

量子

——科学与文化的交互

王东升

2023

序言

这本书名为《量子——科学与文化的交互》，是对现代量子科学的一个通俗的介绍。然而，在科学之外，我们还尝试将其放到更广阔的视野中来看，即一个科学与文化交互的视角。

笔者从事物理学研究，具体来说是量子信息科学。我在科研之余，从六七年前开始本书的写作，写成如今的样子，说起来效率也不高。这本书是什么性质呢？我称其为“文化科普书”，或者简称为“文科普”。本来，文理二元分家就不是一个天然的事情。作为一个完整的人，我们既需要科学的智慧，也需要人文的情怀。我们中国人的传统是以人为本，那么科学也需要服务于我们的人生。西方人没有这种传统，他们讲究天人相分，不欣赏我们的这种杂糅和中庸的精神。但是，在我看来，这正是我们文化的特色和长处。我最欣赏的是宋代科学家沈括写的《梦溪笔谈》。它不是一本科学教科书，也不是一本杂文，而是充满智慧的关于自然的思考，同时又通俗易懂。

本书有三个关键词：量子、阴阳、科学文化。量子来自现代西方科学，阴阳来自中国传统文化。我们主要进行的是世界观的探讨。世界观为什么重要呢？因为它决定了我们认为的世界是什么样子，它也暗含了我们生存方式的取向。“科学与文化”，有两层含义。一是说量子论作为一种科学理论，它有文化意义，即它对世界的描述可以作为人生的指导；二是说“科学文化”本身作为一个概念，在中西方有不同的表现，而量子论可以作为中西方科学文化的一个桥梁。

我国在宋代的时候领先于世界，宋代的文教与科技都非常发达。著名的史学家李约瑟有一个深刻的问题，即近代科学为什么没有发端于中国（也就是宋代）。正是基于近代科技革命，西方世界才远远走在了世界前面。历史无法改变，然而我们可以改变对历史的认识。本书梳理了中国的科学传统，我们表明科学不是舶来品。一种哲学、科学或文化是一种传统，有好的一面，也有坏的一面。传统是需要继承与发展的，而放弃自身传统去复制别的是不可行的，也是不可能的。通过一个世纪的发展，人们对我国的科学传统有了更准确的认识，科学的思想也得到发展，逐步融入我们的文化，并能影响中华文明未来的走向。

当今世界面临着很多挑战，诸如科学与人文、科学与宗教、传统与现代等之间的鸿沟，这些挑战在不同的国家表现不同。在中国，由于传统的儒释道体系同样适用于自然与社会，现代中国的这些鸿沟多半是源于西学的传入，以及社会的飞速发展。我们讨论科学文化，其实也是尝试打通科学与人文、传统与现代之间的鸿沟。

让我们立足当下，追溯历史，徘徊在科技与文化之间，以量子与阴阳为钥匙，以期能解开中西方文化的密码。希望我们的这一趟量子之旅，带给您的不仅是一些量子论的科学智慧，更多的是对科学与文化的一些思考。

目录

序言	2
量子篇	
第一章 历史的狂飙	
第一节 量子的蜕变	9
第二节 物理的魅力	12
第三节 物理的统一	17
第二章 量子	
第一节 发端	24
第二节 相干	28
第三节 阴阳	37
第四节 信息	47
阴阳篇	
第三章 量子的智慧	
第一节 诠释	59
第二节 图景	65
第三节 潜域	75
第四章 传统	
第一节 阴阳与气论	85
第二节 矛盾与对偶	95
第三节 逻辑与数学	98
第四节 汉字与老子	101

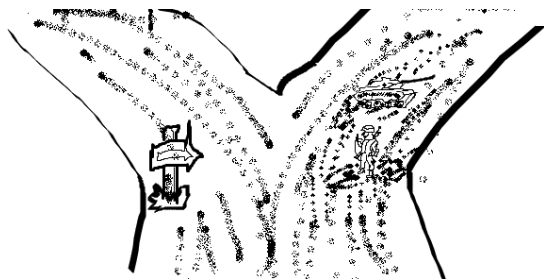
第五节 变化与整体.....	111
交互篇	
第五章 科学文化	
第一节 人性崛起.....	120
第二节 科技革命.....	125
第三节 回归理性.....	128
第六章 交互之间	
第一节 科学之实践.....	134
第二节 量子之奥妙.....	138
第三节 哲学之启蒙.....	144

量子篇

题记

爱因斯坦是大名鼎鼎的科学家，他的代表作是“相对论”。当然，相对论并不是讲万事万物都是相对的，而是关于光的一种科学理论。然而，不太为人所知的是，他是“量子论”的坚定反对者。相对论和量子论几乎同时在 20 世纪初诞生于欧洲，一个世纪之后，量子论几乎占领了整个物理学，以及大半个化学，而相对论却偏安于天文学一角。为什么是这样？爱因斯坦一生犯过很多错误，他不积极参与量子论的发展，估计是他最大的失误了。这其实是情有可原的，因为量子论是个很怪异的理论，即使是研究它的人，可能也不怎么理解它。美国物理学泰斗费曼说过：我可以很负责任地说，没有人理解量子论。这句话可能是在开玩笑，不过，三十年之后的今天，我依然很赞同！

第一章 历史的狂飙



危机和革命让 20 世纪加速前进，而量子物理也在逼迫中蓬勃发展

第一节 量子的蜕变

正如很多大人物的出场一样，量子论诞生于风雨交加的欧洲大陆。那是在19世纪末20世纪初，以爱迪生为代表的电气革命也正走向一个新的转折点。电气革命得以成功的理论基础—电磁学，在世纪之交正面临着一个莫大的困难，那就是光速到底会不会变。从事热力学研究的开尔文勋爵不无恶意地将这个困难形容为“漂浮在物理学天空中的乌云”。这是个很恰当的比喻。那时的欧洲，西方世界的战国正如火如荼¹，天下被战争的乌云笼罩。然而，这倒没有耽误科学家们的科学研究。

历史总是带有戏剧性。一小批年轻的物理学工作者轻松地把困难搞定²，于是就诞生了相对论和量子论。无独有偶，数学界也经历了危机，比方说罗素的悖论³。这些所谓的危机让欧洲的科学前进了一大步，战后流离到美国的科学家进而让美国称霸于世界。而那时的中国，也正处于革命的前夜，然而却

¹ 大约从 1500 年到 2000 年这五百年，可以说是西方世界的春秋战国时期。

² 这被戏称为“boys' game”，即孩子们的游戏。

³ 一个版本是：这句话是错的。那么，这句话到底是不是错的？

不是科学革命⁴。

在战火纷飞的欧洲，物理学家们依然暂时找到了一个相对安宁的处所。丹麦，哥本哈根，这是玻尔以及他所创建的研究所的所在地。1930年前后的玻尔研究所，代表了物理学经历的一段“黄金岁月”⁵。丹麦科学家玻尔是量子论的奠基人，又成长为量子论的泰斗。他建立了这个量子研究所，生活起居都在那里。在那个时期，全世界的量子物理学家都以能在玻尔的研究所访问、工作为荣，俨然一个科学版的“杏坛”。这里有德国的海森伯⁶、苏联的朗道等等，他们都成了各自国家的物理学泰斗。他们讨论原子、原子核、光子、激光的原理，讨论量子的哲学、相对论、不确定性、互补性，讨论各种仪器，他们还讨论战争、宗教、政治、艺术等等。

在二战以前，物理学界的两位新秀兼大师已然确立：一位是孤傲的爱因斯坦，一位是和蔼的玻尔。他们之间关于量

⁴ 中国人错失了发展科学的良机，这实在是一个历史的不幸，而新的机遇则一直要等到改革开放之后。

⁵ 《玻尔研究所的早年岁月》，罗伯森著，杨福家、卓益忠、曾谨言译，科学出版社。

⁶ 海森伯是纳粹德国原子弹计划的首席科学家。

子理论完备性的争论至今还为人津津乐道⁷。1932年，在纪念大文豪歌德的一次会议上⁸，玻尔扮演上帝，泡利扮演魔鬼，艾伦菲斯特扮演浮士德，他们上演了一出话剧。人物的选取太精妙了，现实中，爱因斯坦的老师艾伦菲斯特自杀了，诺贝尔奖获得者泡利是个铁石心肠，终生未娶，而玻尔子孙满堂，桃李满天下⁹。

战争打破了他们自由的科研，他们要为政治服务。各国科学家纷纷回到自己的祖国，所幸量子论的种子已经在他们思想中生长。在动荡的国际背景下，量子论却茁壮地成长了起来。由于与军事的密切关系，很多物理学家都参与过军事项目，比如说，美国的曼哈顿计划就牵涉到了费曼¹⁰、费米、冯诺依曼等物理学家。与此同时，量子技术也蓬勃发展起来，包括加速器、核磁共振、激光、半导体、磁记录、超导等令人眼花缭乱

⁷ 爱因斯坦对量子论有所贡献，然而他长期不接受整个量子论。究其根源，他的思想具有马赫哲学的色彩，是属于前量子时代的。他对量子论的反对，有个人原因，我们就不妄加揣测了。

⁸ 物理学家纪念歌德，真是怪事！

⁹ 物理学家的人生大多和常人不太一样，他们或者标新立异，或者与世“隔绝”，我们中国人似乎不太欣赏这一点。

¹⁰ 美国物理学家费曼算是近百年来最知名的物理学家了。

乱，以及各种量子学科，诸如量子化学、量子光学、固体物理、纳米、甚至量子生物学。如今我们很熟悉这些学科了，但是它们都是20世纪的新事物。我们生活中的电视、电话、电脑、汽车、卫星、飞机等等，除了一些简单的比如温度计、发动机之外，都是20世纪物理学的产物。而且，量子技术还远未开发完全，生活在21世纪的我们，有望很快用上量子计算机了¹¹，而它的潜力是我们现在用的电脑所不可比的。

第二节 物理的魅力

量子论是一种物理理论，在我们讨论量子论之前，需要先预热一下。看完这一小节，我相信您能对物理和物理学有新的认识。物理有什么吸引人的地方？如果说初中的物理学还有点趣味和用处的话，那么从高中开始物理学就开始变得深奥、不食人间烟火了。大学里选择物理学的人更是寥寥无几，女孩子就更少了。你一定认为我是个很无趣的人，竟然去学物理（甚至还有哲学）。在一定程度上这是对的。其实有趣无趣都是相对的，牛顿方程很多人可能都没有听说过，即便知道，但对大多数人来说可能没有任何趣味，而对专业的人来说却有很

¹¹ 关于量子的计算机，后文还会有所涉及。

强的吸引力。在有趣和无趣之间，其实是很值得思考的。在西方社会，我们看到有很多科普书，很多科学家，比方说霍金、彭罗斯等都热衷于科普事业¹²，当然更多的是不太知名的科学工作者。他们不仅致力于让大众来了解最新的科学进展，而且让人们理解科学家的兴趣，认识科学的重要性，进而唤起人们自己对科学的兴趣以及科学意识。兴趣是最好的老师了，有了兴趣，西方社会的科学才得以永葆青春，而科学是现代社会进步的最核心的发动机。

物理学为什么对我有吸引力？作为科研人员，我相信不同的人是有不同的原因的。我对物理学的兴趣，主要是因为它的简单美。简单，是因为物理学是一门关于简单、简洁现象的科学，它研究的不是复杂纷乱的现象，或者说，它致力于发现复杂现象背后那简单的原因。美，是说物理学里面各种基本的定律简单明了，而如此简明的定律竟然可以解释如此众多的现象¹³，这就是一种美的力量。比方说，牛顿方程 $F=ma$ ，外力 F 在物体 m 上的作用表现为加速度 a 。这个方程虽然是通过对小木块等没有任何特色的物体的研究得出的，但是它完全适用于更

¹² 霍金有《时间简史》，彭罗斯有《上帝的新脑》，还有普里高津的《从混乱到有序》等。

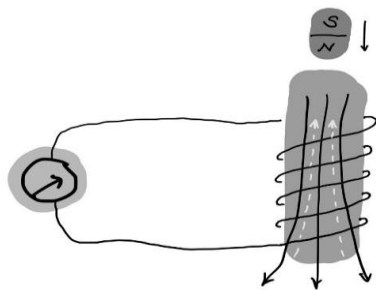
¹³ 不仅仅是自然，而且包括社会。

为复杂的物体和现象。任何一个事物，比如人、股市、地球、欲望，如果用 m 来代表它自身的一些固有性质，那么当它受到外界持续的作用时，这种作用可以用 F 来描述，那么其表现就是加速度 a 。那么 F, m, a 这些量怎么去确定呢？这需要物理学里面的实验方法，也就是通过大量的样本来总结出定量关系。我们先定性地来体会一下这个方程的智慧。首先， m 是不随外力而改变的，这说明事物本身的性质具有一定的永恒性。比方说，人的性格可能是先天就确定了，只是在后天可能养成了这样或那样的习惯。一个人保持习惯的冲动就是 a ，而这种习惯的原因就是 F 。其次， F 是一个向量，即一系列的数的组合，而不仅仅是一个数。这其中巨大的奥秘是，当有不同的 F 同时作用时，它们总的效果是可以结合到一起的，然而这种结合又不是简单的加减乘除，而是遵循所谓的向量叠加规则。举一个不太恰当的例子，一个人进了商场就可能抑制不住购物的冲动，种种诱惑就是不同的 F ，而冲动就是 a ，不同人冲动程度的不同可以用 m 来解释。不同的 F ，比方说衣服、美食等对一个人的冲动会有复杂的综合效应，而这是可以通过向量来描述的。在金融学里面，产品的性质、人的需求、政府政策等都可以通过向量来代表，然后通过数学和物理模型去描述，进而去预测未知。金融和物理的一个区别则是，经济和金融领域的现象更为变幻莫测，而且涉及到人的切身利益，没有物理那么单纯和美妙罢了。

如果把物理学最重要的公式、常数罗列解释一下，估计用不了多少页。教科书中往往有太多的习题、计算，而掩盖了物理定律真正的美。记得学习电磁学的时候，每天学的就是带电物体如何在电磁场中运动，需要计算各种复杂的运动轨迹，这些计算往往占据了我们大多数的时间。这也有情可原。初高中甚至大学里的物理，在很大程度上是为了现实服务的，也就是为了学生以后在工业、工程等领域中工作来服务。而现实中的物理现象往往比较复杂，是需要很多计算的。一般在工作中，接触到的物理学基本是非常窄的，从事电子行业的可能只需要电磁学，从事工程的可能只需要力学或者热力学，从事医学器械的可能只需要核磁共振等等。当物理学知识变成了谋生的手段之后，它就会在某个小领域里变得臃肿，而失去了作为一个整体的美。

为什么需要把物理学作为一个整体来看呢？物理学里面有力学、热学、电磁学、光学、原子论、量子论、天体物理、凝聚态等等，之所以分门别类，是因为需要分别专业研究，进而分别应用到不同的领域。而它们能构成一个整体，是因为大自然中的基本的规律是一致的，是息息相关的。这些基本定律、方程和概念，比方说能量、熵、对称性等都是适用于不同的领域的。当我们把物理学这本厚书变薄之后，我们才能看到整个物理学的真实面目，看到物理学最基本的出发点，也才能最有

力地激发你的兴趣。



我们来看这么一类有趣的现象。在电磁学中，当一个磁铁通过一个磁性线圈时，线圈会产生一个与磁铁的磁场相反方向的磁场，来部分抵消磁铁本身的作用，如图所示。这会导致一种反重力的错觉。当把线圈竖直放置而磁铁向下运动，那么磁铁会以比正常速度慢的节奏下落。这是有名的楞次定律。在化学反应中，某些分子遇到一起会变成其他的原子或分子，这种转变是一种动态平衡。这时如果改变平衡的一个因素，比方说增加或减少某种成分，那么平衡就能向减弱这种改变的方向移动，这叫做勒沙特列原理。这两种现象是高中学的，相信有不少人都好奇为什么会是这样。这有点像青春期的逆反心理。家人如果建议那样做，那么青春期的孩子肯定会朝相反的方向去做。而某一天当我学到涨落与耗散定律的时候，立刻被它的内涵所折服！这个定律描述的是处于不稳定状态的物体的某种

对偶的性质：物体本身的性质和外界的性质达到一种吻合。磁场、数量、心理等的落差，也就是涨落，和外界对自身的干扰，也就是耗散，是密不可分的，这也就是涨落与耗散定律的内容。这个定律的重要性不亚于牛顿方程，它们都描述了事物运动的某种普遍的性质。

当我们能把物理学作为一个整体来看的时候，它的意义就有了更大的发挥空间。物理学定律本身其实是不依赖于机械物质的，这些定律也是完全适用于人类和我们的生活的。那么，物理学为什么研究机械物质呢？原因也很简单，就是这些物质，比如小木块、天体、电子、汽车等，它们的特色比较少，也就是干扰因素比较少，比方说它们不会有情绪，不会穿奇葩的衣服来转移你的注意力。物理学研究简单朴素的对象，才能更有效地发现大自然和宇宙的奥秘，而这些奥秘和定律是放之四海而皆准的，因为一切都在宇宙之中。而去了解宇宙的基本样子是我们每个人都需要，因此了解物理学的基本道理（也就是“物之理”）也是每个人的必修课。就好比了解一些生物学、心理学的常识也是必修课一样，这样才能与科学一道共同进步。

第三节 物理的统一

正如20世纪本身一样，20世纪的物理学也以“危机”、“革命”等词汇闻名，普朗克、爱因斯坦等都被冠以革命者的称号。数学家也来起哄，以哥德尔为代表，也标榜数学中的危机和革命。科学革命和政治中的革命有没有什么内在联系，这就不得而知了。不过，显而易见的是，在战争的促逼下，20世纪的物理学有了突飞猛进的发展。

基于19世纪末电磁学的发展，电子、质子、中子、辐射等的发现窥视了微观世界，它与宏观世界显得那么不同，因而科学家的好奇心被大大激发了。电磁学与牛顿力学的冲突促成了1910年前后相对论的发展。法国的科学泰斗庞加莱、德国的科学新秀爱因斯坦，又一次¹⁴让英国的牛顿这位经典物理的泰斗黯然失色。与此同时，20、30年代崛起了量子论，它精准地描述了微观粒子的运动，并出人意料地渗透到了各个领域，包括化学、材料、生物甚至还有心理学。

可以说，20世纪是物理学从年轻走向成熟的时期。为什么？我们知道牛顿奠定了物理学的基础，但是很少人知道，他还试图炼过金子¹⁵。牛顿的时代，科研还是一种奢侈的职业，同时还有宗教性。牛顿对天体的研究兴趣，多少和基督教对天

¹⁴ 之前关于光是波还是粒子的世纪之争，牛顿的粒子说最终败下阵来。

¹⁵ 《最后的炼金术士：牛顿传》，迈克尔·怀特著，中信出版社。

国的描述是有关的，对天体的研究也是对上帝智慧的认识。牛顿的研究大多是一个人待在屋子里完成的，那是一种修道式的生活¹⁶。

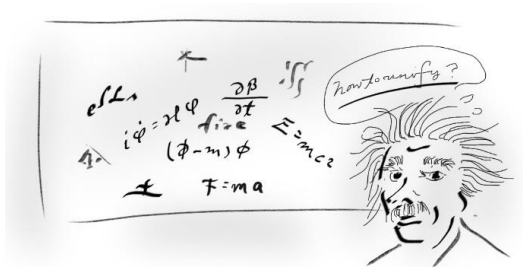
牛顿的研究刚刚使物理学成为一门科学。后辈们推崇前辈，因此牛顿被放到了至高无上的地位，然而这更多的是媒体宣传的原因¹⁷。牛顿之后，热力学（克劳修斯、玻尔兹曼）、电磁学（法拉第、麦克斯韦）的发展都具有革命性的意义。蒸汽机来自于热力学，电灯来自于电磁学，这都是工业革命的基础。然而，大众很少有知道玻尔兹曼这些人的。

