但是我们将看到这套框架还很稚嫩，需要进一步推敲。之后，第三章主要采用观察者的视角重新看待量子力学和统计力学这两门成熟的物理学科，之所以这样做的目的之一是想从这两个学科的基本概念和逻辑体系中借鉴一些根本的概念和推理方法，为我们建立复杂系统中的观察者和观测模型打好基础。从第四章开始，我们将尝试用观察者理论框架来解决各个领域的问题。首先，第四章将观察者理论框架与计算机科学结合，试图为我们理解人工智能提供一条崭新的思路。其次，第五章将展示如何从观察者理论的角度重新看待生命本质的问题。我们将在这一章讨论观察者和自指的问题，这是整篇文章中的高潮部分。第六章将着眼于观察者理论的更宏观层面，我们将指出观察者这个独特的视角是如何影响人类社会的。

二、基本框架

正如在图 1 中，看到高脚杯和人脸都是正确的，没有错，关键在于哪种看法更方便、简洁。本章讨论的内容并不想推翻我们已经习惯的前景思维范式，而是想从背景出发进行一些尝试，看看哪里会出毛病。我们的目的是想提出一个框架，并用自然语言的方式尽量描绘出观察者理论的一个全貌。虽然这个全貌看起来很不严谨，很多地方需要更严格的讨论，但是它的表述却暗含了某种逻辑性，这就为进一步的数学公理化做好了一定的铺垫。

1、第一观察者

这篇文章所讨论的是一套关于观察者的理论，那么，显然我们先要说清楚究竟什么叫做观察者。

乍一看，这个问题非常的棘手，因为，我们通常会将观察者和具有自由意志的人划上等号，所以，要定义观察者的问题就变成了定义什么叫做自由意志的问题。但是，提起自由意志，就会让我们联想到人工智能程序有没有意志？植物人有没有意志？在地上爬的小虫子有没有自由意志？……等等一系列更加麻烦的问题。看起来我们一上来就给自己找来了一大堆的麻烦！

其实，之所以这条路行不通，完全是因为我们仍然站在科学前景来看问题。在努力回答上述问题的同时，其实我们心中遵循一种强烈的信念：所谓的观察者还有自由意志是可以被还原为基本物质运动规律的。所以，我们要通过打开人脑来研究自由意志；通过计算机程序来搭建 AI 程序；通过理解大分子运动规律来理解生命。这样我们只会落入无穷无尽的细节而不能脱身。

正如我一开始指出的，我们这里采取的思路是从背景出发，从而将那些棘手的问题巧妙地绕过去。也就是，**我们并不打算把观察者还原为我们通常习惯的物质基础，而是把它作为一个基本的定义引入到我们的体系中来！**正如严谨的数学也需要将一些基本的公理和原始定义作为推理的出发点一样，在我们的理论中，我们将观察者作为一个原始的定义，从这个原始定义出发引出更多的东西。

具体来说，首先，**我们需要定义一个最基本的观察者，称之为“我”**。笛卡尔说，“我思故我在”，这是因为笛卡尔唯一可以有确定信心把握的东西就是正在当下思考问题的这个我。更具体的，这个“我”既可以指正在键盘上敲下这句话的作者，也可以包括正在读这句话的读者“你”。所有可以理解这句话的那个“自我”就是我们理论中的**第一观察者**。

第一观察者，“自我”，不仅仅是我们这个理论中的最基本定义，同时也是整个观察者世界的第一推动力。因为，接下来，我们就需要给这个“自我”原子赋予动作，这个动作就称之为“观察”。

2、观察

观察者睁开双眼能做的第一件事就是观察。什么叫做观察呢？**观察就是区分！**也就是对在模模糊糊的世界进行区分，从而区分出一个一个物体出来。观察者的这种区分能力也类似于一条公理或者基本定义，它不需要我们解释。然而，这一条基本定义也许比第一观察者这个定义更加基本。

我们都知道，集合是数学的基础，而集合就是一种区分的标准。比如，我们说所有整数的集合，其实就给出了一个区分的标准，这样，只要你拿出来一个数，我就能判断出这个数是否属于集合。因此，我们可以把世界上的所有事物区分成两类，一个是整数，另一个不是整数。

集合论中最有意思的部分之一在于对关系的集合论定义。也就是集合 A 到 B 的一种关系 R 可以定义为 $A \times B$ 的一个子集。翻译成观察者理论的语言就是，当我们有了区分之后，A 和 B 被分为两个部分之后，A 和 B 会自然而然产生各种**联系**。这些联系也可以用观察者在 A 和 B 的乘积集合上定义。因此，**区分和联系会相互伴随出现**。（请参考《[离散数学](#)》）

虽然区分和联系这些概念完全可以用集合论的语言来描述，但是，在我们的理论中，集合并不是最根本的，观察者才是本质，因此观察者会根据自己的喜好来重新定义区分，从而创造出各种各样的集合。换句话说，由于我们并没有要求一种先验的存在方式，所以，观察者原则上可以根据不同的区分而创造出完全不同的宇宙，以至于，到最后我们讨论宇宙本体是什么样子的就变成了没有意义的事情。换成一种极端的说法也就是：这个世界是被观察者的区分定义出来的！

当然，你会觉得这种讨论很狡猾，因为按照这种逻辑，似乎任何东西都可以被观察者的区分能力而创造出来。也就是说，这种区分有太多的任意性，以至于最后没有带给我们更多的信息。但是，在后面的论述中，我们会看到，有趣的事情在于，即使是**观察者的区分能力也并不是那么任意的，它有着一些非常深刻的共性**。下面，我们就尝试沿着这些共性的特征进行探讨。

3、观察与时空¹

在本小节中，我们首先引入观察者的两种最基本的区分能力，从这两种基本的区分能力中将会自然产生空间和时间的概念。

观察者的第一区分：区分现在和非现在

观察者的第二区分：区分我和非我

假设你被恐怖组织绑架了，他们把你关闭到一间漆黑的小黑屋中。你全身被捆绑得严严实实，一点都不能动弹。小黑屋中也没有任何声音和气味。一句话：你的所有感官都被切断了，不能获得外界的一丝信息。如下图：

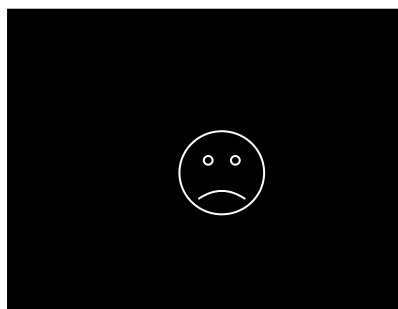


图 2-1、小黑屋中的观察者：观察者不能感受任何外界信息

这个时候你仍然会有一种能够区分现在和过去的 ability。也就是说，你有一种时间流逝感，你能知道此时此刻的你和上一时刻的你是非常不同的。但是由于你的所有感官都失灵了，你不知道这个黑屋子有多大，不知道黑屋子里面还有没有其他东西，你甚至不能够感受重力、压力等任何外界输入的信息，因此在这个

¹ 这一部分可能有太多的主观经验成分，如果读者不能很好理解，可直接跳过，应不会影响后续内容。

时候，你甚至并不能区分自我和外界。

接下来，有人打开了灯，你看到了小黑屋中的全部景象。虽然你仍然不能动弹，但是你终于可以具备第二种区分能力了：区别“我”和“非我”。其实，观察者所做出的这种自我与非我的区分，可以看成是一种空间上的区分。或者可以反过来，**观察者这种区分自我与非我的能力其实正是空间的起源**。当然，我这里所说的空间完全是从观察者本身出发的主观空间，而不是我们习惯的物理空间。

另外，观察者区分当下和非当下的能力也可以看作是一种主观时间的起源。换句话说，我们可以把观察者所具备的主观时间感定义为观察者的第一区分能力。然而，我们都知道时间具有方向性，也就是说时间不仅是对现在和非现在的区分，时间还有一个未来的侧面，那么这种未来的感觉是怎么来的呢？下面我们将会解释，观察者的第一区分能力和第二区分能力的组合就会使得观察者具备了未来的感觉，换句话说，**观察者“创造了”未来**。如下图示：

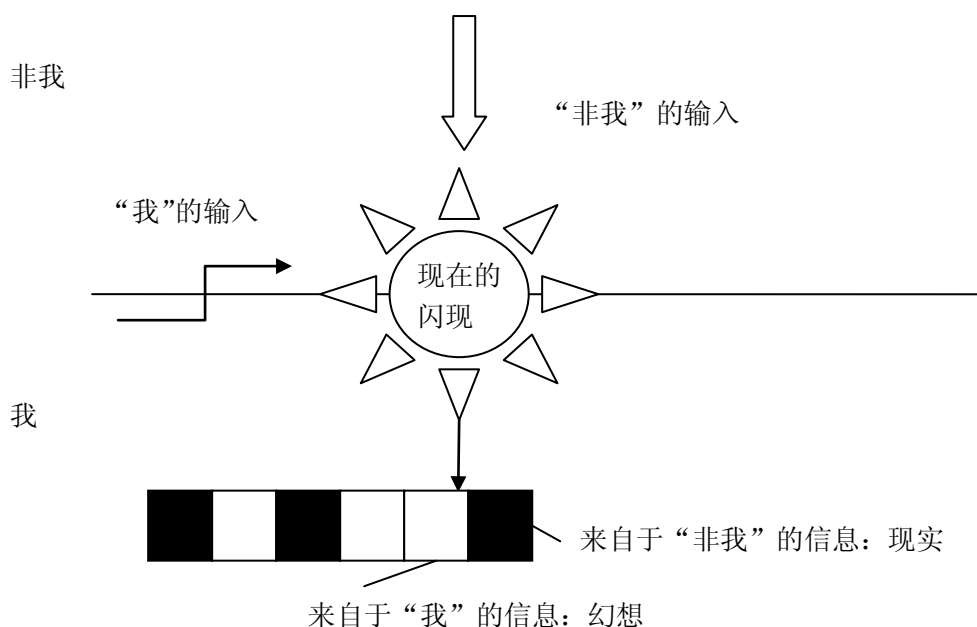


图 2-2 区分创造“未来”