在19世纪末，物理学的发展已经蔚为大观了，然而却是四分五裂的状况，力学、热学、波动学、电磁学等研究不同的对象，似乎毫不相干。物理学家追求对自然界一致的、统一的描述。牛顿力学统一了天上的行星和地上的物体的机械运动，麦克斯韦在19世纪统一了电、磁和光。电磁学把世界描述成一个充满电场与磁场的大海，场是由以太¹⁸按照光速进行传播的，

¹⁶ 据说牛顿终生未娶。牛顿的影子在几百年后孟德尔的身上显现出来，他是在修道院里发现了开创性的遗传定律的。

¹⁷ 其实，牛顿的至尊地位也是被英国人捧出来的。在他的同时代，德国人莱布尼茨也同样伟大。近代的爱因斯坦因为相对论对牛顿力学的颠覆也被捧为了英雄和大师。

¹⁸ 以太曾被认为是宇宙中最小的物质单元。



物质之间通过以太来相互作用。这激发了物理学家的统一之梦。然而，光速不变性和力学的原理是相冲突的，这困扰着开尔文、庞加莱、洛仑兹，而最终导致了量子论和相对论的发展。

相对论和量子论发现之后，物理学变得更为繁杂，统一理论有了多种模样。有追求统一物质基质的理论，设想世界是由几大基本粒子组成，这让我们想到了金木土水火。有追求统一原理的理论，它设想世界有一个基本的方程，从这里出发，可以推导出全世界甚至整个宇宙的运行来。然而事实证明，他们都是在异想天开¹⁹。与此同时，世界似乎又开始了分裂：物理学研究的对象向两极发展，天体物理成了相对论的主要阵地，微观世界主要成了量子论的世界，而宏观世界几乎成了化学、生物学的天堂。然而，本书正是要表明，量子论其实在一定程度上已经是一种统一理论，只是需要我们更深一步地去体会它。

¹⁹ 至少现在看来是如此。

那么，物理学究竟研究什么呢？这个问题不好回答，因为它研究的对象一直在变化。在古代，人们研究的是占星，后来人们研究天体的轨道，才成就了力学。近代物理学家研究原子，但原子本来是化学家的研究对象，如今粒子物理继续从事着化学家的事，来研究反应、衰变、散射等。而化学家也变成了热力学的专家，很少有物理学家去研究热力学了。如今也有大量的物理学家去研究生物、生命、细胞现象，这些交叉学科其实是科学正常发展的显示²⁰。20世纪又被称为“信息的世纪”，“基因的世纪”，物理学不但成熟了，而且似乎已经太老了，似乎有一天，物理学的研究会走上一个终点，而被另外一些研究所取代。

物理学当然不会终结，只要它的中心问题还未完全解决，即物质运动的基本规律²¹。这里所谓的物质，不仅可以指金木土水火，而且可以包括各种复杂的事物、DNA、一个人群、种族、星系，甚至是整个人类或宇宙。当然，因为有其他学科的存在，物理学基本被限制在机械物质的范围内。但是，它所发现的规律不一定也有这种限制，这也是物理学为什么在古代

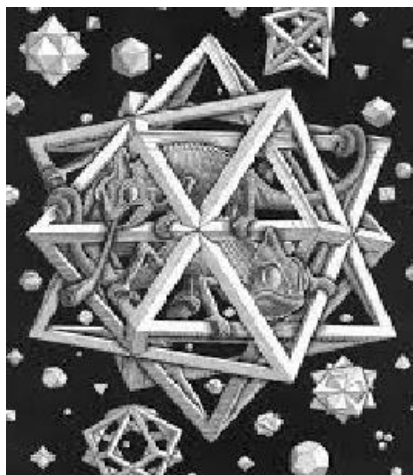
²⁰ 因为一门学科是不能被限制在固定了的学院设置中的，这一点，我们中国的高校似乎还没有充分认识到。

²¹ 与此同时，它也研究物质的结构。

被称为形而上学的原因²²。比方说，在古希腊，亚里士多德进行的所谓的物理学研究其实是形而上学的哲学研究，他不是为了研究物质而研究它，而是通过研究物质来推测一些普遍的、适用于整个世界的法则。我们在这本书中所要进行的，其实也是这种研究。那么，我们就要探讨，20世纪的物理学到底发现了什么新的法则呢？

²² 所谓形而上者谓之道，形而下者谓之器。形而上学，就是研究现象背后的道理。

第二章 量子



埃舍尔的艺术刻画了有无、虚实、先后、错觉、时空、矛盾等，与量子论有异曲同工之妙。

第一节 发端

到目前为止，希望对您对量子论产生了些许兴趣。然而，如果你被“量子”这个词给唬住了，那是完全没有必要的。本章的目的之一就是给量子祛魅，将它放在我们的常识之中来理解。

如果说是进化论或相对论，估计人人都有所了解，它们有鲜明的“口号”，比如自然选择、适者生存、或者万事都是相对的。它们也都曾经对社会和政治发生过影响，比方说，严复的《天演论》曾经启蒙了一代国人，使进化论对社会变革产生过不小的影响。之所以如此，这和很多科学家和科普科学家的努力是分不开的。爱因斯坦本人就很喜欢给大众做报告，他也很善于用浅显易懂的词汇来解释相对论。然而，不幸的是，量子论有个奇葩难懂的名字——量子，而且与激进的革命的形象相比，它身上的温和色彩倒更多一些。还有一个不幸，量子论泰斗玻尔很不擅长运用浅显的词汇，相反，他更像是个哲学家。量子论从诞生起就以奇葩难懂而著称，然而，量子论一步步地吞噬着整个物理学，这迫使我们接受它，理解它，跟着它的思路走。

量子论的发展着实经历了一个复杂的起承转合的过程，人们对它的认识也不断地发生着变化。量子论发端于对微小粒

子的探索，比分子和原子还要小。20世纪初，汤姆逊发现了电子的存在，这让人们认识到有比原子还基本的物质元素。很快，理论家洛仑兹建立了电子论²³。电子能以很高的速度运动甚至逼近光速，这超出人们的想像。电子通常被描述成一个球的样子，当速度很快时，它成为一个椭球形，顺着运动的方向变扁了。电子的电荷是电的量子，而普朗克²⁴和爱因斯坦提出了能量和光的量子。因而，量子的最初意思是最小的基本单元。

电子和光子之后，情形就复杂起来。人们发现，这些微小粒子的运动非但一点不简单，反而非常怪异。最著名的是双缝干涉（interference）实验，如图所示。一束电子从左侧



²³ 这也促进了相对论的发展。相对论中一个非常重要的公式，就是洛仑兹发现的。

²⁴ 普朗克曾为他这个大胆的发现而纠结不已，真是一件值得玩味的事情。

打过来，穿过中间的屏幕上的两个小孔，按照普通常识和经典物理理论，应该在后面屏幕上出现两处斑点。但是实验发现，屏幕上出现的是一滩奇怪的图像——即所谓的干涉条纹！人们知道，干涉是波的典型性质，比如水波。当水波经过障碍物时，比如两个相距不远的石头，就会产生干涉条纹。无独有偶，光子²⁵也有这种行为。光子和电子是微观世界最重要的两个元素，它们的波动性大大激发了人们对整个微观世界的兴趣，然而局面也混乱了起来。人们一般认为电子是球状的，像子弹一样。好比射击时，如果只有两个孔可以通过，那么屏幕上会是分开的两堆斑点。有的物理学家认为它们是球状的小颗粒，但运行的路线不是直线，而是像喝醉酒一样。有的认为电子就是弥散开的波，像一根绳子似的。然而，一种最为绥靖的说法却占了上风：它们既是粒子又是波！美其名曰“波粒二象性”²⁶。于是，量子的内涵从最小单元过渡到了微观粒子奇葩的运动性质。

电子的发现证明原子是一个复合的结构，原子物理

²⁵ 比如用激光做实验。“光子”这个词是爱因斯坦的发明。

²⁶ 这个词似乎是爱因斯坦的发明，然而这个词使局面更加糟糕。

就正式诞生了²⁷。不到三十岁的玻尔很快提出了划时代的原子模型，也提出了量子论的理论框架。之后，玻尔痴迷于量子论，他研究电子、原子核，还有分子以及量子化学，甚至量子哲学等。之后，奥地利的薛定谔、德国的海森伯提出了更完善的量子论。这一切几乎都发生在1925年前后，在一战与二战之间。从那之后，量子论开始吞噬物理学：泡利、泡令等建立了量子化学，朗道、狄拉克等建立了量子统计、凝聚态、固体理论，战后又兴起了基本粒子的量子场论、量子引力论，描述光与物质相互作用的量子光学，还有半导体物理等。这些不同的学科分支到现在都方兴未艾。量子论从一个微观理论逐渐扩展为一个普遍适用的理论。

在量子物理革命的背后，物理学家们一直在争吵它到底是个什么样的理论。我们上面论述到，量子最初是指“不可分的一块”，比如不可分的一包能量，量子论是关于这些最小的不可分的单位的理论。然而，历史证明这是一种肤浅的看法，量子论还有更丰富的内涵。关于它到底是什么样的理论，物理学家们都争破了头。在1930年代，玻尔的量子论占有统治地位，不管人们是真心赞同他，还是因为他的崇高地位。

²⁷ “原子”是化学家道尔顿的发明。在19世纪，原子学基本上是化学家的天下。然而电子的出现，让物理学家抢了他们的地盘。20世纪的化学家大多去研究分子去了。

然而，在玻尔之后，就出现了“量分为八”²⁸的格局：新的量子论理解和诠释层出不穷，同时，早期的一些不太流行的思想也被后人重提并赋予新的意义，这种状况一直持续到今天。费曼有句名言：“请闭嘴！专心做计算就行了！”²⁹

第二节 相干

在我们深度剖析量子论的内涵之前，我们有必要详细考察一些具有代表性的量子性质和现象。在量子论中，一个最



²⁸ 这里借用孔子没后，儒家一分为八的历史典故。

²⁹ 这被戏称为费曼的量子论“闭嘴诠释”。不过这句话好像不是他说的，而是莫名（N.D. Mermin），却被安到了费曼头上。莫名也是美国物理学家，我们还会提及他。

基本也最核心的概念就是相干性³⁰（coherence）。来看一种常见的情况。当一个人处于困境，他能否摆脱呢？如图所示。一个人在井里，按照常识还有非量子理论，如果他的力气（能量）能够超过井的高度，它就能跳出来；否则是不能的。用概率的语言来说，他能跳出来的概率或者是1或者是0，不存在他跳到半截的情况。然而，常识也暗示我们，似乎他也有机会绝地逢生，如果条件必备的话。事实正是如此。根据量子论，只要井的高度不是无限高，那么他总有一定的机会出来。这怎么可能呢？这种现象，当能量不足但仍可以鬼使神差地出来，称为“隧穿”。隧穿现象在很多电子产品中得以应用，比如读写信号的磁头。磁头本身并没有接触被探测的信号源，然而磁信号转化为电信号之后，电子要依赖于隧穿才能形成电流用于探测。

现在我们发挥想象力来给它一个解释。考虑整个场景，我们可以问，这井是光滑的吗？井壁是坚硬的吗？井里的空气是不是密度很大足以提供很大的浮力？或者井底有弹性？种种假设，都不违反基本要求：井的高度不变，人的自身的能力不变。如果我们假设的一些条件可以成立的话，那么他就有

³⁰ 可以理解为“一致性”。“相干”的确不是一个很顺耳的词，我着实想换另外一个词，但是还是尊重物理学的惯例吧。

可能脱身。如此看来，难道量子力学是专门描述类似怪异行为的理论？

当然，我们还是要严肃一点地讨论问题。从另一个角度来看，量子力学考虑问题似乎更全面，它考虑到了种种合理的情况，然后给出一个综合的答案。事实也是这样。电子就是隧穿的高手，之所以如此，是因为真空的涨落。我们知道，真空其实不是空的³¹，它里面充满了形形色色的能量包，如果电子有足够的运气，吸收了这些能量，那么就隧穿了。我们说，电子隧穿前与隧穿后的状态（类比人在井内与跳出井外）不是相互隔离的，在这些状态之间存在着某种潜在的联系，称之为相干性。在双缝干涉的例子中，处于两个缝的电子之间也存在着相干性，量子力学里面有形形色色的相干性，就好比牛顿力学里面有各种力，热学里面有各种能量一样。

那么，现在我们似乎已经解开了量子的秘密了。但是，“相干”也仅仅是个名字而已！它代表着某种存在着的東西或者性质，如果要严格进行定义，那几乎是不可能的。正如引力一样，当牛顿提出它时，他说这只是个美好的假设，只有上帝才知道真相。

说完隧穿，我们接着说“纠缠”，这个词在近些年非

³¹ “真空”这个名字也实在是个糟糕的名字。

常惹眼，风靡程度超越了薛定谔的猫³²。比较性感的说法是，如果两个粒子纠缠了，即使二者相距千里，其中一个的变化，也会立马影响到对方。这似乎和心灵感应类似，这也让一些人脑洞大开，去研究量子心理学³³。

纠缠，顾名思义，是纠缠缠绕的意思。纠缠描述的是两个物体或多个物体之间的相干性，可以简单地理解为它们之间的关联，但是仅仅理解为关联也是肤浅的。为了解它，设想这样一个例子：有一对非常恩爱的恋人，他们亲密无间，然而天公不作美，后来他们分手了，成为了普通的朋友。我们可以把恋人关系比作纠缠，而朋友关系比作普通的联系，学术界一般叫做经典关联，而纠缠的状态具有量子关联。那么，显然的是，他们之前的恋人关系要比之后的朋友关系亲密多了。也就是说，量子关联的程度可以比经典关联强大很多。这个似乎

³² 这里我们就不介绍这只猫了，因为在下一章的开头有一只这样的猫。不过，纠缠最早也是薛定谔（E. Schrodinger）研究的。“薛定谔”这个名字似乎与他本人的性格不太相符，翻译为“肖丁戈”似乎更好。

³³ 其实还真有始作俑者，比如约瑟夫森（B. Josephson），他曾以在超导现象中的发现而获得而诺贝尔奖。然而获奖之后他就去搞玄学了，也就是心理学、脑科学等等。可惜的是，他没有做出更多的发现。

不太起眼的差别，有着很明显的效应³⁴。在量子信息技术中，纠缠特性可以提高通讯的保密性、效率还有计算速度。

利用纠缠的一个著名的现象是“隐形传态”。在科幻电影中，有一种传态机器，人从一个地方的一端进去，然后就可以在另外一个地方的另一端出来，完好无损。注意！是那个人本身先化为了灰烬，然后在新的地方重新诞生。当然，如果时间、地点或程序操控有误的话，出来的可能就不是一个活人了。隐形传态比这靠谱多了！纠缠就好比一个传送桥，当一个光子或电子接入一端时，它的状态可以被传到另外一端。注意，是它的状态，而不是它本身！

纠缠经常会被误以为是一种超距作用，当我们对其中一个物体做操作时，这种操作会瞬间对另外一个物体产生作用。这种超距作用的速度是无限大，而这违反了光速最大原理。然而，事实并不是这样。比方说，人们穿袜子一般都是两只一样的³⁵，那么，当我们知道了其中一只袜子的颜色时，我们会立马知道另外一只的颜色。同样，我们知道了一只的号码，也就知道了另一只的号码。在两只袜子之间不需要任何的

³⁴ 是的！物理学的进步往往就是从一些不起眼的区别开始的。一点点的新东西往往证明是冰山的一角。

³⁵ 那种故意穿不一样的情况除外。

信息传递。归根结底，关联描述的不是因果现象，因和果有时间先后，从因到果之间需要物理的过程，这个过程会占用时间。然而关联着的双方之间不是因果关系，因而，纠缠和超距作用没有任何关系³⁶。

比袜子更为高级一点的理解是这样的。设想有两个球，我们把它们球面上的点进行编号然后一一对应。接下来在某种作用之下，这两个球一同运动起来，它们的运动要保持一致，也就是说，如果我知道其中一个球上的某一点的位置，那么，我就可以推断另一个球上的相应的点的位置，这种一致性就是相干性，这种状态也就是纠缠态。我们可以把相干性想象为一个连杆，它保持着这二者的共同运动。这两个球就好比人的两只眼睛³⁷。如果不是故意捣鬼或者有疾病的话，在神经的控制下，两眼的运动会是同步的。现在，如果我们进行观测，比如左眼注视在某个地方，那么我们可以肯定地说右眼也停在了相应的点上。

我们也可以用这个例子来描述经典的关联，只是需要把球换成袜子，或者扑克牌、骰子。对于量子 and 经典关联

³⁶ 遥想当年我的物理老师还有各种教科书都是用这个噱头来迷惑我们学生，实在是值得玩味的一件事情。

³⁷ 这似乎不适用于某些动物，比如变色龙。

的区别，你也许已经品出点端倪来了。骰子具有有限个面，而球上有无限多个点，骰子的面与面之间的关联、球的点与点之间的关联自然是有大小的区分的。在量子论中，比较严格的说法是，量子态分布在球上³⁸，而经典态只能是有限个点，或者构成球内规则的多面体形状，比如四面体、正方体等。

我们还可以从“知人知面不知心”这句话中体会纠缠的涵义。人与人之间心灵的交往要比粗浅的相识要更为深刻。行为是复杂的思维的粗浅表现，就好比经典现象是复杂的量子现象的粗浅表现一样。由于考虑了相干性，量子论比经典理论对物体状态的描述更为完备，因而量子关联比经典关联更强也是情理之中的。对经典关联习以为常的物理学家们刚发现这个事实的时候，他们感到惊奇和不解，经常会把纠缠描绘的天花乱坠。然而，正如上面的例子所表明的，我们完全可以用日常思维来理解，但是关键在于正确地应用常识，找到合适的例子。生活就是一本百科全书，科学家和哲学家能说的，生活中都是有的。而科学的力量在于，将智慧变成知识，加以数学化和技术化，然后进一步改进我们的生活。

不过，我们似乎还不能用常识来理解隐形传态现象。然而，这并不能难倒细心的读者！经济学专业的人士可能已经

³⁸ 当然不仅仅是三维的球体，还可以是更高维度空间中的结构。

发觉了，其实在银行汇款就是一种隐形传态。当我们需要把钱汇给另外一个人或汇到另外一个地方，我们先要把钱给本地的银行，然后银行通过它们的网络联系到目的地银行，最后把相同价值的钱取出来。正如量子态一样，钱也是不能复制的。如果是复制，那就是假钱，而中国银行的印钞机不是在进行复制工作，而是在创造，是在创造新的钱。把钱存入银行时，这些钱其实就归银行所有了。而银行是把钱的价值传送到了目的地银行，最后这个价值又在目的地银行变现为新的钱，比方说美元。在整个过程中，钞票本身并没有移动，而它的价值被银行系统传送了出去。银行系统之间的协议就好比纠缠，它保证钞票的价值不发生变化，当然，除了手续费和汇率差价之外。

在量子信息中也是一样，有一部分信息不可避免地传输中消耗了。所以说，钱是一个伟大的发明。而现在，物理学家有了量子这种新的“钞票”³⁹，全世界的物理学家们都争相来制备量子态，进行各种量子实验。然而，在狂欢的同时，也有隐忧。正如货币可以贬值一样，物理学家需要掌握量子的奥秘，这样才能放心地去应用它。