当观察者同时具备了第一和第二观察能力，他就能同时区分现在、非现在以及我与非我，并且能将这区分两两进行组合。在每一个现在的刹那，观察者可以将输入的信息区分为两种：一个来源于非我，一个来源于我。并且这些信息留存到了观察者非现在的记忆之中（图中的黑、白两种颜色方格，黑色表示来源于非我的信息，而白色表示来源于我的信息）。黑色的信息就被观察者定义为历史，白色的信息就被定义为幻想。我们知道，对于观察者而言，“我要的”或者“我想的”这部分信息无论是我的还是非我的都可以看作是观察者关于未来的设想，因此我们将这部分**幻想的记忆称之为观察者的“主观未来”**。

这里可能读者会产生若干反驳意见，首先，按照我们通常的理解，未来是一种客观的时间状态。但是，在我们的理论中，我们就是要探索主观创造各种概念的可能性，所以我们这里不去定义什么是客观的未来，而只定义主观未来。

其次，第二个反驳可能会说，我们将观察者的幻想记忆称之为未来不妥，原因是观察者也会回忆过去的美好事件，而那些过去明明是已经发生的事情，怎么可能表示某种未来呢？其实，一旦观察者做出了我和非我的区分，以及现在和非现在的区分，那么这种区分就会一直存在，也就是说观察者已经把记忆中的信息区分为两类，可以想象为信息都被打上了标签。在每一个现在的刹那，当属于观察者美好回忆的这部分信息再次闪现在观察者眼前的时候，观察者实际上是可以分辨出这个信息是白色的，也就是属于过去曾经发生过的现实的信息。因此，观察者知道这属于过去而不属于未来。当这个闪现过后，实际上记忆中的这段信息就会标记出两个标签：即第二次的黑色和第一次的白色。因此，观察者的未来永远是那些没有发生在“非我”世界中的信息。

再次，也许你会反驳说，难道那些希望、灵感、美好的想法也来自于记忆吗？当然不是，他就来源于那个闪现，也就是此时此刻的观察。我们说观察就在于区分，但是这个区分并不等同于我们通常理解的区分，我们通常所说的区分是指对某种已知的事物进行分类，在我们的框架中，这相当于是对于从非我的部分输入进来的信息进行区分。然而，另外一种来自于我的信息区分，其实已经暗含了创造的过程。这里的区分实际上是对所谓的“空无”进行区分，因为“空无”是一种不可言说的状态，所以对于它的区分恰恰就能创造出各类东西出来。

最后，这里面的主观未来既包括了观察者关于自身的推测，又包含了观察者对于非我的推测，因此，它已经暗含了客观的未来。

以上关于未来的定义完全来源于笔者的一个主观体验：**我设想做出来的一系列动作和我回忆的一系列动作在我的主观体验看来似乎没有更本质的区别。**

有了这些基本的区分概念以及时空的定义，我们就不难讨论更多更加有趣的概念了。比如我们可以说，当“我的”某部分信息和“非我的”某部分信息在一次闪现中重合（被区分为同一的）的时候，我们就可以说观察者对“非我的”未来进行了**成功的预测**。换句话说，预测可以理解为观察者的主观世界和外在世界在现在这个闪现中的某种同步。

当观察者的成功预测能够长期不断地、连续地发生的时候，观察者就会产生控制的假象！比如我能控制我的手举起来，那仅仅是因为在我的观察中，从“我”的信息部分产生了举起了手的印象，之后，从我的“非我”的外界输入了一个现象：我的手抬起来了，这两个信息在一次闪现中重合了，于是，我产生了我可以控制手的假象。也就是说，在我们的体系中，观察者仅仅具有区分得能力就可以**具备控制、行动从而改造外界**的本领。

4、观察与万物

既然时空都能从观察者那里创造出来，那么万事万物自然也就不在话下了。很明显，我们可以说观察者能够区分的一个一个集合就构成了世界上的万事万物。

然而，如果说万事万物都是一个被区分出来的集合，那么严格说这个事物的边界是不清晰的。例如下面的图：

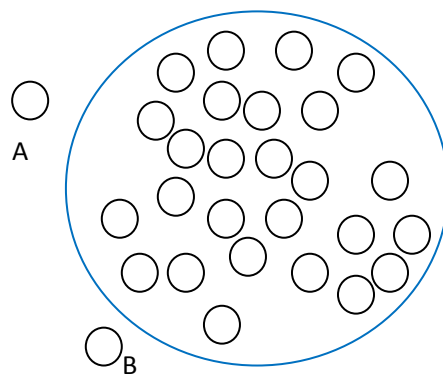


图 2-3 对外界事物的区分

假如我们能够深入到分子的层面来看待整个世界，那么很多事物的边界就变得模糊起来。例如上面这张图中，我们究竟该不该把分子 A 或者 B 归类为蓝色圈中的事物集合呢？其实这里并没有完全标准的答案。在现实生活中，我们的确能看到一个一个完整的个体，例如一张桌子，这些个体的边界是非常清晰的。但是，这种清晰的边界反而是一种特例，如果观察者小到分子的层面，他看到的不再是桌子，而是一团模糊的、边界不清的分子甚至原子。因为，从更普遍的意义来讲，不清晰的边界才是根本。

除了空间上的不清晰边界，任何事物还具有一个时间上的不清晰边界。任何一个事物在每时每刻都会发生变化，变得不再成为它自己，所以观察者除了区分空间上的边界，还需要把该事物在时间上的边界给区分出来，例如下图：

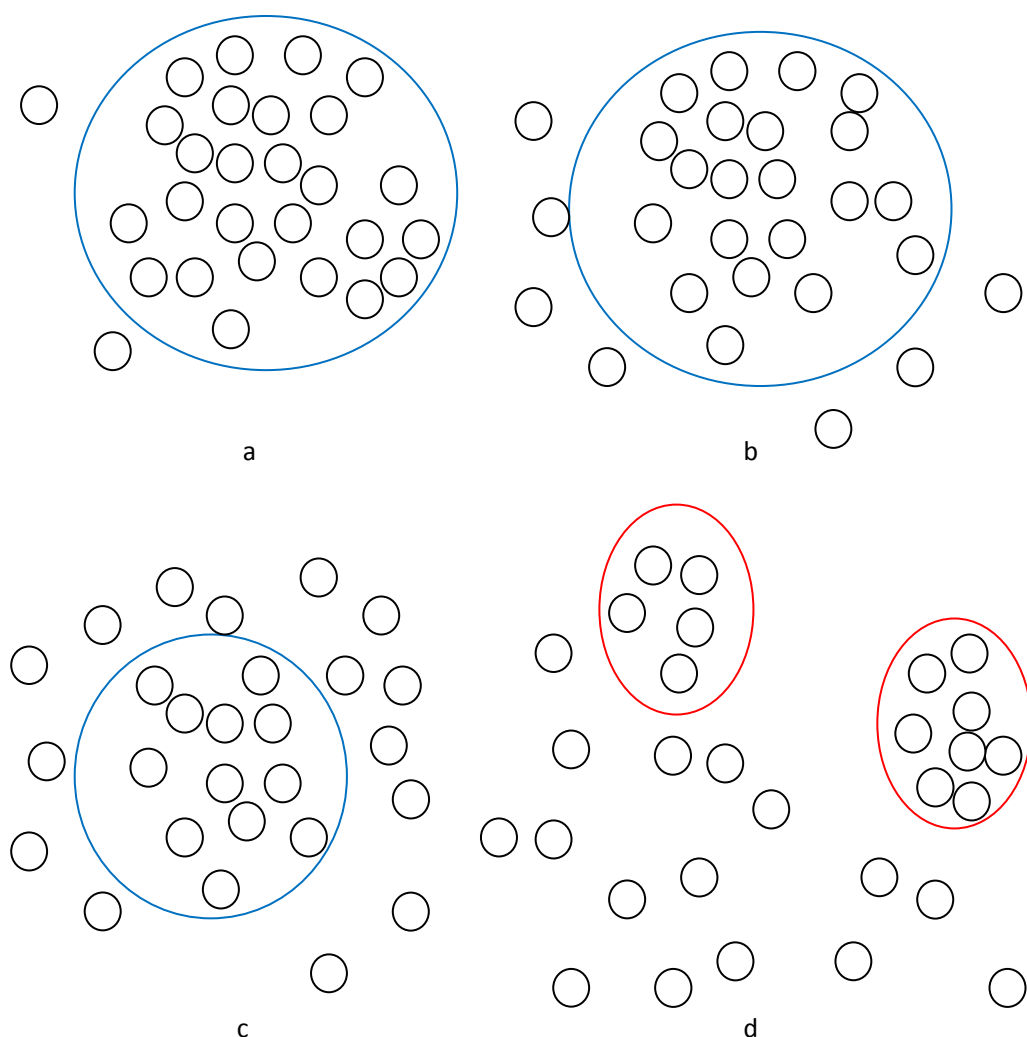


图 2-4 在时空上对事物进行区分

在图中，从 a 到 d 表示了在时间（观察者的主观时间）流逝过程中，一团分子的运动情况。首先，由于时间的作用，任何事物都不是一成不变的（在本例中表现为这团分子的位置在不停的变化）。这也就体现为，对于任意两个时间点来说，被观察者称为是同一个个体的事物严格讲并不完全相同（如图中 a,b,c 蓝圈包围的部分）。因此，在每一个时刻，观察者不仅仅把蓝色的这团东西和周围的环境区分出来了，而且观察者还将不同时刻的蓝色物质联系到了一起，并认定为是同一个事物在不同时间上的表现。直到 d 时刻，分子散开，观察者不会再把蓝色的分子团和它的环境区分出来，取而代之的是两团新产生的分子团（红色的团）。因此，我们说原来的蓝色分子团死亡了，而两个红色的分子团诞生了！所以，观察者不仅仅就这群分子团进行了空间上的划分，而且进行了时间上的划分！正是因为观察者划分的模糊性和不确定性，使得任何事物的边界（空间和时间上的）都是不确定的。