³⁹ 量子物理学家 S. Wiesner 早在 1970 年左右就提出了用量子态作为量子钞票的想法，然而直到早些年才在量子信息科学中得到研究。

作为种种量子性质的基础，相干性还没有真正得到理解，就好比牛顿发现的引力一样。就算是在当代，我们对于引力也没有一个完全的理解。究竟到何时才能理解相干性，这就不得而知了。我们这个时代对于相干性的理解也不一定就是正确的。麦克斯韦是电磁学的泰斗，但是他自己对电磁场有奇怪的理解。他曾经用齿轮和弹簧等把电磁场描绘成一个复杂的机械系统。然而，今天的我们不需要用铁锈味这么重的图像来描述电磁场。开尔文却将电磁场理解为一种流体，一种高级的复杂的以太流体。更进一步，他将原子理解为这种流体中的涡旋，不同种类的涡旋可以用不同的扭结来描述，对应着不同的原子。开尔文是热力学的奠基人，绝对温度的单位就是他的名字，也许因此，他倾向于用气体或者流体的角度来理解物质的运动⁴⁰。然而，我们现在知道，电



⁴⁰ 然而，开尔文的设想并不是完全错误的。在一些奇特的量子材料中，一些激发可以以涡旋的形式存在，并且可以认为是某种粒子或者原子。

磁场和原子都需要用量子论来描述，原子里面还有其他的基本粒子，对于它们的性质，我们不需要流体的概念，而是量子论的相干性。

第三节 阴阳

本书的两个关键词，一个是量子，一个是阴阳。我们上面介绍了量子的关键性质—相干性，而阴阳的主要性质，其实也是相干性。打通量子论和阴阳论，进而打通西方和东方的科学文化的关系，是本书的一个主要目的。为什么可以这样做？我们在下一章再分析，这里且看我怎么把它们联系起来。我所关注的阴阳论，主要包括阴阳、八卦和五行这几个关键概念。

阴阳是我们再熟悉不过的一个词汇了。世界中存在“阴”与“阳”两类事物及其属性，比如天为阳，地为阴，雄为阳，雌为阴。这个概念来源于《周易》。《周易》的核心概念是“易”，就是变化、演绎的含义。“易以分阴阳”，周易把世界描述成一个有秩序的运动变化的整体，天下万物具有各自不同的属性，在天地之间、阴阳二气的支配下，相互作用。

《老子》发展了这种辩证思想，“阴阳冲气以为和”⁴¹，“阴阳合二为一”，阴阳二气的相互作用就构成了自然界中的种种变化，比如四时的更替，生命的成长与衰老。

阴阳的科学内涵，首先来自于二进制，也就是用一串0和1来表示所有的数⁴²。在西方，二进制是莱布尼茨发展的，然而他是受了阴阳学说的影响的。他也很欣赏中国的传统哲学思想。一个比特（bit）可以为0或1，阴阳就是一个比特，阴可以对应0，阳可以对应1。八卦来自于三个比特，64卦则来自于六个比特。《周易》的八卦对中国几千年的文明有深远的影响，被运用到节气、风水、命理等等方面。然而，卦学是易的应用，正因为是应用，因而它的正确性是有限制的。易学传统中的象数学虽在后世有一定的传承，但是占卜学的种种积弊让易学的发展受到了打击。

阴阳之外，还有“五行”。《周易》中并没有五行，阴阳一开始是与八卦并称。“阴阳五行”并称是后人的发展。五行的思想由来已久，在汉代大儒董仲舒的体系中发扬光大；然而汉代以后就逐渐没落，没有被用来构建世界图景。如果把阴阳看作是世界观，八卦或五行就可以看作是方法论了。

⁴¹ 这是气论的发端。

⁴² 某些奇葩的数，比如圆周率，只能近似地表示。

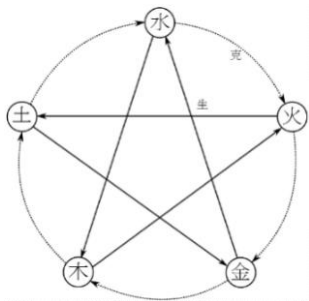
五行代表着中国古人的另外一种思考方式。自然界中有五种物质材料：金木土水火，天上有五星来对应五材。同时，五行有另外一种含义，从物质变成了属性，即事物运动变化的性质，因而更为抽象，也因此有更大的应用与发挥空间。与此相应，产生了“五气”的思想，这与阴阳二气是继承与发展的关系，因而阴阳与五行可以并称。在战国以及汉代，五行说大发展，逐渐替代了八卦在易学中的地位。成书于战国的《黄帝内经》是阴阳五行学说的成功应用，它建立了医学的理论体系，医学也成为了中国传统科学的主要内容。

下面我们要讨论阴阳论和量子论的关系。首先，我们的第一个重要判断是，阴阳不仅仅是比特，确切地说是“量子比特”⁴³。原因在于，阴与阳，阴中有阳，阳中有阴，二者同出于太极而异名。阴阳冲气以为和，合一为太极。太极，静为阴，动为阳，一动一静，一阴一阳。动极生静，静极生动，阳极生阴，阴极生阳。阴与阳的这种微妙关系，即可以用相干性来描述，太极即包涵了阴与阳之间的相干性。因此，阴与阳不仅仅是比特，将阴阳八卦简单理解为二进制是不完全的。一个阴阳可以用一个量子比特来描述。这里，我们看到了阴阳中的相干性，这当然也就有了叠加。

⁴³ 0 和1 可以叠加在一起，比如 $a0+b1$ ， a 和 b 是比重。

那么，量子论中的其他性质呢？我们再来看上面讨论过的叠加和纠缠，这体现在了八卦和64卦的应用中。八卦，包括乾、坤、坎、离、震、巽、艮、兑，是由三个阴阳产生的。每一卦由阴爻“—”和阳爻“—”构成，每一个卦象分内外卦（上半部与下半部），上下各有其义，二者综合得出一卦的意义。算卦的时候，有一个非常重要的方法，即“错综复杂”，也就是错卦、综卦、复卦和杂卦。八卦之间不是相互独立的，而是紧密地联系在一起的。更为重要的是，八卦之间是“我中有你，你中有我”的关系；这来源于阴阳合一。对于一个卦的解释，不能单单依照这一个卦，而是应该按照错综复杂的方法，将其演变为其他的一些卦（比如与它相对的错卦），然后按照演变得到的一组卦来解释。这种方法可以看作是叠加的方法，八卦之间可以相互叠加而产生八卦这八个个体之外的意蕴。我们之前提到了，在多个体系的时候，叠加态就是纠缠态，“纠缠”这个名字只是为了突出不同物体之间的关系。64卦对应于六个阴阳，因而可以产生更多的卦象，每一个卦象就对应一种量子态。如果没有了相干性，也就没有叠加和纠缠，八卦就变成了孤立的八种卦象，64卦也仅仅对应有限的卦象，因而对现实世界的解释力就会大大降低。所以，八卦的使用原理为阴阳论和量子论之间的紧密联系提供了一个重要的证据。

还有一个重要的性质，语境性，体现在了五行当中。
关于量子语境性，我们还没有提到，下面一并解释。我们先来看最初的五行图，如下图所示



这是五行生克图。“生”一般理解为促进，“克”一般理解为抑制。最早的五行论主要论述的是五行相生的关系，五行相克的关系是后来（可能是战国）才发展出来的⁴⁴。在汉代董仲舒的理论体系中，五行和五材⁴⁵已经被区别对待，五行和阴阳的关系也得到了发展。一个明显的问题是，为什么是五呢？这只能说是巧合，因为如果是四，我们也可以问同样的问题。

⁴⁴ 有兴趣的读者可以去查阅相关资料，这里就不引用了。

⁴⁵ 即五种物质，金（硬固体）、木（软固体）、水（液体）、土（粉末体）、火（等离子体）。

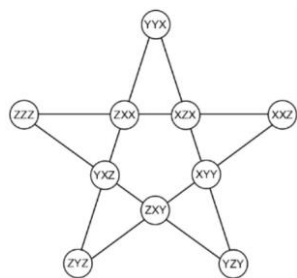
五行图中的箭头代表逻辑先后，也可以代表时间先后，但这不说明五行论中有因果逻辑。相反，五行论在中医中得到了发展，五行图如下左图



图中没有了箭头，或者说箭头变成了双向的；即相生是共生，没有逻辑先后，相克是相互克制，没有主次关系。比如，水火是相克，土火是相互共存。五行的关系，在中医中被发展成了“生克乘侮”，乘和侮就表明了箭头的双向性。进而，五行图中表明的逻辑就不是因果逻辑了，而是一种辩证逻辑、关联逻辑，它表明的是事物之间复杂的关系，而不是简单的因果先后的关系。另外，也有不少研究认为，金和木的位置需要调换一下，笔者认为也是合理的（右图）。金，代表坚硬的东西，比如金属和石头。土是松散的、有生命力的。金和土是相克的，因为有金（土）的地方就不能有土（金）。土和木应该是共生的关系，土可以孕育植物，而木也可以保护土来防止水土流失

（水和土相克）。火和木应该是相克的，火和木相遇就会产生灾难性的后果，使二者都不能得以保全。火和金应该是共生的关系，金与金相互摩擦可以生火，火可以诱导化学反应导致金属或其他固体性质的变化。

虽然如此，这种玄学化的五行论是玄之又玄，有合理的地方，但似乎更多的是牵强附会的地方。那么，为了将五行论科学化，我们需要忘掉五行的名字，将其抽象化。下面我们要用量子论来诠释这个五行图了。我们发现，五行图正好和下图可以对应



这种图像在量子论中被称为“莫名星图”（Mermin-star）⁴⁶。在量子论中不单单有这个星图，还有其他类似的图，有正方形

⁴⁶ N. D. Mermin 是美国的物理学家，长相酷似费曼，研究风格也相像。

的，也有其他不规则的图，都称为莫名图。下面我们来解释这个星图。它对应的是三个量子比特的物理量的性质，所以图中 X, Y, Z 在每个圈中都是三个。假设有三个东西，每个东西又有三种物理量 (X, Y, Z) ，因而总共有27个物理量（包括图中的10个）。图中这10个物理量，两两之间只有两种关系：对易和反对易。（反）对易表示两个物理量之间是（不）兼容的，（不）可以共存的。我们可以把对易理解为共生，反对易理解为相克。那么图中的10个物理量的具体关系是什么样的呢？具体的数学方法这里就不介绍了，但结论是，图中五条直线上的量都是分别共生的，而每两个相邻的顶点之间都是相克的。每个物理量都可以用一个矩阵来表示，而由于叠加性，每个矩阵是包含有不同的性质的，这对应于五行中每一行都具有多重性质。

我们可以看到，莫名图可以和五行图对应起来，五行对应着五个顶点。而里面的五个量其实也可以看作是另外一组五行，直线相连的量是对易的，没有线连接的量是两两反对易的。另外，我们还可以看出五行和八卦的一个巧妙的联系，两者都需要三个阴阳（量子比特），三个阴阳才会有八卦，而三个阴阳才会出现五星图。

这种莫名图有什么意义呢？在量子论中，这种图是用来阐释量子体系的性质的。我们说量子物理量具有多重性质，

这可以理解为它的性质具有不确定性。然而，在传统的力学中，一个量要有确定的性质，因而不能有多重性质。比如，一个物体只有一个固定的质量，或者，一个人只能有一个名字。在莫名星图中，每条线上的四个量相乘等于-1。假设认为每个量是1或者-1，那么如果给这10个量赋值，最后就会出现矛盾。这表明，量子物理量具有多重性质，在不同的情况下会表现出不同的性质，这被称为语境性。以上的讨论说明五行就具有这种语境性。

到此为止，我们不得不欣慰地说，阴阳论和量子论是相通的。玻尔曾用阴阳鱼来诠释量子论，比如他的互补原理，其描述的就是物理量之间的辩证关系。当然，这不是说古人在几千年前就洞悉了高深的科学道理，也不是说阴阳论一定能够用量子论来解释，玻尔对阴阳概念的欣赏估计也只停留在表面，即使是有哲学的思考，但也没有实质的科学的考察。



那么，我们的这种比较研究能说明什么呢？如果我们的立论成立，那么我们就可以深入地理解阴阳论的特性和局限性。比如，用八卦甚至64卦来解释万物当然是不行的。五行论也是有局限的，我们提到，除了星图，还有其他各种各样的莫名图，因而也可以有其他种种行论⁴⁸。古代数学还不够发达，古人往往对一些数学规则保有敬畏之心，平添一丝神秘感。在中国有河图洛书，在西方有毕达哥拉斯，在中东和古印度都有对代数的崇拜。在现代社会，我们不会再去膜拜某些数学规则，然而数学及其量化的应用对现代社会的重要性是不言而喻的。

另外，阴阳其实不存在于我们熟悉的三维空间当中，而是存在于另外的比较抽象的空间中⁴⁷。自然界中的现象不一定是直接发生在三维空间当中的，相反，大部分都是发生在更为高级和复杂一些的抽象的空间中的。物理学中就存在着很多不同的空间，数学上各种空间结构就更多了，复杂的生命和心理现象必定需要更为复杂的空间来描述。三维空间⁴⁸中的物

⁴⁷ 数学上称为希尔伯特空间（Hilbert space）。希尔伯特是19世纪伟大的数学家。

⁴⁸ 听说过“弦论”的或者看过刘慈欣《三体》的读者马上可以联想到11维，但是这个11维的空间依然是物质空间，不是希尔伯特空间。

体是其他高维空间中的现象的载体。量子论本身也是有局限性的，不是终极理论。然而，这里我们的目的是为了澄清阴阳论中的科技思想，将其中的道德、人生、政治等等涉及人伦的部分剥离出去，以期澄清我们中国传统科技思想的源头活水。

第四节 信息

为了更深入地认识量子的本质，我们来看一下最前沿的现代量子物理研究，即量子信息科学（quantum information science）。从信息的角度，也许能够更好地认识量子。

我们知道，信息的基本单元是比特，只有0和1两种状态。可以用0和1的比特串表示任意的数及其运算，而这一简单的事实是在20世纪初期才建立起来的，并造就了我们所处的信息时代。为了认识未来量子信息技术的巨大潜力，我们不得不回顾一下信息科学的发展历史。相比于物理学，这是一门年轻的学科。

信息处理的两大任务是信息的传输和可控演化，也就是通讯和计算。在一战的时候，已经有了无线电通讯，而这是基于19世纪成熟的电磁学，但这不是真正意义上（即数字化）的通讯。好比算盘之于计算机，算盘具有算数

(calculation) 功能，但不能认为是计算机。计算的概念要比算数深刻很多。也许巴贝奇的差分机是现代计算机的最早雏形，但严肃地来定义计算机是图灵 (A. Turing) 在1936年实现的，这是基于哥德尔的不完全性定理⁴⁹。Computer此英文词原本是指操作机器的人，自图灵之后逐渐转变为我们熟知的计算机的涵义。图灵证明了存在所谓的普适计算机，它可以有效实现（即模拟）其他计算机上的任务。图灵的证明定义了计算和有效性这两大概念，这是当代计算复杂性理论的基础，其重要性类比于牛顿三大定律之于物理学。

十年以后，香农于1948年建立了信息的通讯理论，其核心思想证明，通过编码和解码，信息可以被无误差地精准传输。这借鉴了计算的二进制思想，即用比特来表示任意的信息源。这里有个值得玩味的问题：为什么通讯理论建立得比计算理论晚？计算的目的是，设计快速的算法，将问题的输入快速地演化为输出，输入和输出都是以比特串的形式，然而这不涉及信息的度量以及编码。在通讯中，虽然不需要执行算法，然而由于传输环境的影响，比如恶劣天气、复杂地形、各种突发情况等，需要对信息进行编码，以使得信息准确无误地传输。

⁴⁹ 计算机的历史，参考《计算机简史》，M. Campbell-Kelly 等著，人民邮电出版社。

编码理论是独立于计算复杂性理论的，然而需要以可计算性和有效性为基础，即编码和解码必须是高效的。这可以部分地回答我们上面提出的问题，然而历史的发展是否可以有其他版本，这只能留给读者去玩味了⁵⁰。

图灵和香农的工作奠定了信息科学的理论基础。然而对计算机真正的促进来自于战争，例如破解密码、解方程等。二战期间，美国启动了曼哈顿计划来研制原子弹，冯诺依曼、费曼等人都参与了其中。令这些物理学家和数学家头疼的是，建造过程涉及很多计算问题，比如爆炸模拟、链式反应，或者解偏微分方程，这耗费很多人力和时间。1945年，第一颗原子弹爆炸成功，虽然并没有计算机多大的帮助。此时的物理学家对原子弹的原理已经没有多大兴趣，反而对计算机产生了浓厚的兴趣。冯诺依曼⁵¹把计算机（即电脑）类比于人脑，认为它必须有记忆，即存储单元，能将程序记录下来，并能被复制、读取和执行，而程序的执行由控制单元来控制。如果说图灵建立的是计算理论，那么真正的计算机理论（而不是计算）是由冯诺依曼这位物理学家建立的。1946年诞生了第一台电子计算机，冯诺依曼对其亦有理论贡献，然而其存储介质是打孔卡

⁵⁰ 参见《信息简史》，J. Gleick著，人民邮电出版社。

⁵¹ 参见其著作《计算机与人脑》。

片。接下来的发展是技术的不断更新换代，晶体管、磁芯，到半导体、集成电路，以及互联网，计算机和信息科学的发展构成了一部生动的演化史。

费曼虽然也参与了曼哈顿计划，但他并没有转行，而是继续发展量子场论和电动力学。然而，在他生命的最后几年里，他对量子计算做出了开创性的贡献。1985年左右，费曼认识到，用计算机来模拟量子物理是困难的，原因在于，量子系统的参量数目随着系统大小是指数式增长的，而非量子体系只是线性或多项式增长。因此，量子信息科学的发展是必然的。

费曼的预见是深刻的。量子信息技术之所以是历史的必然，起码有两方面原因。一方面，比特的物理单元已经到了纳米级别，很快就到量子级别，量子效应会变得明显，摩尔定律将会遇到量子力学。另一方面，现在的计算机是基于经典物理，而量子物理告诉我们，世界本质上是量子的。因而，我们只能把计算和通讯理论建立在量子物理的基础上。我们将现有的计算和通讯称为经典的。

我们已经表明，量子体系的核心性质在于相干和纠缠。量子比特可以处于0和1的叠加态，而多个量子比特则可以纠缠态，即比特串的复杂的叠加。这种叠加被计算机学家看作是一种并行性，可以用于加速算法。1994年，计算机学家 P. Shor 发现大数分解算法，可以用来破解一种流行的加密方

式，这一重大发现促进了量子信息科学的快速发展。毫不夸张地说，量子信息技术是下一代技术的核心，其重要性不亚于原子弹，但应用范围更为广泛。

相对于经典计算机的发展而言，量子计算和通讯的发展尚属年轻。确切地说，还有很多核心问题并未解决。在计算方面，目前还没有一种稳定的量子比特。虽然有相干性，但是它很不稳定，在环境的干扰下，非常容易发生退相干，导致量子比特的寿命很短。加拿大的D-Wave公司，建立于2000年左右，虽然有几千个超导量子比特，但是其噪声太大，控制受限，因而性能很差。目前最好的是Google和IBM等公司的超导量子比特，可以实现100左右的数量，每个比特都是可控的。然而，这还不是真正意义上的计算机。在冯诺依曼的架构中，这只是一个CPU而已，即中央处理器。人们还没有实现量子的存储器和量子的控制器。并且，为了构建稳定的量子比特，人们需要实现量子纠错编码，即纠正退相干，然而这需要更多的量子比特和操作；或者转而去寻找自身稳定的量子比特，然而目前这被证明是行不通的。正如经典计算机的制造一样，人们需要花时间去不断打磨出真正的量子计算机。