5、因果

有趣的是，观察者的区分行为总会伴随着相互联系。你区分了 A 和 B，就必然会伴随着 A 和 B 之间的某种联系，而这种联系也可以看作是一种区分，只不过该区分是在集合 A 与 B 的直积中做出的。因果则是观察者为了阐述事物之间的普遍联系的一种必不可少的工具，它体现为一种单向的联系。

亚里士多德曾经把事物的原因分成四种，即：质料因、形式因、动力因和目的因。质料因表示事物的组成材料构成该事物的一种原因。形式因则是说这些材料堆积出来的形式反过来决定了底层的质料从而构成了原因。动力因是追寻推动事物发展的某种动力，目的因则是说决定事物发展的方向。亚里士多德的这四种原因完全可以被解读为空间和时间上的四种特殊的因果联系，这些因果联系是和观察者的区分能力分不开的。比如：

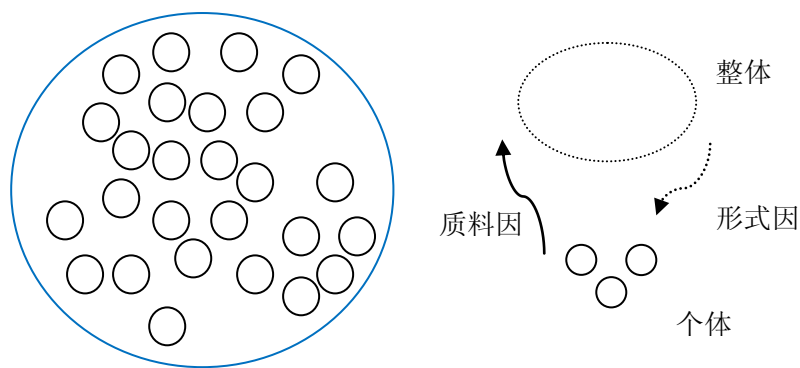


图 2-5 空间上的因果

左图是一个由大量细胞个体构成的小虫整体，观察者将小虫从环境中区分出来了。很显然，小虫的性质（整体）是由所有细胞的个体的性质决定的。因为细胞个体是小虫整体的质料，所以，完全可以把细胞解释成小虫整体的质料因。在右图中，我们画出了一个实的从下而上的箭头来表示这样一种从个体到整体的因果关系。这种因果联系是我们普遍接受的因果解释，例如我说石灰完全决定了石头的性质，因为石灰是石头的组成材料。

但是，另外一种原因，即右图中从上而下的箭头却往往被我们忽视。这就是整体会通过组合、形成材质的形式来决定低层次的个体，从而我们能够从上到下引出一个因果箭头，这个箭头在亚里士多德的体系中被定义为一种形式因，即事物的形式会反过来决定事物的质料。生命的自我修复现象就是一个明显的例子。假如这个小虫个体的某部分质料（某些细胞）被切除了，那么高层次的整体就会出于形式的完整性而再生出这些低层次的细胞个体。

前面两种原因仅仅说明了空间上的一种因果联系。更有趣的因果联系发生在时间上。如下图所示：

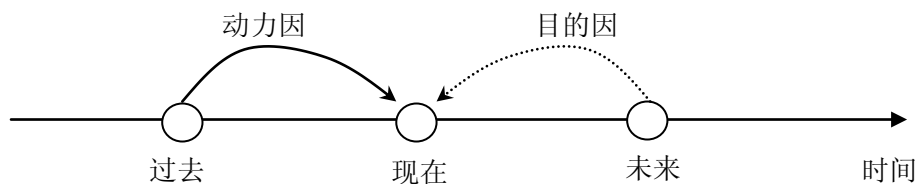


图 2-6 时间上的因果

在时间上看，观察者又把事物区分成过去的事物、现在的事物和未来的事物。那么，很显然事物的过去会决定事物的未来，比如桌子上滚动的小球，小球上一时刻的位置和速度就

决定了小球现在的位置和速度，这就是亚里士多德所说的动力因。虽然我们习惯于从过去到现在，从现在到未来的动力因现象，但是在很多事物中，观察者还会倾向于另外一种解释，即从小球的未来而决定小球的现在。我们可以说小球之所以会沿着斜面往下滚，是因为“小球试图最小化重力势能”，于是我们给小球的现在状态赋予了某种目的性，这种目的性导致了时间轴上的另外一个反向的从未来指向现在的因果箭头，也就是亚里士多德所说的目的因。

其实，按照本文的观点，一切的因果都是观察者对事物关系的区分结果，所以，质料因和动力因照理说不会比形式因和目的因更优越。在对具体的事物进行解释的时候，我们总会聪明地选择这四种原因的一种或者多种。但是，**由于理性主义、物质主义的发展过剩，使得我们更倾向于只看前景，而不看后景，以至于大部分人都会以为质料因和动力因更真实，而形式因和目的因充其量不过是一种方便的说法而已。**因此，后两种原因已经成为了大众认知模式中的背景。

6、第二观察者

由于现代人只盯住前景看，所以，对于形式因和目的因等因果形式就会忽略，而这种忽略恰恰就导致了人们不能理解生命、智能是怎么可能的。因为，生命以及智慧完全可以定义为形式因和目的因驱动的系统。

按照智利生物学家 [Maturana 和 Varela](#)，还有理论生物学家 [Stuart Kauffman](#)，以及数学家 [Robert Rosen](#) 等的观点，可以说**所谓的生命（或者说狭义的生命）就是指形式因会起到主导性的、起决定因素作用的系统。**因此，这些科学家们曾试图构建诸如自生产系统、自催化网络等等理论模型来理解生命的本质和起源。

按照我的观点，我们可以将**所谓的意识或者智能（也可以称之为广义的生命）定义为不仅仅形式因，而且目的因也会起着重要的指导性因素的系统。**

这里似乎我轻描淡写的就把生命本质和智能本质的问题解决了。其实，我们首先要明白，生命和智能的问题首先是定义的问题，自然界本身并不存在着一种严格的对生命和非生命的区分。因此，生命就是观察者区分出来的一类特殊现象。其次，既然生命的本质在于定义，那么我们就看看我们怎样来定义生命和智能才显得更加合理。

首先，所有的生命都是由物质材料构成的系统，而这种系统之所以区别于桌子、椅子等死物，就是因为生命的整体本身具有一种很强烈的自我修复能力，你任意切掉一块肉，它就会自己长出来，但是桌子椅子就不能。按照我们的解释，这就体现为生命系统具有很强的形式因。

其次，仅仅具备了很强的形式因还不足以让我们把该系统称之为有智能的（或者说广义的有生命的）。我们看到一只活生生的小虫在地上自由的爬行，那是因为我们更倾向于认为在这个小虫的内部存在着一个属于它的**自我**，这个属于它的自我决定了它要做的一切动作。换句话说，也就是这个小虫子**自我的目的**是要奔东边的食物爬过去，所以它才会这样运动。因此，当我们观察者解释小虫子的这种运动行为的时候，不会傻到从动力因的角度来解释，因为那样做太麻烦了（你自然可以写下小虫每一个分子运动的微分方程，并求解，从而预测小虫下一时刻的位置！但是，这需要成千上万个方程和参数，没人会这么傻！）。在这个时候，你直接跳到背景去看问题就会变得更方便。于是，我们干脆就把智慧（广义的生命）定义为那些目的因起着主导因素的系统。

因此，总体来看，生命与非生命，智能与非智能无非都是观察者对事物进行区分的结果。这种区分恰恰就在于对事物存在以及运动的原因进行不同的解释。那些可以被形式因和目的

因解释的系统就具备智能和生命。换句话说，世界本身不存在生命（智能），或者到处都是生命（智能），观察者为了解释事物因果联系的方便性，定义了生命（智能）与非生命（智能）。从此，我们再也不用寻求所谓生命的物质构成和新的物理法则，那根本就是无意义的。

观察者这样一种对智能系统和非智能系统的区分不要紧，它实际上创造出了另外一个观察者，我们称之为第二观察者！一旦智能系统具备了强烈的目的因，那么，该系统中也存在了一个被我们称之为“自我”的机制。这个自我是什么呢？按照这一节最开始的说法，这个自我也就是观察者！因此，从我们第一观察者的区分中，就自然会衍生出来另外一个观察者的概念，因此，我们称这类具有智能的系统为第二观察者。

智能系统之所以能称之为观察者，是因为这类系统也具备观察——也就是对外界事物进行区分——的能力。所以，这一章所论述的一切内容都同样可以适合对第二观察者的描述。因此，按照这套逻辑，我定义了你，我还可以定义他。而同样的逻辑，一旦你被定义出来了，你也具备了观察、定义的能力，于是你又可以定义他！就这样，我们这个观察者宇宙就一下子人丁兴旺起来了！