在通讯方面，这极大地依赖于量子光学，因为似乎只有光子才能飞来飞去，完成通讯任务。1960年代激光器的发明催生了量子光学。随后，科学家就研究了如何用光子进行通

讯。1984年，美加科学家发现一种保密通讯方案，其保密性源于量子的不确定性原理。把传输的比特用量子态来表示，如果有窃听者，他必然对量子态进行测量，而测量则不可避免地引起信息的破坏，进而被发现。这一重大发现本可以被军方利用，然而由于技术上的限制，包括激光的性能、传输过程的噪声、光子探测，以及编码方案的缺失，导致至今尚无法应用。与经典通讯和量子计算的发展相比，量子通讯的发展并不顺利。其根本原因并不是因为光子性能不好，而是因为香农理论的量子版本还未确立。虽然发端于1984年甚至更早，量子信息理论仍然面临着核心的困难，这其中包括信道容量的不可加性，以及量子容量与经典容量的可比性，而量子通讯的优势似乎只集中在保密性这一点上。在量子纠错或安全编码无法实现之前，这个优势是无法实现的。

自1980年代以来，经过20年左右的酝酿，以及20年左右的发展，我们尚处于量子信息技术的前夜。虽然量子信息科学的发展是必然的，但是也会是曲折的。人们尚需要更优异的量子比特，更优异的量子编码方式，更快的量子算法，更完备的模型来描述量子计算与通讯系统。这些挑战不应该让我们感到悲观，相反，它恰恰说明，量子信息科学代表未来技术发展的方向。

于此同时，量子信息科学的发展深化了我们对量子 and

信息的认识，并被应用到了量子物理的很多其他分支当中，包括凝聚态物理、量子化学，甚至量子引力。信息是用物理学中的熵来描述，与我们日常中所用的信息一词的内涵不完全一致。信息源是用随机变量来描述，表示信源可以按照概率分布处于不同的状态。一个量子态作为信息源，虽然是确定的态，但是测量会导致其按照概率分布投影到不同的态。量子态退相干之后，会变为随机变量。因而，我们可以将量子信息看作对信息的扩展。正如我们反复强调的，相干性是量子的本质，量子信息是基于相干性的信息。

我们已经领略到了信息技术的魅力，现在是所谓的信息时代。很难设想未来量子信息时代是什么样子。至少目前可以预见的包括对制药的影响、对地震、天气等复杂现象的预测，探测技术的提高进而用于复杂环境中的探测，包括已经实现的对引力波的探测等。这里有一个问题值得专门探讨，即是否可以实现宏观的量子相干性。宏观，大致是指肉眼可见。目前，已经有两种宏观的相干系统了：激光和超导。在激光中，大量的光子可以处于同样的态，这提高了其相干性。在超导中，大量的电子两两结合，都配对成为同样的态。在电路中，超导的电阻几乎为零，这会极大地降低能耗。超导科学家的奋斗目标是提高超导体的工作温度到室温，因为现在的温度仅比绝对零度高一点点。在物理学中，还有一类相干的体系被称为

玻色-爱因斯坦凝聚态（BEC）。1995年，物理学家通过激光冷却技术将大量原子制备成了这种状态，其中所有原子处于相同的状态。它可以被用于存储和探测，然而它的工作温度极低，并且很容易退相干，这限制了它的应用。

一个绕不开的话题是大脑，因为彭罗斯似乎认为大脑的状态是量子的⁵²。冯诺依曼的计算机模型就是类比大脑。在当代，机器学习和人工智能领域正是受到了神经元的网络结构的启发。量子的神经网络甚至量子人工智能已经开始被人们研究，但是并未有成熟的结果。我们感兴趣的是，意识是否需要量子理论来描述。意识，相对于地震、天气等，被认为是更复杂的对象。大脑作为一种活性物质，是软物质物理研究的对象，然而目前一般根据电磁学、热力学和生化学来描述大脑的一些行为，远未达到描述意识的层次。并且，由于大脑的物质成分复杂，不同组分的状态很可能需要不同的状态来描述。在物理学中，研究者们尚不能精确描述二维或三维的量子系统的性质，即使有了量子计算机的帮助，对大脑的精确研究仍然会非常困难。根据目前的理解，大脑的高温很可能会引起退相干。相反，如果是相干的，那么其状态将是目前人们尚不了解的某种宏观量子态，这需要经过严格的科学发展才能证明。

⁵² 参见其著作《皇帝新脑》。

对于量子信息技术包括量子人工智能的猜想，大概率来说，我们现在能够猜到的，应该都不是正确的。历史的发展总是出其不意，喜欢和我们捉迷藏。作为物理学工作者，我们的眼光也是有限的。信息论的基础不是物理学家建立的，而是数学家或工程师。未来是由整个科学共同体甚至整个社会共同决定的。然而，我们可以确信的是，量子信息技术将在不久的将来广泛地影响人类的生活。

我们粗浅的科学考察到此为止。我们无非只是表明了，量子论作为现代物理学的最完备的理论，其道理是非常简明的。接下来，我们转而用更多人文的或哲学的词汇来讨论量子论所彰显的世界观，为我们所要探讨的科学文化做好铺垫。

阴阳篇

题记

在上一节我们把阴阳这个概念放到了量子论的框架中，这也许会有点断章取义。那么，为了更深入地去理解它们，以及之后要探讨的科学文化，我们需要透过现象看本质，在更深的层次上来看问题。在这个层次上，即哲学的层次，概念的内涵会变得更清晰起来，同时突破各种框框的局限。然而，哲学这个字眼不太招人喜欢，估计是因为哲学教科书不够生动，研究哲学的哲学家们一般都比较穷困潦倒，哲学似乎是无用之学。

哲学，是爱智慧，爱真理，爱真善美。哲学关注的是生活的真谛，而不是生活本身。哲学，种种哲学体系，并不代表真理，而是讨论真理的一种纯粹的直接的方式。可以说，哲学家句句是真理，同时句句也是谬误。好的哲学体系应该是敞亮的大道，而不是闭塞的城堡。不要把哲学看得那么高尚，哲学其实和常识不远，我们都生活在常识之中。哲学追求常识中的智慧，在这种追求中，我们便能得到超越当下的常识、知识和智慧。用您知道的一句话来说，哲学也就是不仅能知其然，还能知其所以然，还有其所应然。

第三章 量子的智慧



阴阳的智慧，穿透几千年的时空，与量子相互纠缠在一起。

第一节 诠释

在量子物理发展的同时，对它的诠释和哲学思考也在默默进行着。量子哲学其实不是一个严格的概念，哲学中并没有一个分支称作这个名字。它其实代表“有关量子力学的一些哲学讨论”，包括量子力学的基础问题、量子论涉及到的基本自然规律、物理学基本概念，以及广泛的量子哲学意义。物理学家们之所以讨论量子哲学，是因为它的数学形式看起来非常奇怪，然而它又能准确地预测实验和微观世界的奇怪特性，使人们不得不思考为什么微观与宏观世界不一样，或者到底有没有不同。

如今量子物理已经发展一个世纪，我们才能对刚开始的时候的发展有更清晰的认识。的确，新事物在刚诞生时，一般都是犹抱琵琶半遮面，甚至它的发现者也未必有精准的认识，这里充满着惊讶、拒绝、疑虑，当然还有兴奋。我们即将开始的走马观花式的考察，将说明一个概念和理论从诞生到成熟是多么复杂曲折。

对量子论的疑惑，首当其冲的就是“波函数”这个概

念。波函数是薛定谔提出来的⁵³，粒子的运动即波函数的变化。他设想粒子是个波的样子，比如电子是弥散的一团带电的东西，这也是波函数名称的来源。德布罗意和爱因斯坦都同意这种观点⁵⁴。这种观点容易解释上面提到的双缝干涉实验，以及其它现象。比如，实验发现，原子中的电子不是一个一个点，而是一团弥散开的东西，即电子云⁵⁵。然而，迅速发展起来的是海森伯、玻恩等人的“矩阵力学”⁵⁶，他们没有给波函数一个形象的物理解释，而是认为波函数只是个数学量，真正具有物理意义的是波函数的平方，它代表物体处于一个状态的概率。比如，一个电子隧穿的概率可以用波函数的平方来计算。并且，真实存在的是电子，而波函数并不是什么实在的东西。这种几率解释遇到了爱因斯坦的强烈反对。一个表现就

⁵³ 薛定谔这个人值得多了解一下，非常怪异，有点颓，也有点风流。笔者认识他的一个外孙，这个人也很怪异，如今在做量子计算研究。

⁵⁴ 但是，波函数其实与“波”没有任何关系，称之为“量子态”更为妥当。

⁵⁵ 然而，现在我们知道，电子云的现象并不能说明电子就是波的样子而不是粒子，因为电子云也有可能是因为电子在高速运动，实验的精度不足以捕捉到运动着的电子。

⁵⁶ 电影《黑客帝国》的英文名是“Matrix”（矩阵），也许和矩阵力学有某种呼应的关系。

是，玻恩在爱因斯坦之后很久才由于这项工作获得了诺贝尔奖。爱因斯坦信奉因果律、必然性，相反，玻恩对他自己的诠释深信不疑，写了很多著作来发扬他的概率哲学。爱因斯坦一生对量子论保持怀疑，然而也不时地有所贡献，实在是很矛盾的事情。

同玻恩一样，更为年轻的海森伯没有古老的思想的包袱，他致力于发展新的想法。他发现，量子态上的物理量有奇怪的性质，现在称为“不确定性”。比如，一个物体的位置与速度，当位置确定时，速度就不能确定，反之亦然。位置与速度是一个矛盾的双方。并且，海森伯认为，当我们不去测量这些物理量时，它们就不存在，是测量导致它们的实现。海森伯同样写了很多书，发展他这种具有唯心⁵⁷倾向的思想⁵⁸。现在看来，由于当时量子力学发展不成熟，加上他们没有深厚的哲学基础，因而他们大多数的讨论都是不太严格的。然而他们孜孜不倦，乐此不疲，他们的痴迷和执着是非常令人敬佩的。

在这一时期（1900-1930），最能抓住量子论要害的

⁵⁷ 唯心，简单来讲，是说世上的东西都是个人心理活动的影像。其对立面是唯物，即世上的东西存在与否不依赖于个人。其实，现在也很难界定唯心和唯物了，我们不应该局限于这种二分法。

⁵⁸ 《物理学和哲学》，海森伯著，范岱年译，商务印书馆。

算是玻尔了。他的思考是建立在接受了量子论之上的。只有首先接受它，才能理解它。他对量子力学的方方面面都进行深入探究，发现量子论是一个自洽的完备的理论。所以，当EPR⁵⁹挑战量子论的完备性时，他迅速地予以批判。他也从其它学科汲取智慧，尤其是当时詹姆士和霍夫丁的心理学与哲学⁶⁰。在心理学中，不同的功能往往会有互补性，比方说听与写，自我性与他在性。玻尔深受启发，他发现量子现象中的粒子与波、位置与速度、能量与时间、对粒子的扰动与能提取的信息等都是互补的双方，因此他提出了互补性的原理。我认为他抓住了要害。互补性，或者对偶性，是具有哲学高度的概念。然而，在1927年他在会议上第一次提出时，当时的物理学家没有太大的兴趣，因为他们的兴趣集中在层出不穷的新数学和新实验上。现实的物理学毕竟主要是一门实验科学。后来，玻尔接触到中国的阴阳哲学，甚是喜欢，他的丹麦族徽的图案就包含了一个阴阳鱼。

⁵⁹ 这里是指爱因斯坦和其他的两个反对者，然而历史证明他们是虚张声势。也是基于对EPR的反对，薛定谔创造了以他的名字命名的猫。

⁶⁰ 詹姆士（William James）是美国的心理学家，霍夫丁（Harald Höffding）是丹麦的心理学家。

物理学家追求批判性⁶¹，不追求什么圣人。美国人尤其不喜欢玻尔的诠释。在战前，人们一般都接受了玻尔的哥本哈根诠释，即所谓的“哥派”，除了以爱因斯坦为首的一小撮人之外。二战后，美国物理学界大发展，量子力学应用到了新的领域，包括凝聚态、天文学、计算机等，因而各种诠释也纷纷至沓来，这是“量分为八”的时期。在这个万花筒中，有致力于概率性的起源的隐变量理论，有玻姆⁶²发展的一种半经典的实体波理论—现在称为玻姆动力学，还有内尔森⁶³发展的随机性理论，它将波函数方程摇身一变为随机运动。比较惊人的是德维特⁶⁴发展的多宇宙诠释，它认为量子叠加是同时存在的不同现实的叠加，应用到宇宙学中，它认为同时存在着不同的平行宇宙，比如，我们梦中的事情其实是真实存在于另外一个世界的，这成了很多科幻片的题材。

这些诠释在很多方面不同于哥派，在数学形式上也不尽相同，但是并没有挑战正统理论的地位。如果把这些50、60

⁶¹ 当然不是冷嘲热讽、骂街式的斗嘴，而是理智的、有证据的论证。

⁶² 笔者个人非常崇拜玻姆(D. Bohm)，然而他一直处于美国主流物理学界的边缘。玻姆热衷于哲学、文化、政治，还曾被美国政府封杀过。

⁶³ 内尔森(E. Nelson)是美国数学家。

⁶⁴ 德维特(B. Dewitt)是美国量子引力物理学家。

年代的发展比作一场小风雨的话，那么70、80年代之后的发展就是雨后春笋，甚至是野草丛生，“学阀割据”的时代了。由于量子物理进入了成熟期，不同的专家根据自己的专长发展出自己别具一格的诠释。一些哲学家、数学家等由于对量子力学认识的深入，也提出自己的思想。鉴于笔者颇费了一些时间去研究它们，这里报一下它们的“花名”。这里有哲学家范弗拉森的语境(modal)诠释，玻姆新发展的隐秩序(hidden order)的诠释，阿哈罗诺夫的时间反演对称(time symmetric)的诠释，莫名⁶⁷等发展的关系性(relational)诠释，还有一些影响力稍微小一点的，包括量子逻辑(Q-logic)，塌缩(collapse)动力学，一致历史(consistent history)理论，双向作用(transactional)理论，贝叶斯(Bayesian)诠释，还有操作性(operational)诠释，反实在论(counterfactual)诠释，类理论的(categorical)诠释，存在主义(existential)诠释，信息论的(informational)诠释等等⁶⁵，一直到现在，五花八门，层出不穷。然而，它们中的大部分其实与哥本哈根的诠释并不矛盾，它们只是给量子哲学这本大书添加了一些缤纷的注脚。某

⁶⁵ 具体参考文献就不一一引用了。有兴趣的读者，可以到 [arXiv.com](https://arxiv.org) 上搜一下。

些诠释是为了诠释而诠释，故意要标新立异，但其实没有什么真正的内涵。比如存在主义的诠释，它的提出者朱瑞克（Zurek）与其说是科学家，不如说是演艺明星更为确切，他甚至提出过“量子达尔文论”，着实有些入戏太深。

我本人接触过一致历史理论的一个代表人物格里菲斯（Griffiths），那是在温哥华UBC大学的一个量子基础会议上。大会的主题是量子论中的语境性⁶⁶。然而这位70多岁的老人故意唱反调，认为量子论是非语境性的。他的报告当然没有引起什么反响，人们一般认为他是发牢骚而已。会后我向他问了一下一致历史理论的研究，他很热情地给我讲解了一下，特别提出他有一篇文章是把这种方法应用到化学中来的。然而这种诠释几乎已经被人们遗忘了，因为这种方法基本上没有什么独门绝技，人们也就不太重视了。虽然人们大多不同意他的观点，他这种科研精神还是非常宝贵的。然而，在他们的科研精神背后，多少也隐藏着一些对现实的妥协和无奈⁶⁷。

第二节 图景

⁶⁶ 我们在上一章讨论了语境性（contextuality）。

⁶⁷ 教科书中一般只能看到成功的理论，而科学家们曲折的探索之路是看不到的。然而，科学的曲折探索过程是必经之路，不管代价有多大。

人们也许对量子诠释的混乱现象感到沮丧，然而，这并不能威胁到量子论本身，因为其正确性已被无数的实验所验证。相反，这种混乱更多地反映的是人们的浮躁，毕竟科研界有些鱼龙混杂，我们后面还有更多相关讨论。虽然人们对量子论的理解似乎还是一团浆糊，但一些老问题慢慢地被解决了，也很少有人再提起，一些未知的问题也慢慢地清晰起来。科学的发展其实就是这样，好比大浪淘沙，一些概念需要经过很长时间才能被人们充分理解。比如，进化论的主要观点——适者生存，就经历了几十年非常激烈的争论。争论的焦点在于如何定义适应性以及进化是否有一个固定的方向。基因学的发展有力地说明，很多进化来自于基因突变以及环境的不可控的选择，随机性在进化中有很重要的作用⁶⁸。同样，量子论中的一些老问题一个又一个被解决，它的内涵也越来越清晰。

我们知道，在量子论以前，物理学中有开普勒和牛顿的经典力学，玻尔兹曼等发展的热力学，麦克斯韦等发展的电磁学，有洛伦兹的电子论等。量子物理一般被认为是物理学的一个新的分支，它与相对论、统计理论、电磁学等是并行的理论，它主要研究微观粒子的运动，物理学也是这样书写的。然

⁶⁸ 参见《The Selfish Gene》，C. Dawkins.