7、媒介

然而，我们的故事并没有到此结束。当观察者世界出现了很多第二观察者的时候，这些观察者之间就会发生相互作用。**我们把这些观察者之间的相互作用就叫做沟通 (Communication)。**

沟通就需要在两个观察者区分出来的集合之间存在着重合的部分。**这些重合的部分就被称为媒介。**换句话说，媒介也就是使得两个观察者之间能够发生沟通的先决条件，也是观察者们的共识，或者也可以称作是观察者之间的公共协议。

当你和我都看到了一杯水，此时，这杯水也就成为了沟通你和我之间的公共媒介。因为这杯水是你和我共同感受到的东西，也是我们能够彼此沟通的前提。假如你号称具备通灵能力，能看到我背后站着个鬼。但是我回过头去却怎样也看不到那个鬼，于是就这一点上我们沟通失败，这个鬼也就构不成我们的公共媒介。到此，想必你也看出来，其实这个**公共媒介也就是我们常说的那个客观世界。**

讨论到此，如果把客观世界理解为某种媒介，我们完全可以抛掉客观这个假说。比如，有一个外星人可以给我洗脑，使得在我们头脑中都能存储一个杯子的模样，这样，即使这个杯子不存在，它也能够称为我们所说的共同媒介。因为我们两个能够就此杯子进行沟通。这也就解释了网络游戏世界里面的物体在媒介这个层面上是和真实世界等价的。再进一步说，**其实所谓的真理也并不是必需的，只要有通信和共识，我们就完全可以创造真理。**

8、小结

总结一下，我这里要论述的关键就在于，第一观察者的观察其实是整个观察者宇宙的第一推动力。这个观察不仅“创造”（区分）了万事万物，而且区分了第二观察者，以及第二观察者所具备的观察能力。所以，是我把观察的能力（通过我的观察）赋予给了你，而你又会用同样的逻辑把你所具备的观察能力赋予给其他的事物！我们可以用下面这张图来表示我们这种观察者的逻辑并和传统的逻辑进行对比。

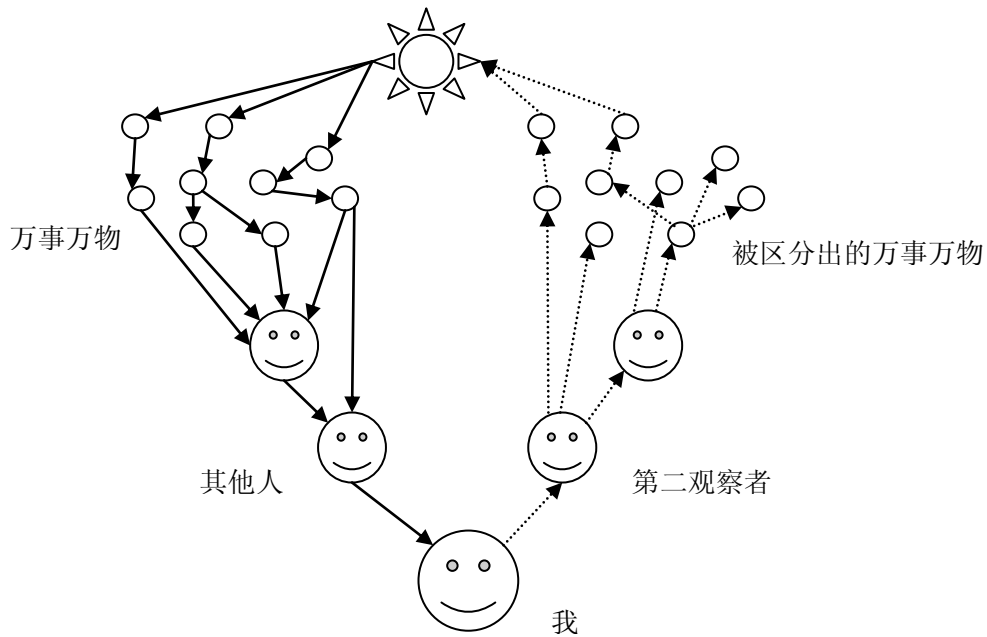


图 2-7 一张总图

在此图中左侧是我们熟悉的客观世界，万事万物根据客观的物理定律相互连接在一起。箭头的方向即我们熟悉的因果规律，按照标准的观点，物质决定意识，所以万事万物的物理构成决定了其他生物，甚至观察者的构成和行为，最后，这些人的行为会影响到我。因此可以说，外在世界是先于我存在的，是原因，而我是一个被这个外在世界创造的产物，而且是最终产物，也就是说一切因果链的箭头末尾是我。

图的右侧则是观察者理论体系所理解的世界，虚线箭头表示一种观察者的观察区分能力。首先我这个唯一实在的观察者界定了其他的观察者（第二观察者），其次我和第二观察者一起界定了万事万物。我们也可以把这个虚线箭头理解为目的因或者形式因。无论怎样，在这一侧，观察者我成为了整个世界的第一推动力。大家可以想一想最上面的那个太阳标记表示什么？

9、文献回顾

其实这种认识上的转变并不是我第一个提出来的。早在上个世纪的 70 年代，两位智利的生物学家：Maturana 和 Varela 就基本上发现了这样一套新的哲学思想（参看《[生命系统的组织](#)》一文）。80 到 90 年代的社会学家 [Nikolas Luhmann](#) 更是把他们两人的理论发挥得淋漓尽致。创造了一套被称为“[社会学系统论](#)”的理论体系。当然还有一批计算机科学家走到了前面，包括早期的[二阶控制论](#)，[自修改的程序](#)、[自复制的机器](#)等等。他们都或多或少地接近了这个理论的本质。这些人已经认识到，“[自指](#)”或者有些作者称之为反身性“[reflexivity](#)”是复杂系统理论的内核。然而，很少有人指出，所谓的自指的真正作用在于把观察者给耦合进系统之中去。

但是，社会学家 [Luhmann](#) 也许走得更远些。在他的著作《[Social Systems](#)》中，观察者和观察这两个词汇已经频繁出现于各个章节中。但是，[Luhmann](#) 到死也没有看到自己的理论被更多的人接受。一方面是他的叙述本身晦涩难懂，另一方面，也是我认为的最重要原因，就是他没有找到一种合适的数理方法来把他所看到的東西“形式化”。以至于那些哲学上没

有“悟到”他那个层次的人很难继承他的衣钵。不借助数理方法的哲学思想很容易在热力学第二定律的耗散作用下被扭曲、变形。

刚刚去世的我国系统科学家[钱学森先生](#)也多次指出，人们要研究的复杂系统必须是一个有人参与的、开放的系统，这种参与性恰是观察者理论的核心。虽然钱老精通控制论，但他也仍然没有找到一种可以形式化这种参与性和开放性的数理方法。

本篇文章所提出的观察者理论希望借助量子力学的数学框架尝试对观察者参与其中的开放性的复杂系统进行形式化描述。

三、物理的背景——观察者的测量

1、测量

这一章，我们将走进形而下的世界，讨论物理学中的两大基石：量子力学和统计力学。与以往的物理教科书不同的是，我们将以一种观察者的视角重新看待这些学科，甚至将很多表面上丝毫不相干的学术理论重新联系在一起。需要事先指出的是，我们在这里讨论这两门学科并不想从观察者论的角度重新提出量子 and 统计的基础，更不想推翻它们，而是想尝试从观察者的角度去理解它们，以至于可以把这两门学科获得的很多知识最终为观察者理论所用。

从物理的角度探讨观察者的问题始于我们对外在事物的测量，它可以用下面这张图来概括：

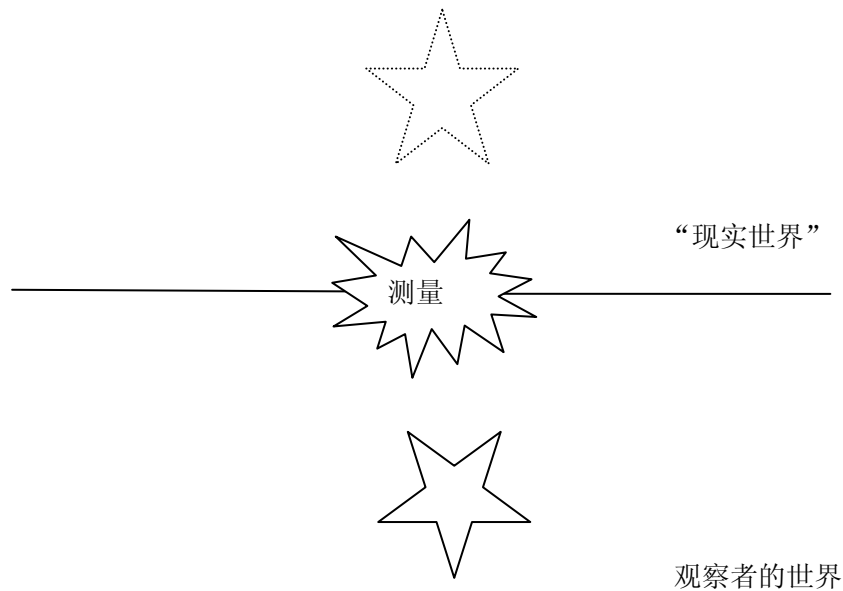
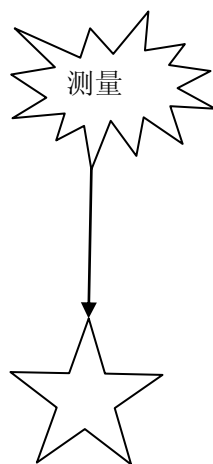