而，随着时间的发展，我们逐渐意识到，量子物理其实是一种综合性的理论，它能够将目前几乎所有的基础物理学分支⁶⁹综合到一个统一的框架中来。20世纪所产生的相对论、信息论都是量子论的支流。20世纪物理学的发展不仅是一般教科书或纪录片中所描述的那种异军突起、万马奔腾的状况，更是一个新型的更完备更成熟的理论的崛起。

那么，量子论是怎么来描述我们的世界的呢？这需要考察一下它的世界观。与思想体系或哲学体系类似，一个完整的基础物理学理论也是有世界观的，即对这个世界的基本看法。世界观就是对理论的一种升华⁷⁰。其他领域里的基础理论也是如此，比如，经济学里面马克思主义的理论和自由主义的理论对人和资本都是有自己的一套看法，也就是它们的世界观。基因理论和进化论对生命的演化也有不同的描述。每种世界观都有自己的出发点，这个（或一些）出发点其实也是它的假设，如果出发点错了，那么整个世界观大厦就岌岌可危了。

人们一般习惯笼统地说“科学的世界观”，但是细细深究下去，在整个科学里面是存在很多不同的世界观的，它们

⁶⁹ 可能除了广义相对论之外。量子引力学家正在日夜奋斗。

⁷⁰ 潜台词是，理论看不到的，我们也无法察觉。这是有道理的。这不是唯心主义，更不是唯物主义，简单的唯心和唯物的对比是片面的。

甚至会有冲突。这里我们探讨一下物理学里面的世界观。如果按照时间的顺序讲，我们会从牛顿甚至亚里士多德开始，然后一直讨论到量子力学。然而，时间的顺序与逻辑的顺序正好相反，量子论是源头，而其他分支都是支流。

在物理学中，有三大已经建立的世界观。首先，经典力学的因果论的世界观。“力”是它的核心概念，它研究物体运动的轨迹和力的性质。它把世界描述成一个碎片状的样子：世界是单个物体的一个集合，物体存在于时空当中，相互之间不自主地进行着无休止的碰撞⁷¹。这种世界观不太招人喜欢，因为它把世界描述得太单调了。

第二，热力学的统计论的世界观。它把物体分类，然后研究不同类之间的关系以及同一类物体内部的性质。与力学不同，它不研究轨迹和力，相反，它研究大量物体（或者同一物体长时间）的平均的运动性质。世界就是个蒸汽机，每个物体好比一个空气分子，它似乎可以自由地做无规则的运动，但是冥冥之中它的运动是要遵循统计法则的。在这个统计的层次

⁷¹ 简言之，就是一群无头苍蝇。也许从上帝的眼光来看，人类也是一群盲目的苍蝇。

上，世界涌现出了一些宏大目标，比如时间、熵⁷²、自由能⁷³，就好比个人意志与国家意志的关系，这些宏大的意志是不能被个体所改变的。

第三，电磁学的场世界观⁷⁴。它认为世界是一个相干的连续的场，物体之间在本质上都是相互联系着的，它研究不同物体之间的干涉性质。这种世界观发端于19世纪，

但在20世纪又被量子场论所发展。量子场论是量子论的一个分支，它认为，整个世界原本就是一个真空，但是真空不空，它其中蕴藏了各种可能性，整个世界就是从这个真空中诞生的。真空就好比一片大海，而大海孕育了生命，大海就是一个生物圈，所有生物之间都息息相关。

以上这些似乎不难理解，毕竟它们已经融入到了人类的文明发展当中。那么，量子论还能添加些什么呢？量子论虽然发端于对微观粒子的描述，但是，它展现的物质运动的规律具有普遍性。本书认为，量子论有一种新的更为基本和广阔的世界观，它其实统一了上面所讲的三种世界观。主要原因是，

⁷² 它描述世界混乱或有序的样子。

⁷³ 它描述物体能够自在地应用的那部分能量，不能自在应用的那部分被它自己的熵所占有。

⁷⁴ 电磁场中光子的相干性是量子相干性的一种，然而量子论更为丰富。

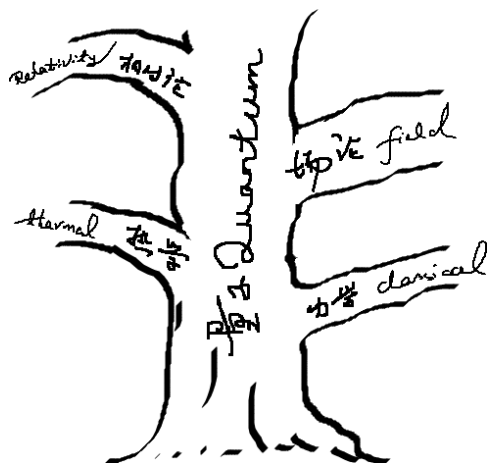
量子论本身统一了经典力学、热力学统计、电磁学、甚至相对论⁷⁵。量子论描述的不是物质，不是物质的结构和元素，也不是物体的运动，相反，它描述的是物体运动的结构。所谓的“物体运动的结构”，就是物理学家们所熟悉的“波函数”，我称之为“潜域”⁷⁶。潜域包含了一个物体运动的所有的可能性。用通俗的语言讲，它是一个事物结构与功能的统一体。用哲学的词汇来讲，它是“心”（mind）和“物”（matter）的统一，是潜能和现实的统一体⁷⁷。量子论的世界观认为，每个物体在能看得见的现实之外，都还有一个潜域，那是它的潜能所能达到的范围。正因为潜域是如此地强大，在实际的科学研究当中，去确定一个物体的潜域是非常困难的事情，有时候直接就是不可能的，这需要以管窥豹的能力。我们在下一节还会详细论述。

⁷⁵ 当然，量子论还没有发展完全，还有很多激动人心的问题有待于在未来去解决。

⁷⁶ 波函数这个名字实在还是比较拗口，也比较误导人。所以，我倾向于用更形象的词汇，目前发现，没有比“潜域”更合适的词了，英文采用 **scope**。

⁷⁷ 潜能和现实是亚里士多德的哲学词汇，深受海森伯的喜爱。

量子论是如何统一了其他物理学的理论呢？简单概括一下。如果只去关注现实而忽略背后的潜域，物理学里面称为取平均值（expectation value），那么它就退化为牛顿的经典力学。物体之间通过潜域所能达到的关联就消失了，世界因而就变成了一个集合体。在量子论里，这是由艾伦菲斯特定理⁷⁸所保证的。第二，如果不能完全得到潜域的性质而只能忽略它的一部分的话，那么它就退化（decohere）为统计力学。潜域所描述的物体之间的本质关系就退化为统计性的定律。最后，电磁学的世界观可以说是量子世界观在大尺



⁷⁸ 我们提到过他，不幸地的是，他是因为生活问题而自杀。

度上的一个近似，物理上称为连续极限（continuous limit）。电磁学的世界观把整个世界看成了一个没有区分的整体，而量子论则把个体的独立性彰显了出来，也就是说，每个个体都有自身的潜域，同时，它们的潜域之间是关联着的。

很多读者现在可能还有个疑问，那么相对论呢？我们前面提到，量子论和相对论是当今物理学家的两大阵营。相对论分为狭义相对论和广义相对论。这里，我们表明，狭义相对论也是量子论的一个分支。量子论的核心概念是相干性，量子论描述了各种各样的相干性，包括光的相干、光和物质之间的相干。有趣的是，狭义相对论描述的是物质和真空之间的相干性（boost coherence）。什么是真空呢？真空一般被理解为我们看不到摸不着也闻不到的东西，或者说，就是什么都没有的东西。然而，量子论表明，真空并不是真的一无所有，它里面有很多细小的微粒或能量泡。我们看待空气，就好比空气分子看待真空一样。当我们奔跑时，会感受到空气的阻碍，那是因为我们排挤了空气。同样，设想一个微小的粒子，比如一个分子或电子，当它在真空中以非常高的速度运动时，就会和真空发生影响，这也就是相干。设想电子是个球形，那么这种相干的影响就是将它变成一个椭球形，在沿着前进的方向上压缩，而在另一个方向上伸展，但电子总的大小不变。这种效应

一般被狭义相对论描述为一种时空效应，比方说尺缩钟慢啊，时空等价啊，听起来与常识格格不入。然而，这其实可以转化为量子论的语言来理解⁷⁹。当物体的速度逼近光速时，真空就会和物体发生相干，影响物体的时空性质，也就是运动的延续性和延展性，以满足光速不变这个限制。也许相干性没有时间变慢听起来那么离奇，但是科学不是科幻，事实就是如此。这里需要强调的是，时间和空间不是什么框框，而是物质运动的性质！相对论描述的时空效应，归根结底是物质运动的效应。由于光速是运动速度的上限，那么，物体在普通速度和接近光速时的性质有所不同，也是合理的。至于光速为什么是运动速度的上限，这似乎还是一个未解之谜⁸⁰。

话说回来，虽然说量子论统一了很多物理理论，这并不是说其他理论都要被淘汰了。相反，对于特定的问题，某些量子效应不起作用时，量子论会自动地退化为各种“有效”理论，比如力学、热力学等。相应地，这些有效理论所彰显的世界观也是依然成立的。一个完整自治的物理理论是对物

⁷⁹ 这里所说的都是有严格的数学表述的，不是空穴来风，但仅限于狭义相对论。

⁸⁰ 光速 c 是物理学中的一个基本常数。物理学中还有几个其他的基本常数，比如最小作用量 h ，电子电荷 e 等，这些常数的起源是个未解之谜。

质运动的一种描述。一个物体可以有不同的运动，一种运动描述可以应用到不同的物体上。比如说，根据力学，一个物体在时空当中是有个轨迹的。然而，根据统计力学，当我们研究大量物体的运动时，这个物体的运动可能被认为是随机的、无规则的。同时，经典力学的描述适用于很多物体，包括星体、汽车、人、甚至电子。力学的中心概念是力，热力学的中心概念是能量，这两个概念都是普适的。为了清楚起见，我们做了个表格。我们根据“个体—之间—总体”这个结构来概括能量、力、和潜域的理论框架。有兴趣的读者也可以试试其他的理论，比如经济学、历史等学科中的一些理论，不出这个窠臼。

	能量	力	潜域
个体	绝对零度不可达到（物体皆有温度）	绝对静止不可达到（物体皆有速度）	绝对自由不可达到（物体皆有限度）
个体运动	熵增定律	牛顿第二定律	薛定谔方程
个体之间	热平衡	作用与反作用	量子关联
总体	能量守恒	牛顿第一定律	几率守恒

量子论的发展已经有一个世纪，它超越了牛顿、康德、达尔文等所代表的时代，因而它的世界观也会深化人类对自然的认识。当然，我们还要谨记，量子论也不是万能的，许多悬而未决的问题，比如与广义相对论的关系、相干性的起源、黑洞的性质等，都是21世纪的科学家们所要探索的。

第三节 潜域

现在我们忘掉历史、忘掉现实，以及量子论中的那些物质成分，甚至它的世界观，仅仅来关注这个理论本身，这样我们才能到达量子哲学的纯粹领地。我们已经提到，量子论其实是一个非常完备、解释力很强的理论，它将各个不同的理论统一到一个框架中来。正因为量子论的重要性，我们必须发展对它的理解，以一种更为简明的形式，发展一种新的自然辩证法，这正是我们尝试要去做。

综观各种不同的诠释，以及其中的困难、悖论等等，很多是由于量子论本身发展的限制所致。早期的一些比如如何理解波函数、量子论的完备性、测量问题，都是由于对量子论本身的认识不足导致的。这里列举量子诠释的几个中心问题。一，量子态（也就是波函数）是什么，二，量子态表现的概率性如何理解，三，量子态与测量的关系，四，量子论与其他理

论的关系。随着纠缠、语境、测量等概念的发展，问题二和三已经得到了解决，问题四我们讨论过了。那么对于问题一，其实各种诠释没有给出一个答案。现在，波函数还是被称为波函数，或者量子态、态矢量，依然没有直接的物理意义。

我们知道量子态的关键性质是相干性。相干性是事物状态之间潜在的联系，它的存在表明一个物体的状态之间的内在关联，也表明不同物体乃至整个世界是一个相互联系的相干的整体。从这个角度，我们可以描述前量子物理的本质：相对论描述了物体在高速运动下存在的相干性，电磁场描述了光子、以及光与物质之间的相干性，统计物理和牛顿的机械力学描述了相干性被忽略或者被平均掉之后的世界。

现在考虑这样一个抽象的问题：我们是如何描述自然界中的事物的呢？首先，物体有不同的形状、结构、组成成分，其次，物体具有运动的性质，运动可以有不同的形式，有不同的能量。物体有基本的组成元素（基本粒子），在此基础上，根据它们之间的相互作用，物体可以有不同的形状。那么物体的运动有没有基本的组成元素呢？这个问题其实物理学中一般没有研究，但是在古希腊，亚氏思考了这个问题。他的结论是：直线运动与圆周运动是最简单的运动，其他的复杂运动都是它们的复合。然而，若是根据他的思想发展出相应的数学形式来，这种复合会是相当复杂的。亚氏依照还原论的精神，

提出了正确的问题，这是非常伟大的。

我们发现，量子态描述的就是物体运动的结构，称为潜域。换一个角度来讲，试想上帝创造万物的时候，他应该创造什么呢？是基本粒子？还是它们之间的相互作用？还是各种不同的结构、状态、有机物、器官等等？什么量最能够完整地描述一个东西呢？根据我们的理解，那就是潜域，它描述了一个事物的“自由”，即“它所能达到的限度”。因而，潜域是对物体的非常完备的描述。同样，可以想像，若想得到一个物体的潜域的完整信息，那几乎是不可能的，我们只能得到近似的描述。

某造物主道之为物，惚兮恍兮

其中有象



此图就是一个玩笑而已：老子所描绘的道可以看作事物的潜域（一团气），而事物本身是道变化而来的器（象），而基督教会再请来一位造物主。

那么，您可能会疑惑：既然得知一个事物的潜域如此困难，潜域的存在怎么会是合理的呢？这个问题浅显易懂，然而这其实涉及到很多的科学理论和深奥的哲学。比如，在哲学

上，这涉及到如何定义“存在物”的问题，时间先后与逻辑先后的问题。这里我们不讨论哲学，因为这个问题可以用现代计算机理论来解释⁸¹。我们首先要说，数学所勾划的抽象的世界和我们所看到的现实的物理世界是不完全相符的。比如，无限大、圆周率都是合理的数学量，然而如果要用现实的东西去实现或直接表示它们，那么会需要无限大的容量或者无限长的时间，这也就是无法实现的。也就是说，我们的物理世界是有限的，能量、质量、体积、时间等都是有限量的，而数学量除了受逻辑的限制之外，并不受时间和空间的限制。

物理与数学之间的“鸿沟”可以用计算复杂性来描述。计算复杂性理论研究的是如何合理地解决某类问题。这里的“合理”就是物理的合理，时间、空间、能量等不能趋于无限大。这个理论发现，世界上大部分的问题都是不能合理地解决的。比如这样一个问题：对于国际象棋，有没有可能存在一套“秘籍”给你，不论对方如何下棋，你总会赢。复杂性理论的答案是，没有可能⁸²。现在的计算机不行，将来要建成的量子计算机也是不行的。反过来想，如果存在这种方法或程序，

⁸¹ 比如哲学中“兔子永远也追不上乌龟”的芝诺悖论问题，就可以用数学中的极限理论来解决。

⁸² 当然，对于一些简单的棋局你会赢的，但不能保证你总是赢。



那简直就是超能力了。同样，要用量子计算机去完整描述任意事物的潜域，也是不可能的，估计只有上帝有这种超能力。

其实，物理与数学的这种差异是合理的。在哲学上，理念世界和现实世界是不符合的，道德世界和人类社会也是不相符的，潜在与实在也是不完全相符的。在大多数时候，现实世界是理念世界的一部分，好比一个鸡蛋，现实是蛋黄部分，而理念是整个鸡蛋，蛋清的部分也是不可或缺的，因为没有蛋清，也就是实在和潜在之间的联系，整个世界也就缺少了张力，缺少了运动的空间，也就是缺少了自由。潜域，是自由的领地。

我们认为，量子论中的量子态正是这样一个量。它的概率性来自于量子态描述了物体的不同的运行，它们分别有一定的可能性（几率）得以实现。因此，这种概率性并不来源于我们对运动状态的无知或忽视。相反，它来源于我们

对运动状态描述的完备性。潜域所具备的基本性质是潜在性与实在性。比如，当物体由状态A变到状态B，那么B就由潜在转化为实在了，A由实在转化为潜在。同时，物体可以处在A与B之间的状态 $aA+bB$ （ a 和 b 代表权重），即叠加态，在这种状态中，A和B同时具有潜在性和实在性。

潜在与实在是亚氏的概念，而且我们中国的传统哲学更了解这对概念。这两个概念不难用常识去理解，但这里的关键是，大自然中的基本粒子也表现出了这种性质，并且可以用数学来描述！正如在古代人们也知道力、能这些概念，但是当物理学和数学定量地描述它们之后，就赋予了它们神奇的力量，世界就因此会发生很大的改变。

最后，我们讨论潜域论的哲学意蕴。一种思想或概念体系能称为哲学，是因为起码它可以提供一套完备自洽的理解世界的方式。我们说，经典力学有哲学，那是牛顿、笛卡尔等等的哲学，甚至也包括爱因斯坦的哲学。它从时间、空间、物质、力的观点来认识世界，世界是一个时空框架中各种物体按照各自的轨迹运行的世界。热力学有哲学，那是克劳修斯、能斯特、普里高津等发展的，它的世界是一个秩序与无秩序矛盾的世界，是趋于最小值的能量与趋于最大值的熵相矛盾的世界。

量子论的哲学是潜域论哲学，它的世界是一个相干的整体，因为世界本身也有一个潜域，它规定着世界的各种可能

性以及它们之间的联系，世界内的各个物体是本质地相联系的，因为不同物体是整个宇宙的不同的可能性，它们可以在近似的情况下被认为是相对独立的。潜域的世界是具有内在的本质统一性的，如果用古希腊哲学家的话，那就是克门尼德的名言：它是整个一块⁸³。但是量子的世界却不像一个铁板一样，因为它同时具有相当的内在的自由度。物体之间的相干性提供这种自由度，它可散可聚，可大可小，可显可隐。潜域的世界不是一个以个人自由为基的世界，而是更突出个体间的本质关联。潜域的世界也不是一个因果论的或目的论的世界，而是在自身的演化中实现自己的可能性。

根据潜域的思想，我们可以推演出一些相容的概念。对于一个事物，不能简单地说是存在先于本质，或者本质先于存在。因为事物本身包含了可能性，这种可能性既包括自身内部的不确定性，又包括外界的影响。事物在运动的过程中可以改变自己的本质，超越自身在某一种情况下的限制，但又进入另一种有限度的状态。也许刻板的存在与本质的概念不能够准确地描述，这也取决于我们如何定义与诠释它们。按照过程哲

⁸³ 《古希腊哲学史纲》，策勒尔著，翁绍军译，山东人民出版社。

学⁸⁴，事物是不断地自我定义的，它不是时空其中的一个点或者一条线，它自身是一个时空整体。

在不同事物之间，它们最基本的性质是对偶。对于事物A和B，其实它们可能是同一个事实的不同方面，就好比粒子的波动性与粒子性，若要对一个事物进行完备的描述，我们需要描述相互对偶的性质或事物。我们在下一章要讨论，对偶性是阴阳的一个基本性质。玻尔的量子哲学基本上是围绕这一点展开的。然而，需要注意的是，量子理论表现的不仅仅是对偶的智慧。

另外一个重要的问题是关于“真实”这个概念。什么是真实的？一个桌子、苹果、月亮是可见的，那1，2，3这些数字是不是真实的呢？如果是真实的，它们都存在于什么地方呢？时间是不是真实的呢？真实性不仅仅是哲学家思考的主题，也是物理学家们思考的主题，也是其他学科经常遇到的问题。梦境是不是真实的？网络赛博空间中的事物是真实的吗？如果宇宙需要存在于一个地方的话，那么宇宙之外的地方又是什么呢？老实说，量子论没有回答真实性的问题，然而，它却给我们提供了新的视角。潜域同时有实在与潜能的对偶性质，这些性质是存在于更高维度的空间当中，也就是我们提到的希

⁸⁴ 怀特海建立了过程哲学，他是罗素的老师。

尔伯特空间，或者称为“信息空间”。而物质和能量，作为这些性质的载体，是存在于我们所看到的三维空间当中。物体和它具有的性质都是真实的，因为它们之间能发生实实在在的真实的作用。真实的不仅仅是那些已经存在的事物，还包括那些潜在的、发生在不同空间中的事物。

从潜域论出发，我们可以理解整体论、关系实在论、非因果论、语境论等等，它们都突出了事物与一个世界背景的不可分割的性质。然而，这对“绝对自由”提出了挑战。绝对自由论认为，一个个体事物的自由是不以其他事物的存在为前提的。与之相对，普通自由论认为，事物是有自由的，但是是以其他事物的存在为前提的；事物的存在互为前提，因而互相定义自由。从潜域论出发，我们说，一个事物在其潜域内可以有绝对自由，但是，其潜域的存在也是依赖于整个世界的。因此，潜域论是不支持绝对自由的，当然也不支持自由的外在性，比如基督教中的恩典的自由。那么在下一章，我们结束这种纯抽象的讨论，把潜域论和量子论放在中国的科学文化框架中来理解。