图 3-1

按照传统的认识，一次测量就是一次从真实世界向观察者世界中的信息投射。之所以现实世界上面加了引号，以及其中的物体用虚线表示是因为按照量子力学的说法，这个世界并不像我们感受的那样真实。观察者的世界也就是观察者测量的结果才是真正真实、可靠的东西。假设一个所谓“真实的”客观世界并无太大意义，因此我们不如将上面的图转换成下面的图：



观察者的世界

图 3-2

我们不需要假设一个外界存在的世界，观察者面对的只是一次一次的测量，这些测量构造了一个观察者的世界。从这个角度来说，无论是量子力学还是统计力学都不过是在叙述观察者测量过程中的规律。

2、从量子力学到量子概率

量子物理起源于人们对微观物质运动规律的探讨，后来经过爱因斯坦、玻尔、薛定谔、海森堡、狄拉克等人努力，量子力学作为一套能够成功描述微观粒子运动规律的数学产生了（参见《[上帝掷骰子吗？](#)》）。力学(mechanics)与物理(physics)的最大区别就在于力学给出的是一种抽象的数学结构或者框架，它虽然抽象自物理但却可以没有真实的物理对应。虽然物理学家发明了这套数学，但是很少有人真正相信它的真实含义和作用。人们更加倾向于认为量子力学不过是一套过渡规律，背后一定还存在着更底层的客观实在。

只有少数几个科学家在一开始就不去争论量子力学背后是否有更底层的客观实在，而是单从数学的角度为量子力学奠定基础，其中一个最有名的人就是伟大的数学家[冯·诺依曼](#)。他发现，其实量子力学的背后蕴藏着一种很深的数学体系，而这个数学体系对于传统的[Kolmogrov 的概率论](#)进行了很大的修改，也就是说，其实量子力学真正的数学基础不是别的，正是一种全新的概率论，后人将这套概率论称之为“[量子概率](#)”(quantum probability)。

目前市面上有很多关于量子力学的教科书和科普读物，几乎所有这些资料都给我们灌输了两个观点：量子力学告诉我们这个世界的底层是离散的；量子力学揭示出不确定性比确定性更加根本。虽然这两点并没有错，但是单凭这两点我们仍然无法判断量子力学作为一门数学相对于其他数学，例如离散数学和概率论的优势在哪。也就是说，这样一种普遍的观点完全没有抓住量子力学最终的根本所在。

笔者认为，量子力学的根本就蕴含在量子概率的运算法则之中，这套运算法则揭示出了另外一种被我们忽视的不确定性，这就是系统的属性依赖于观察者的观测作用的不确定性。为了更好的理解这种不确定性，让我们先用著名魔术师刘谦曾经在电视上表演的一个有趣的小魔术讲起。



图 3-3 魔术师刘谦

有一次，刘谦表演猜数字的魔术。以前的猜数字魔术都是观众心中想一个数字，然后魔术师来猜。但是这次的魔术完全不一样，是刘谦先在心中想一个数字，并把它写在纸条上，然后反过来让观众来猜。比如某观众猜的数字是“5”，这个时候刘谦缓缓打开纸条让大家看，的确是数字 5！再来一次，刘谦在纸上写好一个数字，另外一个观众猜“7”，打开一看，没错的确是 7！刘谦号称，他能让观众具备“读心术”。

我虽然不知道刘谦的魔术是怎么变的，但是这个魔术的确像极了量子系统的行为。我们看到，这里面最让人费解的事情就在于刘谦写下数字的动作在前，观众猜数字的动作在后，而观众猜的数字具有很大的不确定性，所以刘谦之前猜出的数字应与观众之后说出的数字有很大的差异才对。可是，事实却是刘谦每次都能猜对。我们怎么解释呢？难道说因果规律反了？刘谦能够预测观众的未来？

其实有一种可能能很好的解释这个表面上的悖论，那就是刘谦之前根本没有在纸上写下任何字母，只有当观众说出他心目中的数字的时候，刘谦再用魔术的手法快速地在纸上写下观众说出的数字。

换句话说，也就是刘谦可以通过一张空白的纸条，来应付观众在**动态的交互过程中的不确定性**。这种不确定性就是我所说的交互的不确定性，也就是说系统的行为是完全依赖事后观察者对它的观察行为，它与传统概率所描述的不确定性是完全不同的。我认为，**量子概率恰恰描述了这种交互性的不确定性**！为了更好的理解量子概率和可交互的不确定性之间的关系，让我们从量子力学中最著名的[双缝试验](#)说起。

3、双缝试验与交互不确定性

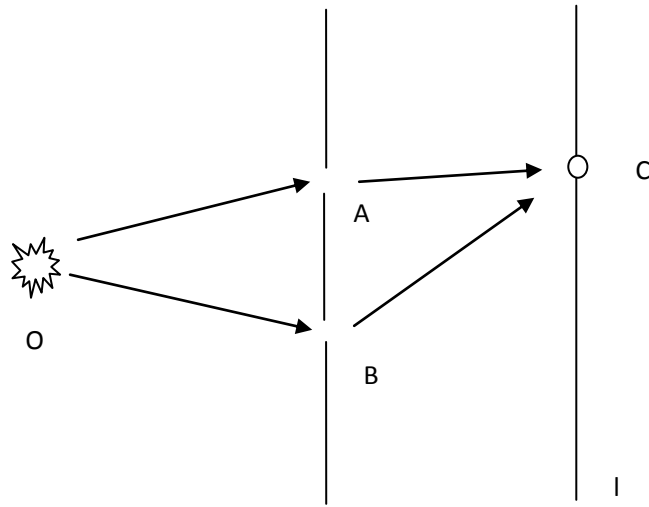


图 3-4 双缝干涉实验

这是一个经典的量子力学试验，假设 O 点是一个电子源能够源源不断地发射电子，电子经过 AB 屏的两个缝隙 A 和 B 后会发生干涉现象。从而在 I 屏上形成干涉条纹。我们可以减小 O 发射电子的强度，使得每次只能发射一个电子。这样，I 屏上的干涉条纹就表示电子打到该点的概率。

假如我在 A 点处放一个探测电子是否经过 A 缝的仪器，只要我能读出电子是否已经经过了该点，这种测量行为就会直接干扰在 C 点发现电子的概率大小。如果电子是小球，我们知道这种观测行为是不会对小球到达 C 点的概率发生任何影响的。所以，量子力学所描述的对象具有交互不确定性。

为了更清楚地看出这种交互不确定性，让我们将双缝试验和之前所说的刘谦的魔术进行对比。假设刘谦的魔术仅仅限定在 0 和 1 两个数字之间。那么刘谦写下了一个数字在纸片上就相当于我们的粒子发射器发射出来一个电子。观众对这张纸片上的数字猜测是 0 还是 1 就相对在 A,B 屏的地方放置探测器考察粒子是经过了 A 还是经过了 B。最后刘谦把纸条打开就相当于我们在 I 屏处观测电子，并且发现数字是 0 对应粒子达到了 C 点，是 1 则对应没达到。

如果观众不去猜纸条上的数字，刘谦直接打开纸条，就相当于我们不在 AB 屏的地方安置探测器，而直接观测 C 点的结果。如果观众猜纸条上的数字之后再去打开纸条就相当于我们从 A,B 处进行了一次观测之后再去考察电子飞到 C 点的情况。打开刘谦的纸条总能得到正确的结果是因为刘谦会利用魔术根据观众的观测，动态的更改纸条上的数字，同样在 A 点观测电子和不观测电子得到在 C 点完全不同的概率也是因为电子会根据观察者的观测行为动态地改变自身。

4、量子概率运算法则

为了使上面的讨论更加精确，让我们对量子概率运算法则进行一些简单的介绍。还是以双缝干涉实验的例子出发，我们先给出经典概率运算法则，之后再与量子概率运算法则进行对比。

首先，我们可以把双缝试验改写成一个经典的[马尔科夫链](#)：

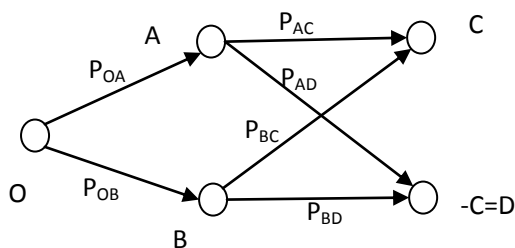


图 3-5 描述粒子行为的马尔科夫链

设电子（经典粒子）从 O 点飞出，以 P_{OA} 的概率飞到 A 点或者以 P_{OB} 的概率飞到 B 点，然后再以概率 P_{AC} 飞到 C 点或者以 P_{AD} 的概率飞到不是 C 的点（我们暂且称之为 D 点）。那么，我们在 C 点发现电子的概率就应该是：

$$P_C = P_{OA}P_{AC} + P_{OB}P_{BC} \quad (1)$$

假设电子可以源源不断地从 O 点飞出经过 A 或者 B 再打到 C 或者 D 点上。这个时候我们在 A 点放置一个探测器来测量电子到达 A 点的概率。

$$P_A = P_{OA} \quad (2)$$

由于电子是经典粒子，所以观测电子的行为不会干扰最终在 C 点观测到电子的最终结果，因此电子到达 C 点的概率仍然是 (1) 式。

下面，我们进入了量子概率的世界（关于这部分运算，请参考《[费曼物理学讲义 3](#)》和《[量子计算和量子信息（一）](#)》）。首先，对于电子量子的行为，我们仍然可以用类似的图形表示：

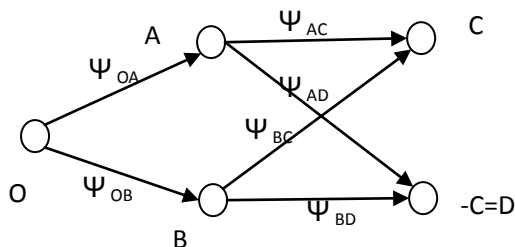


图 3-6 描述量子行为的复数概率图

与上图的不同之处就在于所有边上的条件概率不再是一个 $[0,1]$ 内的实数，而是一个复数，也就是这些条件“概率”可以写成复数的形式：

$$\Psi = a + bi \quad (3)$$

这些复数“概率”有一个学名叫做概率波振幅。你一定会好奇怪，为什么要写成复数呢？ a 和 b 分别表示什么意思？ i 又表示什么意思？对不起，估计没有人知道这个问题的答案，这恰恰就是量子力学困惑那么多物理、数学大师的地方所在。不管怎么样，物理学家告诉我们，只要你假设电子的概率可以取复数，那么概率的那些运算法则对概率波振幅都成立。比如，我们可以计算出电子到达 C 点的概率波振幅：

$$\Psi_C = \Psi_{OA} \Psi_{AC} + \Psi_{OB} \Psi_{BC} \quad (4)$$

量子力学还告诉我们，这个概率波振幅虽然满足概率运算的一切法则，可我们并不能直接观测到它，而只能间接地通过概率推测出它来。也就是说，我们在 C 点观测电子的概率是 C 点概率波振幅这个复数的模的平方，即：

$$P_C = |\Psi_C|^2 \quad (5)$$

让我们再来考虑在 A 点对电子的观测行为。首先，我们在 A 点观测到电子的概率是：

$$P_A = |\Psi_{OA}|^2 \quad (6)$$

其次，量子力学还告诉我们，一旦我们知道了电子到达 A 点的概率，电子的状态就会发生严重的扭曲变形（也就是观测行为会影响电子的状态），使得电子在整个行程中的状态都会发生变化。当在 A 点观测到电子的时候（概率是 P_A ），概率图转变成(a)的情况，当在 B 点（概率是 P_B ）观测到电子的时候概率图变成(b)的情况。

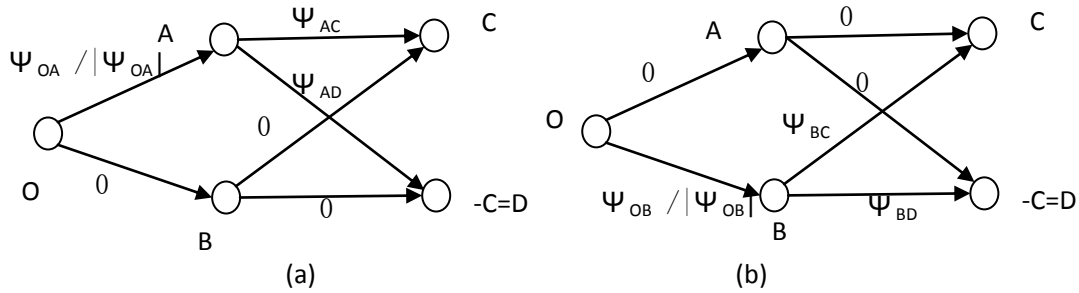


图 3-7 观测后的两张图

这样，综合(a)、(b)两种情况，只要在 A,B 发生测量，那么在 C 点观测到电子的概率就变为：

$$P_C' = P_A \frac{|\Psi_{OA} \Psi_{AC}|^2}{|\Psi_{OA}|^2} + P_B \frac{|\Psi_{OB} \Psi_{BC}|^2}{|\Psi_{OB}|^2} = |\Psi_{OA} \Psi_{AC}|^2 + |\Psi_{OB} \Psi_{BC}|^2 \quad (7)$$

这样，对于任意的四个复数 $\Psi_{OA}, \Psi_{OB}, \Psi_{AC}, \Psi_{BC}$ ，有：

$$P_C = |\Psi_{OA} \Psi_{AC} + \Psi_{OB} \Psi_{BC}|^2 \neq |\Psi_{OA} \Psi_{AC}|^2 + |\Psi_{OB} \Psi_{BC}|^2 = P_C' \quad (8)$$

所以在中间 AB 屏测量电子的行为会严重干扰最终在 C 点测量粒子的概率。

为了让我们对这种复数的运算有更清晰、直观的认识，让我们来考察一种特殊的情况，即让 AC 和 BC 的概率波振幅相等：

$$\begin{aligned} \Psi_{OA} &= r_1(\cos\alpha + i\sin\alpha) \\ \Psi_{OB} &= r_2(\cos\beta + i\sin\beta), \\ \Psi_{AC} &= \Psi_{BC} = R(\cos\theta + i\sin\theta) \end{aligned} \quad (9)$$

这样，我们可以计算得到：

$$\begin{aligned} P_C &= |\Psi_{OA} \Psi_{AC} + \Psi_{OB} \Psi_{BC}|^2 = R^2(|\Psi_{OA}|^2 + |\Psi_{OB}|^2 + (\Psi_{OA} \Psi_{OB}^* + \Psi_{OB} \Psi_{OA}^*)) \\ &= R^2(r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(\alpha - \beta)) \end{aligned} \quad (10)$$

其中*表示复数的共轭运算，而：

$$P_C' = |\Psi_{OA} \Psi_{AC}|^2 + |\Psi_{OB} \Psi_{BC}|^2 = R^2(r_1^2 + r_2^2) \quad (11)$$

比较这两个式子，我们发现，关键的因素就在于 P_C 和 P_C' 相差一个项：

$$2r_1 r_2 \cos(\alpha - \beta) \quad (12)$$

这一项在量子力学中称为相干项，也就是互斥的两条路径 $O \rightarrow A$ 和 $O \rightarrow B$ 会发生相互干

涉，使得最后的测量结果发生偏差。我们知道由于 \cos 函数可以取正值或者负值，所以最终的 P_C 有可能大于 P_C' 也有可能小于它。

5、量子测量理论

以上，我们把概率的运算全部复数化就得出了量子概率的计算结果，这种计算结果反映出一种观察者的测量作用对系统本身的干扰作用。冯·诺伊曼为量子力学建立数学基础（参见 von Neumann 著《[Mathematical foundations of quantum mechanics](#)》）的过程中采用了略为不同的方法。首先，冯·诺伊曼没有定义一种关于复数的概率运算法则（事实上，上面讲述的复数概率运算思路属于物理学家费曼的路径积分法），而是扩充了系统的状态、事件以及事件运算法则等概念，也能得到和我们一模一样的结果。

但是，在冯诺伊曼的体系中，他明确提出来了一种测量运算的概念。所谓的一次测量就是指希尔伯特空间上的一个厄米(Hermite)矩阵，将这个矩阵作用到系统的状态上便能得到系统测量完后的结果，并且也能得出观察者所能得到的事件的概率。

与我们上面所说的可交互性不确定性解释不同，冯诺伊曼的解释更偏向电子在被测量之前根本就不是一个电子，而是一种充满着各种可能性的概率波，在被测量的一瞬间，这个概率波才从一个可能状态变成了一种观察者已知的确定状态。换句话说，电子在被测量之前根本就不存在！一切关于电子的状态信息都是我们观测到的结果。

J.A. Wheeler 曾经在他的著作 [Quantum Theory and Measurement](#) 中提到了一个非常有趣的 21 问游戏的例子来说明量子测量理论。

所谓的 21 问游戏是这样的：我随便想象一个人，然后你可以问我任意的问题，但是我的回答只能用“是”和“否”。比如我想好的人是希特勒。咱俩的对话如下：

你：这个人还活着吗？

我：否

你：他是男的吗？

我：是

你：他是中国人吗？

我：否

.....

你：他是希特勒吗？

我：是

就这样，如果你能够通过问 21 个问题而猜出最后的答案，那么你就赢得了游戏。

在经典的概率世界中，我想好的人是一个确定的人。但是在量子的世界中，我开始并没有想好一个真正的人，也就是说那个人一开始并不存在。然后，你开始问一系列问题，我用一串随机的是和否来回答你，但是要保证前后回答的逻辑连贯一致性。当一串问题问下来，虽然我的头脑中开始的那人物并不存在，但是由于我的回答需要保持逻辑连贯性，因此我的看起来随机的回答就会被你的问题本身而塑造、确定。最终，我很有可能被你问出来一个希特勒！

在这个小游戏中，每一个问题就相当于一次量子测量，所谓的真实答案并不是一个客观存在的预设，而是不断被这一个个的测量塑造而成的。

6、走向宏观世界

也许大多数人对于刚才所述的量子的古怪行为还算能接受，因为那毕竟发生在离我们非常遥远的微观世界中。然而，我写这篇文章的一个主要目的就在于将量子力学应用于宏观系统之中。我认为，我们身处的复杂系统到处存在着观察者的测量与被观测系统相互耦合的情况。

比如，J. R. Busemeyer 和 Z. Wang 就发现人类的决策就是一种量子行为（请参看[这个PPT](#)），即可以用量子概率描述的宏观系统。他们设计了一组人类行为学试验，让人类被试作出类似电子的决策。

首先，他们让每个人类被试观察下列一组头像图片：



图 3-8 Busemeyer 和 Wang 的试验

然后让被试在两组不同的实验条件下完成判断：是否会把这个人当做自己的朋友。在第一组实验中，试验者要求被试直接作出判断，会不会把这张脸当作自己的朋友。第二组试验则要求被试先把所有的脸归为两类：好人或者坏人，然后再根据这个归类的结果判断是否把这人当作自己的朋友。