第四章 传统



传统不是铁板一块，传统是可以解构的。正如吴冠中大师的画表达的一样，点与线这些基本结构可以被重新运用，赋予新的生命。

第一节 阴阳与气论

我们结束对量子的介绍，现在可以开始对传统的科学思想做个考察了。我们已经把阴阳论放在了量子论的框架中审视了一番，目的是用现代的眼光重新审视它。这里，我们进行一个更广泛的讨论。这更具有挑战性，因为传统似乎代表着落后，特别是涉及到阴阳、五行、八卦，甚至是风水、气功、中医，人们往往不能心平气和。我们当代的人可能受港台影视剧的影响，同时也被近代的屈辱历史所影响，对传统的科学往往破罐子破摔，一股脑地否定掉。然而，经过了几十年的经济发展，我们已经开始审慎地看待传统，国内的很多学者已经开始这样做了，特别是在政治、经济、文化等方面。本篇的目的，是要澄清传统科学思想的源头活水，进而思考如何继续发展的问题。为了这个目的，我们首先要放下偏见，来审慎地探讨。

科学，不仅仅是科学理论与科学技术，还包括科学所勾画的世界图景，即世界观。一个科学体系是否完备，要看它有没有自洽的世界观。同时，一个科学体系的特点，主要表现在它的世界观中。相比于人生观，可以说世界观更潜移默化地决定了我们的生活。

那么什么是一个科学理论呢？这个问题是科学哲学中的一个重要主题，这涉及到到底什么算是科学，比如中医、博

物、地理、风水是不是科学。我认为，一个科学理论起码要满足四个条件。

第一，自治性。这要求理论本身不会自相矛盾。这一点也是任何学说、判断等得以自立的前提。这一点看似简单，然而却是最难达到的。我们所提出的四个条件，并没有逻辑先后，而是相辅相成的一个整体。

第二，有界限。这要求理论要针对某些对象，同时某些现象是在理论之外的，不能应用。这一点表明理论是可以证伪的。比如，理论经济学家张五常论述经济学理论时提到，没有界限的理论很可能是空洞的，没有任何预测力⁸⁵。再比如，信仰上帝的人坚信上帝是存在的，然而这个信仰就是不能证伪的，因而上帝是个宗教概念，而不是科学概念或理论。

第三，有解释力。这要求理论的概念应该能和自然现象对应，而不是空洞的。解释世界进而改造世界是人类的主要目的，脱离了世界本身的理论恐怕大多是幻想，不能称为科学理论。

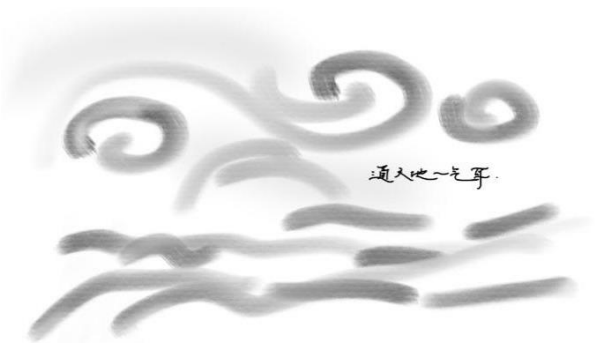
第四，有预测力。这表明人们能在理论的指导下，去发现新的现象或知识。理论的指导必须是可以检验和证伪的。这一点是科学理论最大的用处，是人类不断进步的保障。宗教

⁸⁵ 《经济解释》，张五常著。

倾向于用目的论来解释世界，世间万物之所以如此，并不是因为背后有什么原因，而是因为在未来要达到某种目的。目的论不能用来发现新知或者证伪，因为未来是没有界限的，目的论的一切预言都可以被推到未来。同样，生活经验也不是科学的，即不是因果论的，因为经验习惯于用经验本身来自圆其说，它不倾向于用更本质的东西来做解释，同时它也不诉诸于某种目的。比如，中医药中有很多经验性的药方，很多方子的有效性是大量的生活实践所证明的，而不是药物的药理。

除此之外，科学理论还必须是个开放的体系，也就是说，科学理论都是有出发点或者假设的。假设可以分为两类：一种是明显假设，即构建理论时明确提出的，这规定了理论的界限，这种假设一般是合理的，具有一定的经验基础，但暂时不能被证明。第二种是潜在假设，这是理论暂时没有考虑到的地方，也就是超越了理论的体系之外的。比如，中医理论的明显假设是人与自然环境之间有强的关联，潜在假设是五行理论的正确性。明显假设的错误是可以修复的，但潜在假设的错误是致命的，会导致世界观的变革。潜在假设是理论存在的世界观基础，明显假设是理论形成的出发点。

带着我们的理论，我们再来审视一下以阴阳、五行、气论为核心的传统科学思想。中华文明的是一种农耕文明，以黄帝和炎帝为代表，他们发展了农业、灌溉、养殖等。农耕文



明的特点鲜明地体现在《周易》之中。“易”就是变化、演绎的含义，来自于对大自然运行规律的感悟。“易以分阴阳”、“阴阳合二为一”，“阴阳冲气以为和”。“阴阳”对应黑夜与白天、潮湿与干燥，“八卦”对应时空，包括方位和节气。农作物的生产严格地与四时和气候相联系，因而八卦中有乾天、坤地、坎水、离火、震雷、巽风、艮山、兑泽。自然的秩序让人类学会了这种自然理性，因而创造了占卜来指导人们的行为，进而用于预测吉凶。周易的世界观在《系辞》⁸⁶中得到了进一步的发挥：“天-地-人”的“三才”的世界格局，突出了人在自然界中的独特地位，以及人与天地相合的本性。《周

⁸⁶ 相传为孔子作。《系辞》是多么重要的一本书啊，而如今有多少人读过呢？

易》的思想深刻地影响了儒家与道家，进而渗透到了整个文化中来。

阴阳论主要是关于运动规律的理论。在此之外，还有一套关于物质的理论，那就是“气论”。注意，物质运动规律和物质本身是截然不同的两回事。气论其实是中国传统中比较成熟的科学理论，然而并没有一部代表性的气论学著作，这也是咄咄怪事。这也导致气学没有成为中国文化的一个主流之学。然而，在《周易》《老子》《庄子》

《内经》甚至儒学经典中，都有对气的论述。气论早期的一个重要的发展是东汉时期王充的《论衡》。当时，董仲舒发展的天人感应论流弊甚多，王充为了反对它而发展了气论的思想。气论在后世的发展，重要的如葛洪，他在

《抱朴子》中论述了气与养生炼丹的关系。他讲⁸⁷：“人在气中，气在人中，自天地至于万物，无不须气以生者也。”清朝的王夫之也重视气论，他讲：通天地一气耳。在实践中，气论最重要的支持是医学。气功就是气论在人体学中的一个应用了⁸⁸。下面，我们来多方面地了解一下气论。相对于

⁸⁷ 《抱朴子》，至理篇。

⁸⁸ 八十年代的气功热以及其后的批判难免让人们的气功持负面态度。然而，气功作为一种体育锻炼方式，对身体健康的作用是不可否认的。

八卦和五行，气论的科学性与成熟性表现在以下几个方面。

气是物质构成的元素。气论不把气限制于有限的几种，而是有各种各样的气，比如精气、元气、阳气、阴气、卦气，五行之中也各有气。因而气的概念具有普遍性。

气也是物质运动的属性。气不仅代表物质构成的元素，也代表物质运动的性质，比如正气、邪气分别指能够引起人体阴阳平衡与失衡的运动形式。金木土水火五行代表五种不同的运动方式。

气不是一个孤立的概念，它与道、理可以结合。

“理”与“气”是宋代大儒的核心概念。《老子》中分别提到了道与气，而主要论述的是道。道是宇宙之根本，气是自然中万物之基本。然而，老子没有论述道与气的关系。

到宋代，朱熹等大儒创立了理学，发展了理气论。按照现代科学的语言来讲，“理”即宇宙的根本规律，而“气”为宇宙的物质基础。气按照理来运行，而理在气中得以实现，二者不可分。宋儒有个著名的悖论，就是到底是理在先，还是气在先。这其实和鸡生蛋、蛋孵鸡是类似的问题。这问题到现在都解决不了，何况是在宋代了！不过，我们可以看到，理气论其实是一种科学理论，具有证伪的性质。明清之即，王夫之的气论更将理内含于气，他的理论中包含着能量转化与守恒的

光辉思想⁸⁹。

现代西方科学中的物质、能量、力、信息、场、潜域的概念，都是普适的概念，即它们可以应用于各种不同的过程当中。气也具有这样的性质，但它不能简单地等同于力、能量等概念。我们可以说，以易、阴阳为起点，以八卦五行为框架，以气为主体构成了中国古代科学的世界观。在此“躯壳”之内，同样重要的是它的具体内容方面，即“肉体”部分，下面我们从几个不同的方面来论述。

首先是化生论。《老子》曰：“道生一，一生二，二生三，三生万物。”《系辞》曰：“天地絪縕，万物化醇，男女媾精，万物化生。”“生”是一个重要的概念。我们可以设想，古人在农耕中，对植物以及动物的繁殖有了深刻的认识，对生命有了感悟，这是容易理解的。我们要突出的是，化生论所没有体现的精神，从它的反面，我们更能认识它的特点。其一，它不讲神。中国有女娲造人的传说，但种种关于神的思想都被扬弃了。中国的这种人文主义精神是从春秋战国就确立了。相反，如今的西方人还在争论上帝是否存在的问题。其二，它不讲天人相分。化生论将整个世界、人与万物放在一起。人与万物的区别只是气、灵、仁义等，这与基督教非常不

⁸⁹ 参见王夫之著作《船山遗书全集》。

同。基督教认为，上帝创造自然是为了服务于人类的。西方在近代，比如19世纪末期，伯格森才产生了生命哲学的观点来平等地看待整个世界⁹⁰。

与生化论直接相关的是源流论。整个世界好比一棵大树，有枝干有叶子；好比一条大河，有主干也有支流。王弼对易经的诠释突出了源和流的对待关系，他提出了“存本去末”，以源为本，以流为末。源流论是对自然现象的一种观察与总结，它具有广泛的应用范围。在哲理上，“道器”论是一种源流论，道为源，器（工具）为流。然而，我们认为，源与流的区分并不能说明源为本，流为末，因为流也是本的体现，甚至还包含一定的本的成分。如若存本去末，只有源，没有流，那么源的存在将无法得以体现，因而也就没有源的说法了。王弼等之所以要区分本末，是因为他们推崇道家的无为思想，以道为本源，以儒为末流。这种“道本儒末”的思想在《老子》中已经体现：“道不行，智快出，有大伪。”这涉及到儒道学派之争，我们不予讨论。可以说，源流论是不具有主观色彩的科学性的思想，而本末论不是。

感应论是董仲舒发展成熟起来的，它既包含了正确的

⁹⁰ 17世纪有斯宾诺莎的泛神论的理性主义哲学，然而，上帝的意志在它的体系中仍保持一定的作用，且它没有突出生命这个概念。

一面，又有错误的一面，然而由于其错误的一面，也将其正确的一面抹杀了。感应论主张，天地万物之间可以相互感应，比如同声相合，同音响鸣等，这反映了共振的一些现象。同时，天人之间也可以相感。天可以感人，不同的天气气候对人的行为心情有影响。人也可以感天，而这一命题是流弊最多的。从今天来看，人感天并无不妥，因为人类的行为已经影响了自然环境，比如气候变化等。然而，在当时，人们通过祭祀等方式则曲解了这一命题中真理的成分。感应论的关键之处（也是困难之处）在于感应的“方式”⁹¹。自然界中存在种种不同的感应方式、强度。感应论是一种物质之间相互作用的理论。比如，中国人所最早发现的磁现象就可以看作这种理论的应用。电磁学中的“电磁感应”现象，正是采用的感应论中的感应一词。

另外还有关系论和整体论。中国人认识事物，不单单是从事物本身，而是从事物与外物的关系出发，并且主要关注这些关系。五行说体现了这种思想。五行相生相克，它们构成了一个复杂的不断运动变化的关系网。当一种性质（或说气）发展到了极端的时候，就会转变为另外一种气。一种气的发展会受到另外一种气的影响。每种气都不是独立的，它们是一个

⁹¹ 这就是说，一个世界观也需要合适的方法论。

整体的不同的方面。西方也有关系论，但是它是和整体论分开的，它不认为相互关系的不同方面是一个整体的一部分。而中国古人从“一”为本源的道、易、太极等出发，一分为二，二分为三或四，一直到万物，而同时万物之间不失其原本就有的相互关联，保持一个和谐的整体。这种整体的关系论西方几乎没有，只是零星地散见于一些思想家的言语中（比如莱布尼茨）。西方人喜爱讨论世界的基元，比如基本的物质元素，如原子论，比如基本的运动形式，如直线运动、圆周运动，这是亚氏的物理学。

现代的科学中，不仅仅有还原论的范式，也有系统论、涌现论的范式。根据上面的理解，阴阳论可以称之为一个科学理论，更确切地说，阴阳五行理论在医学中的应用导致了中医理论的建立。中医理论是阴阳论最重要的应用，它可以解释人体内部的构造以及某些现象，人与四时的关系，并且能够用来预测、预防、治疗疾病。然而，可能是因为中医的经验化、个体化、非数学化的倾向，加上一些反面的失败的医药例子，导致人们误以为中医是不科学的。但是，我们要知道的是，即使是在西方科学当中，失败的理论可以说是汗牛充栋，前仆后继，只是我们一般不提它们罢了。没有人把失败的物理或数学理论称为迷信，因而，把一些失败的药方称为迷信也是

片面的，把中医理论、阴阳论当成历史的垃圾更是武断的⁹²。

以上，我们讨论了以阴阳、气等概念为核心的古代科学世界观，这仅仅只是整个传统科学的一部分。在整个传统科学中，科学的世界观（或说这里讨论的这些）与科学技术的发展存在着分离，特别是现实的不当应用往往带来超乎寻常的副作用。同时，在阴阳气论的科学体系之外，还存在着其他的科学技术，我们要提到的有战国时期墨家的科技思想，有淮南子的科技思想，然而他们的思想大都失传了。如若没有西方文化的入侵，我们的传统科学会怎样发展是非常值得思考的。

第二节 矛盾与对偶

在解释了量子论的哲学内涵和阴阳论的科学内涵之后，我们再来体会一下阴阳论的哲学内涵。阴阳既有相生相克的内涵，又有一体两面的内涵，简言之，既有矛盾论，又有对偶论。

矛盾论是我们比较熟悉的，最为普遍的认识来自于黑

⁹² 我们的目的不是要说明中国古代的科学多么发达，而是要说明我们是有科学传统的。也就是说，这里我们更关注科学史而不是科学。我们要批判地正视自己的科学传统，好比西方人可以把地心说、放血疗法等写入西方科学史，我们也可以把阴阳论写入中国的科学史。

格尔和马克思的哲学。黑格尔建立了一套辩证法，矛盾论是辩证法的代称，或者是其一方面。辩证法有意思的地方，其实不是它如何进行哲学思辨，而是这个体系是如何建立的，比如，黑格尔为什么定义质、量、度、实在、表象等概念。任何逻辑体系都是有起点的，在起点当中就隐含着某些隐蔽的假设。那么，辩证法的逻辑起点是什么呢？我认为是“多”与“精神”这两个概念。辩证法认为，任何实存都具有独立存在的根据（质），因而世界是由无限多的质组成的，这与亚氏的思想是吻合的。对于“精神”，辩证法认为，事物经过“质量互变”的过程，经过否定之否定之后，会以高级的形式存在，这个“形式的阶梯”的终点就是终极精神。这里，我们似乎看到了上帝的影子，看到了进步论，也看到了马克思的共产主义的设想。这两个假设，就决定了辩证法的基本面貌。

然而，在中国的阴阳论中，并没有这两个基本点。

“进步”这个观念一般认为是好的，但是在哲学理念中，对它并不区分好坏。也就是说，我们自古没有进步的观念，这并不是坏事，并不代表我们的哲学传统不好，追求不好。当西学刚刚东渐之时，阴阳论就和矛盾论相提并论了起来，并认为《老子》《周易》中包含着对立统一的思想。然而，尘埃落定之后，我们才能慢慢发现，阴阳论中还有另外一层思想，也就是“对偶论”。

对偶论是说一个事物会在不同的情境中表现出不同的实在与性质，而这些不同的表现都是同一个实在。对偶论所表明的是由一而多但根本是一，而矛盾论所表明的是由多而一但根本是多，几乎是相反的道理。阴与阳是对偶的双方，而两者根本上是太极，同出而异名。阴与阳是同一事物在不同情境中的表现，比如，天下有道则显，无道则隐。对偶论彰显出一种“情境中的存在”，即事物的存在与它在（周遭世界）是紧密相联的。这里，我们看到它是与黑格尔的万物各有本质的哲学是不同的，甚至是相反的。

从这个角度讲，阴阳论与矛盾论是格格不入的，矛盾论把因与果颠倒了，把源与流颠倒了。但是，如果真这么认为，也就过于肤浅了！不同事物之间的此消彼长、竞争又合作的过程既是矛盾的过程，又是阴阳合和的过程。矛盾论与对偶论甚至也可以看作是阴阳两极，也是相生相克、一体两面的关系。举个例子，比如说“大”与“小”。有人说，他们是矛盾的双方，有的事物大，有的小，大的比小的大，小的比大的小。但有人说，他们是对偶的双方，大的事物不一定永远大，小的也不一定永远小。这听起来有点像绕口令甚至是诡辩，但是这里没有逻辑错误，因为我们赋予了“大”“小”这两个抽象的概念以具体的情境和事物。总之，阴阳论包含着比我们想象的要丰富得多的内涵，它是个可以自我诠释的体系，

因而是个本质不断生成和显现的体系，因而也是真正的开放的哲学思想。

第三节 逻辑与数学

对于阴阳和量子的关系的研究表明，中国人思维习惯和西方人有所区别。在汉语里，“逻辑”这个词不是古已有之，而是从“logic”，“logos”翻译而来，它表示思维推理的方式。虽然汉语里没有这个词，但是不表明中国人不讲逻辑。学习过英文的、或者出过国的人多少都能感受到英语、以及西方人的思维习惯或逻辑与我们中国人不同。广义地说，逻辑渗透在我们的一言一行中。严格地说，逻辑是我们思维方式的基础。逻辑的重要性体现在哲学家的沉思中，体现在文学家的妙笔中，体现在修辞学家以及政客的辩论中，也体现在人们的生活习惯中。

同样，“数学”也是近代以来才有的专有名词，但这不表明中国人没有数学。与语言一样，数学也是一门语言，因而它自身具有一套独特的逻辑。数学是以符号为基础的，比如字符、图形，这些抽象的符号不对应具体的事物，然而又具有与事物对应的潜力。在西方，甚至有对数学的宗教式的崇拜，比如古希腊早期的毕达哥拉斯学派。同样，在中国，阴阳八卦

中也包含着数学的奥妙，比如二进制。这里，顺便指出，不同的进制，二进制、十进制、八进制等，也代表着不同的逻辑体系，十进制的广泛流行只是最近200多年的事情。

然而，中西方文明的发展走上了不同的道路，这与它们的逻辑和数学是紧密相关的。西方人发展了数学，认为数学是大自然的语言，甚至有超越人的存在的意义。而中国人发展了逻辑理性，以及与其相关的哲学形而上的思维和实践思维，而数学并不起到重要的作用。在20世纪初，在西方数学界产生了所谓的“逻辑实证主义”，他们（比如怀特海、罗素）尝试将数学的基础建立在逻辑之上，赋予抽象的符号以逻辑意义。然而他们的努力是不成功的。数学家们发现，一些抽象的数学问题会导致逻辑悖论，比如罗素悖论：如果一个理发师只不给自己理发的人理发，那么他是否该给自己理发？如果建立一个集合 S ，代表不给自己理发的人，那么理发师 P 属于这个集合吗？如果 P 属于 S ，那么 P 不给自己理发；然而，根据定义， P 应该给自己理发，一旦如此， P 就不属于 S 了。因此，我们得到一个悖论：从 P 属于 S 推出 P 不属于 S 。同样，也可以从 P 不属于 S 推出 P 属于 S 。