我们看到，这个试验很像电子经过双缝的试验，如图所示：

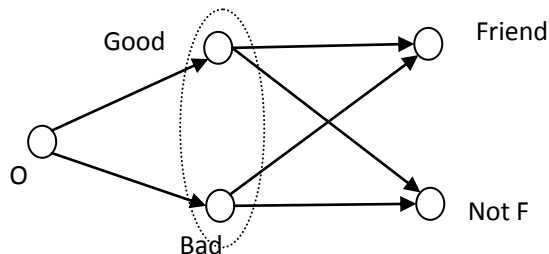


图 3-9 人类被试的决策行为

被试的选择行为就相当于电子通过双缝的行为。试验员询问被试的问题就相当于对被试进行测量。第一组试验要求被试直接做出朋友或者不是朋友的选择就相当于在最后一个屏的地方测量电子，而不管被试是把这张脸分类成好人还是坏人。假设在这种情况下针对某一张脸测得是朋友的概率是 $P(F)$ 。

在第二组情况下，试验员相当于进行了两次连续的测量，首先让被试做出分类为好人还是坏人的测量，之后再作出是否把此人当作朋友的测量，在这种情况下测得的朋友概率是 $P'(F)$ 。

假如人类的决策是按照经典概率运算的法则，那么 $P(F)$ 就应该等于 $P'(F)$ 。但是 J. R. Busemeyer 和 Z. Wang 却发现试验结果是 $P(F) > P'(F)$ 。

假如按照量子概率法则对人类的决策行为却得出了很好的解释，这说明，我们完全有可能用量子概率的运算法则描述宏观的人类决策行为(参考[此文](#))。

实际上，近年来把量子理论应用研究各种各样的复杂系统中的工作越来越多（参见

[Quantum Interaction](#) 的论文集)。还有相当多的学者研究如何将量子概率理论应用于复杂金融系统中，参见：《[Quantum Finance](#)》以及：《[金融物理学](#)》。

7、统计物理的精髓：观察者的信息

量子物理通过测量把隐藏在幕后的观察者搬到了前台，这是毋庸置疑的。但是，当我说统计物理其实也隐藏着对观察者测量作用的描述的时候，恐怕很多读者就会不同意了。实际上，我们将会看到，统计物理学之父——[玻尔兹曼](#)的一个最大的贡献就在于他发明了基于观察者的粗粒化方法，从而最终发现了观察者测量作用的一个非常重要的结果：忽略信息。

在这里，我们不对统计物理的细节进行过多说明，感兴趣的读者请参看我曾经写过的科普文章：[生命之流 5](#)。我只是想引起大家注意的是，玻尔兹曼为了推导出气体分子的速度分布规律，引入了一种被后来称之为[粗粒化](#)方法（Coarse graining）的操作。如下面的两幅图所示：

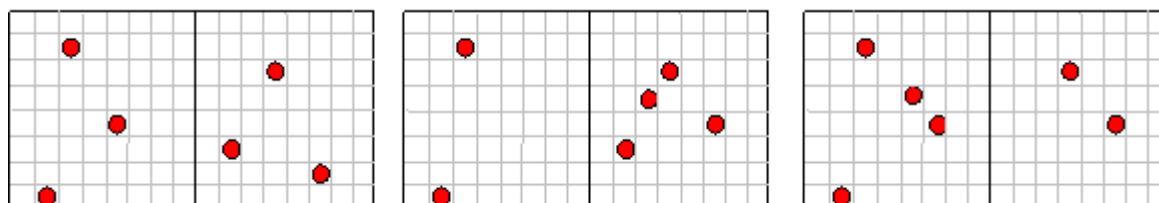


图 3-10 气体的微观态

如图，假如有 6 个小球分布在若干容器里（有 3 种状态）。由于我们观测系统的试验仪器分辨率很粗糙，不能精确的定位每一个小球处在哪一个小格子里。所以，我们只能观察到有多少个球在容器的黑线左边，多少个小球在黑线右边，所以只能得到如下图所示的三种对应的宏观状态：

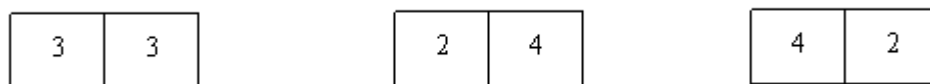


图 3-11 气体的宏观态

显然，通过宏观态，我们就能够得到对系统更加粗糙的描述，因此这样一种从微观过渡到宏观的过程也被称之为粗粒化过程。玻尔兹曼在讨论这样一种粗粒化过程的时候完全没有提观察者的事儿，但我们现在知道，其实这种从微观到宏观的过度就是观察者选择了不同的尺度来观察系统，而得到的不同描述恰恰正是观察者测量之后所获得的信息。

在以往对统计物理的解释中，观测被称之为一种忽略信息的过程（参见：[生命之流 5](#)）。然而这种信息忽略的说法似乎并不准确，因为按照我们现在对观察的理解，整个世界完全是由观察者观测出来的结果，也就是说原则上讲并不存在着微观态，那不过是我们捏造出来一种说法而已，所以得到的宏观态并不能说是一种忽略信息的结果，而应该纯粹看作是观察者进行信息获取的结果。统计物理的成功向我们展示了：正是这样一种信息的获取过程却能推导出整个宏观热力学的很多结果。

8、从强力法则到标度不变性

近些年来越来越多的人把统计物理用于研究各式各样的复杂系统中，并发现了一些普适

的规律。例如，经济系统中，如果把一个人所拥有的财富量记作 x ，拥有这么多财富量的人数记作 $p(x)$ ，那么实证数据表明 $p(x) \sim x^{-1.5}$ ，这被称之为帕累托律 ([Pareto Law](#))。在一本英文书中，如果把某一个单词 w 出现的次数记为 $f(w)$ ，将所有出现过的单词按照 f 值的大小排序，记 $r(w)$ 为该单词 w 在排序中的序数，那么 $f(w) \sim r(w)^{-1}$ ，即 w 出现的频率与它的排序 r 呈反比，这被称之为 [Zipf 律](#)。还有城市的人口，地震的规模都呈现相似分布特征，这被称之为幂律现象 ([Power law](#))。根据这个英文名，我则戏称这个法则为强力法则。

之所以称这些规律为强力法则，更主要的原因是这种现象在复杂系统中的普适性，从细胞生物体，到互联网，再到人际交往关系，幂律现象比比皆是（有关幂律的讨论，请参看计算士的科普文章：[涌现 4](#)）。

进一步，人们发现，这些普遍存在的幂律现象背后有一种更深层次的普适规律，也就是标度不变性。为了解释这种标度不变性，让我们用[分形](#)的例子来说明：

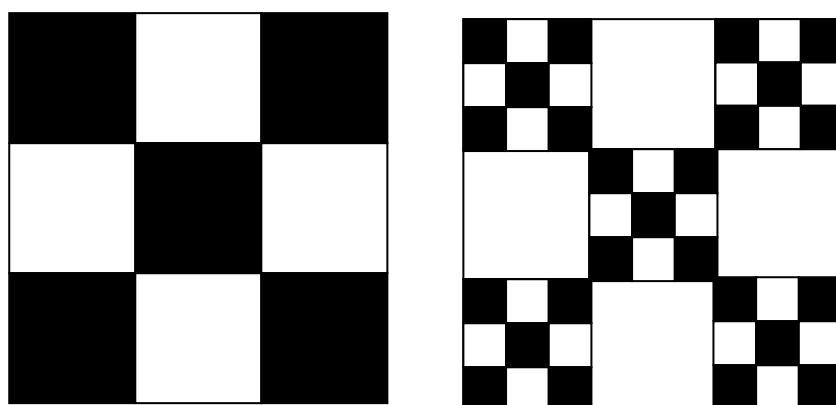


图 3-12 分形图案

观察者将观察的精度提高的过程就是从左图过渡到右图的过程，我们知道，当观察者的观测精度扩大 9 倍，那么它就能看到每一个黑色方格之内的细节，因此也就有了右图。我们说这个图形是标度不变的，也就是说在扩大 9 倍的图中，每一个 $1/9$ 方格的内容都与原来的图一样。这样一种对原始图形不断放大的方法在物理中被称为重正化操作 ([Renormalization](#))。

由此，我们看出，真实的复杂系统恰恰具有一种明显地依赖于观察者的行为，这就是：标度不变性，即系统不会随着我们观察者观察它的尺度而变化(参看科普小文：[分形与尺度相对论](#))。

9、测量——联系空间标度和时间的纽带

为了更清楚地看出从观察者的角度出发来重新审视各种物理问题的重要性，让我们考察另外一个例子。

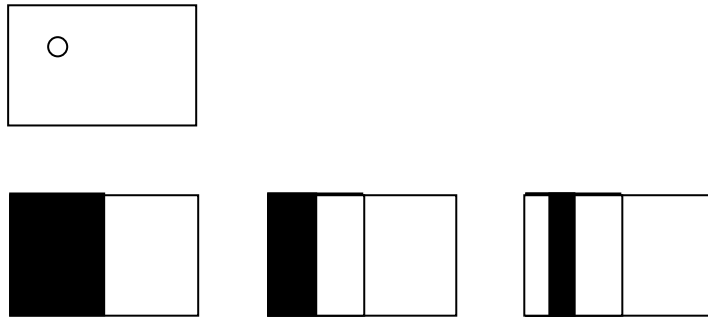
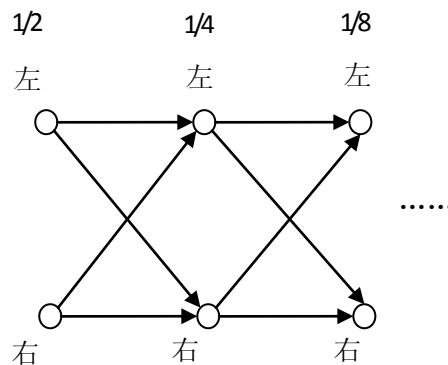