数学家们进一步发现，数学的体系是有假设的，比如平行公理：平行线永不相交。然而在非欧几何中，平行公理是不正确的，另外还有自由选择公理，这与人的自由意志有关。

数学家克莱因感叹“确定性的丧失”⁹³，然而人们似乎并没有认识到这个命题的重要性，科学家似乎仍然认为数学是真理的化身。

从中国的传统来看，数学从来都不是真理的化身，因此数学中的发展也没有什么值得震惊的。数学，由于其抽象性，忽略掉了具体事物本身的性质。比如，一个具体的事物，并不是一个抽象的点、符号，而是一个综合的有结构的个体。

同样，语言也具有独立于数学符号的逻辑，因为一个词语、句式等等可以包含比符号更为丰富的含义。如果我们将罗素悖论看作一个语言学上的悖论，那么它就很容易被解决。我们将其更改为：一个理发师只给别人理发。这里，“只给别人”与“不给自己理发的人”具有类似的规定作用。然而，更改之后，我们可以肯定地说：理发师不给自己理发。悖论的产生在于自我指涉，或指代混乱。当我们说“不给自己理发的人”，其中的“自己”是指那些不是理发师的人，然而当我们问“理发师该不该给自己理发”，这里的“自己”又包括了理发师自己，所以发生了指代混乱。类似的悖论，比如，“这句话是错的”，也是同样的问题，悖论的产生源于“这”指代的混乱。诸如此类的逻辑悖论都是分离了抽象与具体的关系。另

⁹³ 这是他的一本书的书名。

外的一些悖论，比如“飞矢不动”分离了静止与运动的辩证关系，“白马非马”忽略了普遍与特殊的辩证关系。从这些悖论中，我们可以体会到，数学，或说抽象的符号逻辑，是不能代替广泛的逻辑本身的，因而逻辑具有数学不可替代的作用。



第四节 汉字与老子

我们进一步探讨中国人的逻辑，这是一个很宽泛的话题。这里，我们试图从最基础的、最古老的源头去理解，以期以管窥豹。

先说汉字。汉字在中华文明中的作用与其他文字不

同，比如英文在欧洲。汉字本身是个图画，每个汉字都是个整体，然而也存在着一些基本的结构、偏旁部首。与汉字类似的文字，比如楔形文字，已经消亡了。汉字的结构不是一成不变的，它本身的演变，从甲骨到金文，从大篆到小篆，从隶书到楷书，也就代表着逻辑的演变与丰富。

甲骨文的字大多是独字体，没有偏旁部首，每个字都是一个图画，其结构中不仅仅有点与线，甚至还有面即块状的东西，比如“天”的最上面不是一横，而是一个矩形似的东西，象征人头上的东西，那就是天。甲骨文中就反映出来中国人象形的思维方式，比如，“自”是鼻子的形状，“目”、“口”、“耳”分别是眼、嘴、耳朵的形状，山、水、火、日、月、田，都是象形。在较为复杂的一些字中，就体现出生活的智慧来了。比如，语言学家研究表明，“从”是两人并行的样子，这关系到人与人之间的关系。“思”是上为大脑下为心脏，这明显体现出人们对智力对智能的理解。“育”上面是一个幼儿的样子，下面的月其实是流出的羊水，这代表出生的场景。以此代表生育，表现了人们对生命的理解。随着汉字的发展，不同的造字方法变得成熟起来。我们熟悉的象形、假借、形声、会意等，都是一种逻辑思维方式，而这些都是西方所不具有的。

与英文相比，汉字的特点更能突出出来。拉丁文、英

文等符号文字的一大特点是有一组最基本的字符，比如a, b, c, 而汉字中是不存在如此明显的基本字符的。英文的组成是先由abc组合成单词，然后再由单词的集合构成句子，而汉字基本是字为单位的。汉字中的点、横、竖等不具有abc所具有的独立意义。这个现象，我们还会在其他方面发现。比如，我们发现科学中“物理—化学—生物”的层级关系与语言的结构非常类似。与英文相比，汉字的另外一个特点是，早期汉字没有读音，之所以如此，是因为汉字本身是个图画，是依赖形象来传达意思的。同时，有些字本身包含着声音。拉丁文由于是抽象的符号，因而读音与符号有同等的重要性。在波斯语中，有些符号专门用来代表读音，这些符号是字的一个组成部分。法语中某些词还保存着标记读音的符号，好比汉语音标中的声调。

人们一般认为语言只是人类的一个交际的工具，然而20世纪的哲学家与语言学家们的研究越来越表明，语言对人们的思维有决定性的作用。特别是在当今国际化的时代，语言就好比一个代码，能代表着一个文明、文化圈的特点。20世纪初，西方哲学中有所谓的“语言学转向”，代表人物有维特根斯坦、海德格尔、乔姆斯基等。他们发现了语言中所具有的工具理性，语言不仅仅被人们所使用，同时反过来还决定着使用者的思维与行为方式。语言学家发现，不同语言中的一些词是不可通约的，即不能够相互翻译。汉语中有很多例子，比如

仁、义、江湖、心等，它们不能被翻成某个词，而只能以句子来诠释。同样，英文中也有这样的例子。这说明一个语言体系虽然具有自身的完备性，但也具有独特性，自然社会中的一些现象可能在一个语言中被模型化、成语化，而在另一个语言中可能就被肢解掉。

在文学中，汉字的语境性、模糊性、整体性的逻辑被很好的体现了。中国有最为发达的诗词文学，上至帝王、下至草寇，都可以作诗。成语更是汉语中的独特现象。然而，英文具有很好的还原性、因果逻辑，它比较适用于说明文、科技论文的写作。当然，我们要指出的是，一门语言的特点并不是天生的，不是在一开始就确立的；相反，它是随着历史的发展，在人们的生活实践中不断被发展发扬出来的，在未来也是会有所改变的。好比莎士比亚对英文发展的作用。如果牛顿的《原理》用莎翁的风格写成，估计就是天书了。这好比用汉字写就的古代数学著作，比如秦九韶的算术，用现代数学语言写出来就简明多了。

总之，语言是古人在长期的实践中所创造出来的。当其被创造，它自身就带有一个文明的鲜明色彩，带有一种逻辑。其后，文字作为思想的载体，一方面继续影响与决定人们的思维，另一方面又被新的生活实践所改变与发展。这也是一个阴阳辩证的过程，二者相辅相成。

下面讨论《老子》，也就是《道德经》。这部书在国外很有名，美国尤其关注里面的军事思想。这里，我们关心的是：为什么西方人没有写出一部《老子》呢？我们发现，《老子》其实是一本逻辑学的著作。《老子》是什么逻辑呢？当然，按照西方人对逻辑的定义，你几乎找不到《老子》中有什么逻辑，相反，你可能认为他是在写诗，没有章法。《老子》一般被认为是哲学书、兵书、政治治国方略书、修身养性的书等等，然而笔者所关注的不是《老子》是什么样的，而是《老子》为什么是这样的。我们的问题是：为什么西方人没有写出一部《老子》来呢？你可能认为这是个很无厘头的问题。如果我们能理解此中缘由，那么我们就可以对中华的文化有个新的认识，对中国的科学有新的认识。比如，我们可以体会到，李约瑟的问题“中国为什么没有产生近代科学”是什么样的问题，应该如何去回答。

《老子》其书依然是个谜。首先，作者都没有定论，可能是太史儋作，但收录了老莱子的文字。老莱子是楚国人，清俭慈孝、参悟大道，估计写过一篇散文，抒发自己的人生感悟。太史儋得到此文，潜心研究，他目睹天下之大乱，于是发展了道的哲学、知足无为的修身学、以及一套无为而治的治国方略。

在《老子》书中，太史儋与老莱子之言混杂在一起，

很难分辨，更不能确信是否有老莱子之文字。但仔细读之，脑海会涌现出两个老子的形象：一个慈眉善目，修身养性，清静柔和，有童子之天真；一个悟道论德，心怀天下，无为不争。用儒家的话来讲，一个内圣，一个外王。而两位老子的思想契合天衣无缝，可谓同出而异名，一体两面。

《老子》虽然不像西方哲学著作那样纲目清晰、着重论述概念，但是也自成体系。《老子》中有辩证法、生化论的哲学，有无为而治的政治学，有清静慈俭知足的修身学，还有兵学、农学等。用儒家的话，修齐治平皆有，同时还有“道论”。

我们着重分析《老子》的逻辑。此逻辑非“常逻辑”。我所说的逻辑，是广义的，是指人们认识世界以及事物的思维方式，而不单单指某种逻辑、某个人的逻辑。一般认为的逻辑，是西方人发展的逻辑学，比如三段论，大前提加小前提导出结论，比如“人皆有死+苏格拉底是人→苏格拉底会死”。我们中国人当然也有这种逻辑了，只是没有进行公理化的研究。西方人研究了，并认为就是他们的专利了，岂不是贻笑大方。那么，我们看看，我们中国人的逻辑有什么特点。

《老子》中的论述方式，在很大程度上决定了我们的逻辑。当然，除此之外，还有《易经》以及汉字等。《老子》的逻辑似乎缺少研究，我们往往注重它的政治、人生、修身等等，但是

它论证的方式也同样重要。

首先，我们列出书中常用的论述方式，即逻辑类型：合同，反复，比喻，同化，递进，递退，并列，因果，列举，对比。

“万物负阴而抱阳，冲气以为和”，这句深奥的论述表现的就是合同逻辑，即阴阳合而同于和，它论述的是阴阳之运动中，气聚气散，而达到或保持和的状态。之所以能“以为和”，是因为阴阳源于太极，源于一，源于道。阴阳是一体两面，一分为二又合为一。“无，名天地之始，有，名天地之母。故常无，欲以观其妙，常有，欲以观其微。此两者同出而异名，同谓之玄。玄之又玄，众妙之门。”这里，“有无”合同于“玄”或说“道”。我们也发现，这种逻辑源于《易经》的阴阳哲学。

“比喻”逻辑是我们比较熟悉也擅长的，汉语中有很多比喻的成语，它是描述事物之间的相似性，也体现出道的普遍性。在《老子》中，有“人之生也柔，其死也坚强，草木生也柔，其死也枯槁”。“上善若水，水善利万物而不争”之言，它是说人的生死如草木一样，进而引申出老子尊崇柔弱的人生智慧，以及治国治兵之术。老子用水来象征道的品行，水追求的境界是使万物受益而不在乎自己的得失。

《老子》中最常见的，也是发挥的最好的是“反复”

逻辑，它是刻画事物发展的有限性、阻尼性、约束性以及矛盾性，是运动的观点，而不是静止的。比如，论述“玄德”时，“生而不有，为而不恃，长而不宰”，使万物生但不要占有，如果以养育万物而自认为拥有它们，要占有和主宰它们，那就不叫玄德了，这个观念与西方基督教非常不同。基督教认为，人为上帝所创，上帝也是整个世界、自然、人类的主宰，上帝以及上帝之子耶稣应该受到人们的敬仰和信奉。但按照《老子》来讲，如果耶稣以拯救人类而自居救世主，那么他就不具有玄德，就没有大道，因而也不能成就他所追求的目标了。

“天地所以能长且久者，以其不自生，故能长生。是以圣人后其身而身先，外其身而身存。非以其无私邪？故能成其私。”天地、圣人与道一样，都要无为才能无不为，无生才能长生，无私才能成其私。这种智慧认识到事物的发展不是直线型的，而是有反复的、有曲折的。“将欲歛之，必固张之，将欲弱之，必固强之，将欲废之，必固兴之。”如果要使其荒废，那么需要先使其兴盛，当其兴盛之时，它更容易走向荒废。如若在一个荒废的基础要使其更荒废，那么它有可能就走向兴盛，适得其反了。

《老子》中，有关反复逻辑的论述，不胜枚举，皆成为千古名言。老子言之凿凿：反者道之动。大成若缺，大盈若冲。祸兮，福之所倚；福兮，祸之所伏。正复为奇，善复为

妖。圣人方而不割，廉而不刿，直而不肆，光而不耀。大者宜为下。圣人终不为大，故能成其大。圣人为而不恃，功成而不居。见小曰明，守柔曰强。反复逻辑最能体现出老子的辩证法，也最为后人所喜爱，中国人处事为人为官，都有它的影响。

另一个我们非常熟悉的现象是所谓的物以类聚、人以群分，这是“同化”逻辑。“类”的概念非常重要，它是一个生物学上的概念。我们容易发现，《老子》中有很多生命、生物学上的概念，比如母、子、生、死、长久、牝牡等，这也是整个中国文化的特点，是生发论的表现。我们中国人自古崇仰生命和生殖。同化逻辑反映的是事物的分门别类的性质，事物按照类别分类，也按照各个类别的规则运行。“以身观身，以乡观乡，以邦观邦，以天下观天下。”“从事于道者，同于道；德者，同于德；失者，同于失；同于道者，道亦乐得之；同于德者，德亦乐得之；同于失者，失亦乐得之。”道与从事于道的人是同类相吸的。这个道理，就不能简单地与“同性相斥，异性相吸”来比较。《老子》所表明同性相吸的道理，也是普适的，只是应用的时候要认清应用的条件。

另外，《老子》运用比较多的是“对比”逻辑。“少则得，多则惑”。“天之道，损有余而补不足；人之道则不然，损不足以奉有余”。司马迁所讲：“人固有一死，或重于

泰山，或轻于鸿毛”也是对比。对比在文学作品中常常用到。其实，中国人的逻辑主要显示在文学作品中，因为逻辑是靠语言承载的。除对比之外，还有列举、并列、递进等等。虽然我们如今对这些所谓的写作手法很熟悉，但是它们所依据的根据却是深刻的，多少与《老子》的逻辑是有关系的。

列举描述的是道之表现，是普遍与特殊的关系。并列描述的是事物之间平等存在的现象。“大方无隅，大器晚成。”“大巧若拙”，“高下相形，有无相生。”递进表明的是事物之间的等级秩序：“人法地，地法天，天法道，道法自然。”“夫唯啬，是谓早服；早服谓之重积德；重积德，则无不克。无不克，则莫知其极。莫知其极，可以有国，有国之母，可以长久。”这里老子论述农业（啬）是国之母。但是这种逻辑不具有必然性，重积德不一定无不克（我们是礼仪之邦，但是没有打败蒙古人和西方人），农业也不一定是国之母（西方人和蒙古人不以农业立国）。我们要注意，逻辑并不一定非得是必然的逻辑，或者带有必然性的。

《老子》中还有一种运用比较多的，但在后世却运用比较少的，即“递退”逻辑。“太上，不知有之；其次，亲而誉之；其次，畏之；其次，侮之。”这里论述治民。道生之，德畜之，物形之，势成之。讲道，天地孕育万物，“失道而后德，失德而后仁，失仁而后义，失义而后礼。”讲国家人民的

荒废，“礼者，忠信之薄，而乱之首。”这与儒家特别是荀子截然相反，原因是“礼”在他们各自的哲学体系中占据不同的位置。

以上我们通过列举的方式来简要解构了《老子》一书的逻辑。我们不仅要了解此书的其然，更要了解其所以然。正如研究中国科技史的李约瑟，他不关心中国的科技有什么，更关注中国科技没有什么，中国的科技为什么是这个样子，为什么与西方不同。在《老子》中，我们可以管窥中国人与西方人逻辑的区别。我们的逻辑不是像体悟、直觉这些词语可以概括的，而是有阴阳的同化、合同、反复、递退等严格的推理方式。

第五节 变化与整体

一个体系之所以能成其为体系，首先是因为自身的完备性。然而，任何事物都是有局限性的，它自身的特点，已构成了自身的缺点。一个体系的发展是有起点的，有时间上的起点，也有逻辑的起点。它逻辑的起点也就决定了它的缺点。比如，当汉字被创造出来时，它的图画性就决定了它的一些缺陷⁹⁸。那么，中国古代的科学体系有什么缺点呢？

其一，过于强调“变化”。万物固然是不断运动变化

的，然而也存在着“相对静止”。更进一步，也可以存在“永恒”的事物。这一点，在西方的宗教与科学中都能反映出来。在宗教中，上帝的天国是永恒的，天国中的事物也都是永恒的，不以人类的意志为转移的。西方人的科学不是从我们所讨论的“天地”所开始的，而是从上帝的天国开始的，从天文学开始的。中国古代也有发达的天文学，但是中国的天文学是服务于农耕的，西方的天文学主要是为了证明上帝的智慧的。哥白尼、布鲁诺、伽利略支持日心说，反对教会的地心说，他们因此都受到了教会的惩罚。他们对科学的贡献，还比不上他们对宗教的冲击大，如果没有教会的反对，他们也不会成为科学的斗士、真理的斗士。

另外，虽然物理学是研究物质运动的学问，但是对相对静止的研究也非常重要。早期物理学的研究其实是从相对静止开始的。在静止的现象中，人们可以更方便地去体会背后的道理。战国墨家有对光学的研究，如小孔成像，这就是一种静止的现象。淮南子《万毕术》中有对表面张力的实验描述，这也是静止的现象，还有对凸透镜的实验。西方人在古希腊对物质基元的探讨，更与运动论没有什么关系。

其二，过于强调“天人合一”。中国整个文化思想的一个基本点就是“一”，它与“多”相对应。这个“一”，可以诠释为道、太极、和。孔子讲，吾道“一以贯之。”在天人

关系、人格、社会、家庭、政治等等方面，中国人追求的就是圆融汇通⁹⁴。这种整体论的思想一方面使人们重视了对伦理、关系的研究，然而也限制了对个体的研究。

然而，根据现代科学的经验，很多科学理论的发展并不需要与某种哲学相统一。一种理论不一定要自上而下地去发展，也可以自下而上地去发展。那么，虽然个体与万物是息息相关的，但这不妨碍人们从这个个体出发，忽略掉与其无关紧要的因素，只考虑一些重要因素，甚至不考虑任何外界因素，将个体从整体中分离出来研究。这正是西方人的思路⁹⁵，他们设想了没有摩擦力的运动，这直接导致了牛顿的物理学，他们设想了没有相互作用的气体，甚至没有气体的空间（真空），这导致了热力学的发展。这种“理想实验”已经成为西方科学的一种标准方法。西方人进而认为，个体在自由（分离）的状态下才得到了本质，然而我们恰好认为，个体在整体中才有价值。几乎是相反的观念！我们甚至能够看到了个体自由与集体自由的分野！笔者并不认为个体有绝对的自由，也不认为个体

⁹⁴ 然而这和西方的妥协与宽容不太一样。妥协是多个事物之间的平衡，它们的利益可以不是一致的。宽容更是假设事物之间是矛盾甚至对立的。在天人合一的框架下，万事万物的利益都是相通的。