图 3-13 对电子位置的测量

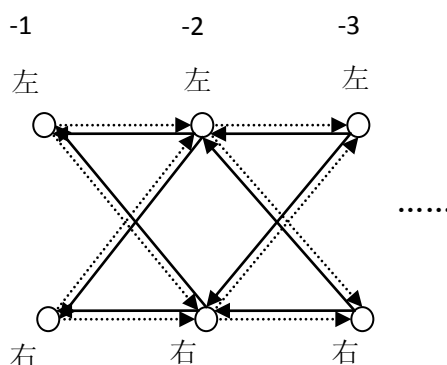
假设容器中有一个电子，我们想知道这个电子所在的精确位置。于是我们展开对电子的测量。第一次测量的时候，由于我们测量的精度非常粗糙，我们只能判断出电子在容器中心的左侧还是右侧，假如我们知道电子是在左侧；第二次，我们可以提高测量的精度了，从而精确到容器尺度的 $1/4$ 。因为我们已经知道了电子在左侧，所以我们再对左侧的这个方格进行一次更精确的测量，假设这次电子仍然在左侧的 $1/4$ 方格中。第三次，我们用更高的精度测量电子的位置，得到电子在右侧的 $1/8$ 方格中，这个过程还可以无限延伸下去……。

不难想象，这样一个采用不同精度对电子位置的测量过程可以用下图表示：



这张图表示在不同的尺度下对粒子所在位置进行测量。在 $1/2$ 尺度下，询问粒子是在左侧还是在右侧，在 $1/4$ 尺度下再次询问粒子在左侧还是右侧。其中箭头的方向表示测量所蕴含的因果方向，也就是如果我在 $1/2$ 尺度下测量知道粒子在左侧，那就意味着该格子在 $1/4$ 尺度下测量粒子要么在左侧要么在右侧。

我们可以考虑一个类似的在时间上进行的电子双缝试验，如下图：



假设电子经过一系列装有双缝的屏幕从右侧飞向左侧。观察者从左侧往右侧测量，也就是说，观察者先要确认在最左侧的一步电子经过了左侧的缝隙还是右侧的缝隙；然后在获得了消息之后，再询问电子上一时刻是飞过了左缝还是右缝，然后再询问……。图中的实箭头表示电子的“运动方向”（根据量子力学，电子应没有运动轨迹，箭头仅仅为了表示方便），图中的虚箭头则表示观察者询问问题的方向。比较这两张图我们发现，他们在观测的结构上是完全等价的。

也就是说，在空间不同标度上对电子位置的测量完全等价于在不同时刻对一个电子经过若干双缝的情况进行测量。同时，我们还应注意到一个非常重要的事实：**时间等价于观测标度的对数**（参加两幅图上面在不同节点的数字标注）。

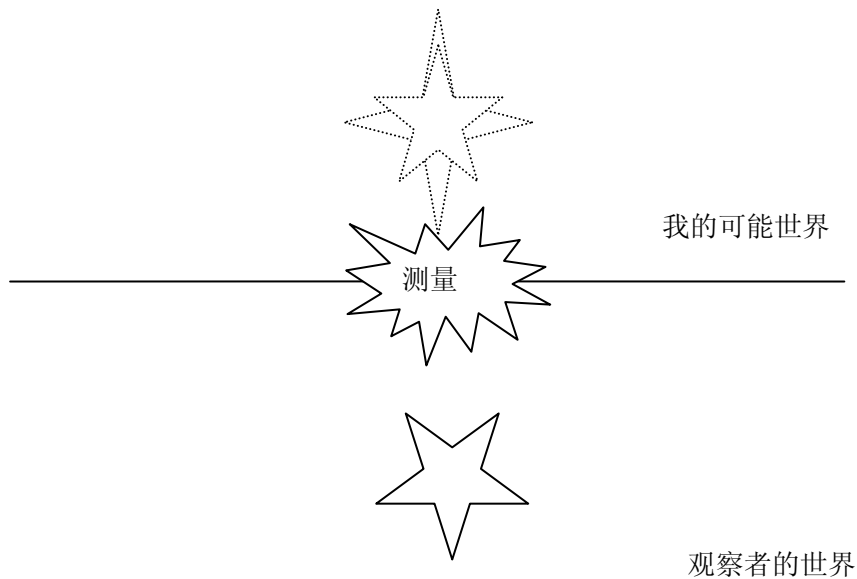
一旦我们将这两种描述联系起来，我们将有可能建立起量子概率和分形几何之间的深刻联系，从而可以互相借鉴对方的工具。比如，分形中的标度不变性就对应了在时间上测量的不变性。根据量子力学我们知道，任何一种时空上的对称性结构就对应了一种守恒性。所以，时间对称性结构自然会要求能量守恒。而我们看到了标度不变性与时间不变性的关系，那么也就意味着**我们可以在标度的变换中找到某种守恒量，也许这种量可以称之为标度的哈密顿量，它在任何一种标度中都是守恒的。**

总之，我们可以把量子测量理论中的很多概念平移到空间尺度的测量中，这就可能为复杂系统建立一套基于观察者的测量理论。

通过上面的论述，我们已经学会用一种从科学的背景——观察者的角度出发来看待现代物理学的本领。渐渐地发现，如果放弃真实不变的世界的说法，我们不仅得不出任何自相矛盾的结果，反而得出了对这个世界更加简洁而深刻的描述：**观察者无论在时间还是空间上去测量，都会得出相似的结论（标度不变性和时间不变性）。**

10、熵——对观测自身的测量

刚才的讨论仅仅局限在观察者对外在世界的测量，其实观察者还会对自身构建的世界进行测量。回想图 2-2，输入给测量的信息不仅来自于非我的外界，还来自于我的内部世界。从内部世界的角度说，一次观测可以表示成下图：



单从观察者的角度来看，一次测量过程不仅仅是把所谓的“真实”映射为他头脑中的真相，而且也是观察者“任意创造”出来的可能性世界到真实观察世界的一次映射过程。如上图所示。这张图刚好描述了图 2-2 中从“我”这里输入给观察的信息。也就是说，在一次真正的观测之前，观察者的头脑中闪现出各种各样的可能想象。而一旦作出观察之后，所有的想象都灰飞烟灭了，最后只能塌缩成一种可能性，即观察者感受到的真实。**这种从可能世界到真实世界的转化过程恰好跟重要的物理学量：熵，联系到了一起**（参看《[生命之流 5](#)》）。

我们不就具体计算进行过多讨论，而只做出定性上的说明。**观察者头脑中的可能世界决定了观察者会怎样进行测量得到有效的信息**。可能性的世界越大，观察者就会寻问越多的问题。假设观察者在每次测量中都询问系统一个是否的问题，从而得到反馈的测量结果，那么，熵就对应了这些有效测量的次数。

从时间的角度来看，如果观察者的测量结果没有发生任何改变，那么熵也不会发生变化。所以，**熵的变化与测量结果的变化深深地联系了起来**。按照客观时间的观点（即存在着一个客观流逝的时间），时间上的每一次测量并不一定返回完全不同的结果，所以熵的变化也是不均匀的。但是，从观察者的角度来说，只有测量结果的变化才是真实的，所以熵增恰恰反映了一种真实的变化。也就是说，在观察者看来，熵的均匀变化定义了一种主观时间。

熵其实可以看作是观察者对自身测量结果的一种测量。也就是，熵的变化衡量了观察者的一系列测量动作的效率。也正因为此，**熵这个物理量具有很强的自指性**。

11、小结与展望

本章站在观察者的角度重新看待现代物理学的两大分支：量子力学和统计力学。我们发现，与其说这两套学说是在发现客观世界的一些本质规律，还不如说它们发现的是观察者观测世界的各种现象和规律。

量子力学已经把观察者的观测行为作为一个明确的假设放到了整个力学框架范围内，而统计物理中最重要的两个概念：标度不变性和熵也刚好是在描述观察者的观测行为。所以，采用观察者的视角来重新看待整个现代物理是再合适不过的。

当然，物理学的分支还相当庞杂，但是几乎所有的物理理论的根源都可以归结为某种观察者效应。例如，相对论中的相对性原理可以归结为观察者在不同的运动参照系下考察物理

规律的不变性；力学中的各种对称性（空间对称、时间对称、旋转对称）都可以看作是观察者对于对称的偏好等等。

然而，物理学自从发现了量子力学以来就开始变得与众不同了。原因在于，观察者作为一个显式的因素被放到了理论框架中来。在此之上，量子场论以及量子引力等理论又进一步发展了量子力学。从观察者的角度来看，笔者认为**这些更深层次的学科的意义也就在于进一步放松客观世界的假定**。在量子力学中，虽然电子在被测量到之前已经不被视为一种客观实在的粒子，但是，毕竟我们还需要一个客观的波函数来描述电子的状态。我认为，到了量子场论的地步，即使波函数也会进一步消失，我们完全没有必要假设有一个客观存在的对应着电子的波，因为场论中涵盖了粒子的生灭过程。也许到了量子引力和终极理论那里，客观世界唯一的影子也不需要存在了，最终物理学将证明，一切都源于虚无。

然而，本人毕竟不是搞物理的，我也对这些进一步的物理问题兴趣不大，但是，我确信观察者理论对于这些问题具有一定的独特性和穿透性。希望对此理论感兴趣的朋友能够将其在物理学中的应用发扬光大。