⁹⁵ 在最后一章我们要提到，在气论体系之外，中国有一些闪光的研究点，而这些研究点正是与西方体系有所类似的地方。

在整体中有绝对的自由。“自由”一词也是西方的词语，在中国的话语中没有正确的对应。在上一章讨论潜域的时候，我们已经阐释了的本书的自由观。

其三，没有基元论。中国科学的发展基本上是自上而下的。先是从医学，然而发展出了药学、化学，但是从化学开始，并没有发展出分子学、原子学。在哲学上，这是因为没有基元论，不追求物质的基本元素。当然，在某些著作中是有基元论的零星思想的。比如，《管子》中有“精”的概念，在《老子》中也有所提及。这“精”一般被认为是物质的基元，我也是同意这种看法的。然而，可惜的是这种思想没有被发展起来。在气论中，气具有物质特性，但是依然没有专门作为物质基元的特殊的气。西方科学不入侵的话，我们中国科学按照自身的发展，倒也是有可能把物质论发展起来的。

西方科学中应用最为纯熟的思想是还原论。它认为复杂的结构或者现象都可以用简单的组分来解释，即用简单性来解释复杂性，用基元来解释整体。比如，自然界中复杂的物质在化学家的眼里，都是由元素周期表里的元素组成的，遗传因子DNA都是由四种最基本的组分按照不同的排列来组成的，分子是由原子组成，而原子是由电子和原子核组成，原子核由夸克组成，而电子和夸克被粒子物理学家称为基本粒子，因为它们似乎是最小的基元了。复杂的几何结构在拓扑学家眼中都是

由基本的结构组成，包括把手和半球形状。同样，复杂的电路在工程学和计算机学家那里都是由基本的逻辑门组成的。而如今人工智能工程师们正期望能组装出智能的机器人来。然而物极必反，水满则溢。还原论的方法并不能对任何现象进行描述。20世纪的科学还有一股力量，它着眼于复杂性，包括系统论、混沌论、分形等，由数学家、工程师、计算机学家等发展起来的交叉科学。这种科学期望发现复杂性的规律，用复杂性来解释复杂性，这是与整体论相符的，然而这还没有充分融入西方的科学文化之中。

其四，过于哲学化、经验化，而非数学化、符号化。这是一个非常显而易见的缺点。称其为缺点，是因为数学化、符号化的西方科学已经证明了它的某些优越性，而哲学化的传统中国科学则还带有某种愚昧。古人常说，形而上者为道，形而下者为器。古人重道轻器，我想这一点，人们认识得比较清晰了。更进一步，这种“道器二分”的结果最终是道也未必张，器肯定是未发展，而真正得到张扬的是人。也就是说，我们的传统不是自然主义的重道传统，也不是物质主义的重器传统，而是以人为本的传统。

周易和老子的智慧一直影响并决定着中国文化的特质，这是崇尚还原论的西方所不具有的。然而，我们并不是要分个彼此伯仲。在当今国际化的时代，科学研究也具有国际化

的特点，因而科学理论以及它带有的科学文化会被嫁接到不同国家。我们相信，在国际化的时代，传统的科学文化的缺憾是可以弥补的。还原论、整体论、潜域论等都会在整个科学文化中扮演不同的角色。好比物理学中的不同理论，经典力学、热力学等并不能相互替代，它们描述了事物运动的不同性质。原子、电子、甚至基因都是还原论思想的功劳，然而它们的运动并不直接决定宏观物体的性质，从微观到宏观还需要整体论色彩的理论描述，比如热力学、系统论、还有量子论。在下一章，我们继续追问，既然我国也有丰富的科学文化，然而为什么没有发展出近代科学。

交互篇

题记

“道理”是我们再熟悉不过的一个词了。不过，“道”和“理”原本是不同的。“道”来自于《老子》，而道德经中没有提到“理”。“理”是宋代大儒，比如朱熹、二程等定义的范畴。道更侧重于伦理，应当如何如何，理更侧重于事实，原本如何如何。二者的区别其实也是文化与科学的区别。然而，科学与文化其实是不可分的，正如道理这个词一样。在西方社会，道和理发生了分离，因而西方社会的科技才更发达，同时西方也发生了两次世界大战。宋代大儒在争论“理在先还是气在先”的时候，已经是在讨论科学问题了，就好比是先有鸡再有蛋，还是先有物质的运动法则再有的物质，还是先有的加减乘除再有的数字本身。然而，这种理论的探索为什么没有导致科学技术的迅速发展呢？

第五章 科学文化



基督教的禁锢和感召成就了西方的科学文化，然而尘埃落定之后的平静总归是平淡。

第一节 人性崛起

英国科学史家李约瑟提出了一个著名的问题：近代科学为什么没有发端于中国？他并没有给出答案，学界也似乎没有标准答案。他为什么要提这个问题呢？一个前提是，他认为近代科学总是应该发展出来的。然而，科学发展的方式不一定是唯一的。这里我们并不是要回答这个问题。历史已经发生，而当今我国的科技事业也在蓬勃发展。我们对传统科学思想的探讨，正是要打通传统与现代，继而反观西方科学文化的特点，并思考科学文化在我们发展的未来。

我们先来看西方科学文化是如何兴起的。一般认为，西方科学文化是以古希腊为源头、自文艺复兴以来所形成的以追求真理为信仰的文化。蒙古人在欧亚大陆肆虐之后，世界又一次迎来了野性的呼唤，而这一次是来自于大西洋的海风。海洋时代到来了，整个西方社会进入了一个动荡的时期，人民解放了思想，基督教政教合一的社会开始瓦解。在这前后大概500年内，西方社会先后经历了大航海、新大陆发现、工业革命、民族国家兴起、启蒙主义、康德的理性主义的崛起，再加上美国独立、电气革命、科学革命、社会主义、两战和冷战，如此动荡的社会，对思想与科技的发展提供了宽松的环境。对比我国春秋战国、三国两晋、明清大一统，我们就会发现，动

荡的社会与统一的社会具有不同的发展脉络。

西方这500年的发展，与之前基督教的1000年的统治是紧密相连的。基督教统治时期，信仰大于人的理性，道德生活高于世俗追求，这其实没有错误。然而，当人们发现统治者不再能为上帝代言，不再能拯救天下的苦难时，人民就丧失了信心。从十字军东征的失败，到基督教世界的分裂，最后当统治者要采取措施改革时，他其实就是自己的掘墓人。在教会统治的晚期，大学已经设立，教条也开始松动了。

新事物都是嗅觉灵敏的，一旦旧事物开始示弱，新事物就开始茁壮成长，这就是文艺复兴的开始。在意大利，人民的注意力从天国转移到人间，人民开始谈论世俗世界，谈论人性，雕刻人体，研究各种事物，发明新的机械。文艺复兴的发展，使西方社会的精气神开始变化。在这个神性衰落而人性上升的时期，科学扮演了重要的角色。天文学，一门研究天国的学问，有着一套正统的体系，即以地球为中心，各球体按照圆形（本轮）运动。意大利的哥白尼发现了真相：地球不是宇宙的中心，相反，它是围绕着太阳转的。也许我们认为，谁围绕谁转其实都无所谓，因为运动是相对的。但是，在哥白尼的时代，地球、太阳等星球都在上帝之国，扮演不同的角色。这就好比宣称，教皇是围绕着百姓转，而不是相反。于是，没有悬念地哥白尼被残害了。其后，一位更伟大的真理的捍卫者—布

鲁诺，他坚信哥白尼发现了真理，但他最后被活活地烧死了。我们虽然从小就知道这个故事，但是我们依然很难想象那是发生在欧洲的事情。

科学，特别是天文学，诞生于宗教之中。哥白尼、布鲁诺等他们对上帝所创造的世界痴迷。上帝之城虽然被称为天国，但是所谓的天国就是宇宙。牛顿的先驱开普勒，与其说他进行的是科学研究，不如说是对上帝的研究。他发现天体之间有规律的运动，认为那是上帝在宇宙中奏出的最美妙的音乐。在伽利略的书中，他甚至以敬畏的笔触来探讨星体的运行，他认为，那是对上帝智慧的认识。

所谓“道者，反之道”，基督教这个强大的敌人对于科学的崛起是“功不可没”的。一个强大的敌人对科学形成了巨大的压力，因而对科学形成了巨大的刺激。上帝是真理的化身，任何对真理的追求，都会拉近与上帝的距离，即使牺牲了现世的一切甚至生命。如果没有宗教把古代的一些陈旧的知识作为教条⁹⁶，那么，当人们发现其中的错误时，也不会产生那么大的影响。正是因为宗教的顽固与愚昧，才使新科学具有斗士的形象，成为了真理的追求者。哥白尼、布鲁诺、伽利略等

⁹⁶ 基督教虽然有种种教条，但是它不排斥知识。基督教体系中的知识性最明显地表现在天文学中。与之相对的，比如中国的道教，它的一些信念并不是依赖于知识，而是经验和智慧，比如修身以求长生。

等与教会的斗争，成为了科学文化形成的强大刺激，使科学成为了促进人类进步的希望。

正如韦伯对资本主义的研究一样，他发现宗教精神的巨大作用⁹⁷。特别是对比基督教新教和中国传统儒家，韦伯发现他们对于财富的认识有巨大差异：前者倾向于积累财富，而后者倾向于远离财富，而这都不偏离他们的道德规范。在经济和科学之外，宗教同样影响了欧洲社会的方方面面，而他们之间又是相互影响的。比如，科学的发展又受到了资本主义的影响。

对科学本身的发展，最重要的是科学所需要的精神与工具（灵魂与肉体），那就是理性与数学。这两者的源头在古希腊，无疑也被新科学家们所重新继承。亚里士多德说：我爱我的老师，但我更爱真理⁹⁸。亚氏的思想奠定了理性对追求真理的中心地位。数学的鼻祖是毕达哥拉斯，他和他的学派发展了古希腊的数学，并且将数看作宇宙的主宰，对数有宗教式的情感。数学的这种学派形式一直在欧洲流传，比如法国的布尔巴基（Bourbaki）学派。同时，欧几里德的公理化的体系也被传承了下来，并且被借鉴到了其他领域，比如物理学、经济

⁹⁷ 韦伯是德国著名的思想家，社会学奠基人之一。

⁹⁸ 中国儒家讲尊师重道，尊师与重道并行。

学。笛卡尔发展了理性哲学，而牛顿与莱布尼茨发展了数学。理性与数学的崛起与融合，标志着科学文化的形成。科学家坚信，有了它们，人类就掌握了打开真理之门的钥匙。

对科学文化的形成，还有一些其他重要的因素，这其中最重要的是哲学的发展。哲学以追求知识、追求真理为任务，而数学以发现真理的抽象形式为骄傲。一个命题、一个公式的成立，都被看作了不起的伟大成就。古希腊的自然哲学家，比如赫拉克利特、巴门尼德还有亚里士多德，他们一般认为自然界中存在着基本的物质元素，这是还原论和物质论的源头。这种自然主义被布鲁诺、斯宾诺莎、莱布尼茨等发扬了。基督教的那种认为万物有灵、万物是为人所用的观念被放弃，取而代之的是一种理性的自然。与牛顿同时代的莱布尼茨不仅是一位伟大的科学家与数学家，而且还是伟大的哲学家，他发展出一套“单子与和谐”的哲学⁹⁹，作为实体的单子在宇宙当中按照上帝的法则运行，保持着和谐。自然本身是具有严格的法则的，它不以人的意志为转移，同时又是可以被认知的。自然被放在了客体的位置，而人从整个大自然以理性被突出出来。这样，科学就有了一个客观的、没有任何偏好的研究对象。这里没有董仲舒式的感应论，这一点很重要，特别是对冲

⁹⁹ 莱布尼茨其实也发明了二进制，并且对我国的阴阳学说表示敬仰。

破基督教的约束。

科学文化是对科学实践的升华，与技术、知识是不同的。科学的理念能够成为西方人所追求的终极目标，人们能够为了真理、为了科学而献身，这是许多科学先贤们付出代价换来的。哥白尼、牛顿等这些人都是为上帝工作的，他们坚信自己的工作是要超越于自然与社会之上的。自那时起科学就成了真理的化身，西方人以追求真理为荣耀。

第二节 科技革命

摆脱了天国的束缚，科学文化又要面临世俗的挑战。事实证明，来自国家和民族的挑战成就了科技革命。科技革命通常是指工业革命，最早发生在英国，后迅速兴起于西欧。工业革命不是一个纯粹的科学现象，而是一个社会和经济现象，甚至是文明现象。

基督教世界崩溃之后，欧洲进入了战国时期。国家不统一，思想更不统一。英法等国相互竞争，大力发展技术、军事，他们在从世界搜寻财富的同时也不断加深着矛盾，而社会随时都有可能发生变革。英国爆发了资产阶级革命和二次革命，君主的权力被唾弃，取而代之的是宪法。法国国王被赶下了台，宪法也被确立。然而，英法之间虽然也有合作，但是都

要野心勃勃地发展资本主义，因而主要是竞争对手。从大航海时代开始，在欧洲的这种国际间的竞争不断升级。国际间的压力与国内资本发展的动力也相辅相成。西方人为了生存没有其他选择，只能发展经济，发展技术。政治中的变革引起了经济的改革，自由的资本主义积累得到发展，而这为科技革命提供了良好的社会环境。

这是中国先秦战国时期的翻版：旧的价值被革命或改良，新的思想层出不穷，而人民却沐浴在水深火热之中。思想的盛宴正是肉体的地狱。英法有百年战争，之后更有一战和二战。战争是一把双刃剑，它能够解决一些矛盾，但又带来罪恶与仇恨。战争像一把火，它焚烧了现存的事物，又让杂草在废墟中丛生。

工业革命催生了钢铁和机器，这和资本的发展相得益彰。资本家应用先进的科技将机器大规模用于生产，极大地提高了生产效率。当时最重要的科学内容是有关于机械运动与气体运动的，因而当时的技术产品主要是一些发动机、蒸汽机、交通工具、生产线等等。然而，此时的西方科技还远未成熟，卓别林的《摩登时代》生动地渲染了机器对人的无情异化，这些巨大的机器对人民来讲简直是灾难。

战争的逼迫、生存的焦虑让西方人在18世纪启蒙运动中设定了民主与自由的理想目标，还有平等与博爱。他们力图

摆脱宗教的约束，重新发展古老的希腊精神。科技革命的发生是理性发展的结果，科学文化、人文主义的兴盛，为个人提供了可以直接面对历史的机会。个人可以依赖自己的智慧，不受社会的约束，直接去发现真理、发现美。人民不断追求新知识，培根的《新工具》是这种理念的宣言书。法国的启蒙运动更是高扬了进步、自由、平等、博爱的理念，一种新的社会正在酝酿。而这种思想的持续不断的解放、社会持续不断的动荡，为科技革命的持续提供了可能性。

科技革命的发生不是偶然的，当然也不是必然的¹⁰⁰。一般而言，事物往往在外力的作用下发展比较快，而自身的演化则比较慢。西方社会（而不是西方科学本身）在更大程度上促进了西方科学的发展，外因大于内因，这些外部因素包括战争、商业、宗教等等。

工业革命的历史意义在于形成了不同于基督教社会的新型社会。在这个新型的社会中，科学技术、思想自由被认为是崇高的，而不是信仰、道德和统一。英法之后，德国的崛起使科技在西方社会中的主导地位确立下来。因而，西方形成了

¹⁰⁰ 历史本身就是这个样子，既带有偶然性，又带有必然性。偶然性是因为存在多种选择，在不同的可能性中哪一个能够被实现，是受各种因素影响的，具有偶然性。而必然性是在选择之后事情的发展。参见科学社会学家的著作，比如库恩、默顿。

科技-商业型社会，这与中国在大一统中形成的注重道德和艺术的社会不同。

第三节 回归理性

量子论和相对论也是科技革命的产物。数学也经历了危机，数学家们发现，在所谓的完备的数学体系中，存在着一些不可证明的假设，这些假设无法判断真假，数学顿时陷入了真理的丧失之中。这是哥德尔的杰作，然而他打破了希尔伯特的美梦，同时也困惑着罗素一生。一切数学理论也都成为了可以被推翻的暂时的构想。然而，相对于科学的影响而言，理性的科学家们更关注的是科学问题本身，以及科学传统的延续性。

在科学革命之后，西方科学又经过了战争的洗礼。在二战中，除了智慧之外几乎一无所有的科学家被卷入了战争的漩涡，比如海森伯、奥本海默、爱因斯坦等，他们暂停了实验室中的自由探索，而加入了战斗、前线或者研究室。他们不得不面对自身对自然的兴趣所带来的战争的恶果。大批科学家流亡到了美国，他们带来了科学的传统、精神与新的科学前沿。欧洲则一直处在恢复期，这种状况一直持续到21世纪。我们所认识的西方现代科学在很大程度上是由美国所发展的。美国的

物理学界是在20世纪发展起来的，更确切地说，是随着量子力学而发展起来的，量子物理是美国称雄的科技基础。在美国这片大陆，诞生了原子弹、计算机、半导体工业、阿波罗登月计划、互联网、3D打印、还有NASA，这些都改变着全世界。

美国的文化也改变了西方科学的面貌。著名的美国哲学家杜威发展了实用主义哲学，这是一种实证型的、经世致用的哲学。美国的新科学家推崇实验、实证、数学，他们更关心的是研究成果如何工业化、专利化、商业化、军事化。他们不推崇大而化之的哲学性、思想性的研究，对形而上学（*meta-physics*）¹⁰¹更嗤之以鼻，而这些是欧洲科学的一个传统内容。丹麦的量子物理大师玻尔曾去美国做巡回访问，他演讲中带有深切的哲学关怀没有引起美国物理学界丝毫的兴趣。一个典型的对比是战后美国物理学界的泰斗费曼，也许他那句“物理学好比性爱”（*physics is like sex*）经常被人误解¹⁰²，但是，他对哲学没有太多兴趣。大部分的美国物理学家也是一样，它们专注于专业研究，讲究精确性、逻辑性。一些带有欧

¹⁰¹ 我这里主要指“自然哲学”，即追问自然本身是什么样子。科学是“形而下学”，主要关注我们能看到的自然是什么样。

¹⁰² 全句子是：*Physics is like sex: sure, it may give some practical results, but that's not why we do it.*

洲传统的物理学家，比如玻姆、阿哈罗诺夫¹⁰³继续顽固地保持对基础问题和形而上学的兴趣，然而他们则被挤到了物理学的边缘地带。

在具体的科学研究中，科研人员需要提出研究计划，由赞助商批准，在一定时间段内结题。赞助商可以是政府、企业、或者大学等。科研工作者的义务是完成计划，为了保证计划可以完成，因此科研人员能够提出的计划多半都是可以完成的，没有太大风险的。如果在科研中有了超出计划之外的成果，那么他会申请新的项目资助。科研已经从贵族的对新奇事物的好奇与消遣变成了大学、研究所的职业工作。在这种机制下，人们也需要分工：有硕士生做最基本的工作，打杂，有博士和博士后做一些必须完成的工作，有研究员教授等做一些组织上、方向上的开拓或总结性的工作，如果课题组足够大，还会有一位大老板负责申请项目，宣传成果，外加一位女秘书。“科研包工头”就是对这位大老板的戏称。其实，我们可以看出，在组织形式上，一个课题组和其他行业中的一个科室、一个部门没有多少区别，而区别主要在于其研究的问题。

当然，在此“体制之外”，还有其他的一些高层次

¹⁰³ 二人做出了大名鼎鼎的“AB 效应”，却一直与诺贝尔奖无缘。

的，比如美国的普林斯顿高研院、英国的皇家学会等有自由的科学家的探索，低层次的有一些不为项目工作的自由的研究者，他们的工作大多是理论性的，因为实验是需要经费的。然而，这些自由探索的人真正体现了科学的精神，比如庞加莱猜想的解决者¹⁰⁴。科学是充满风险、刺激、不确定性的对知识对真理的探索的事业，它充满了曲折和错误，因而也充满了对智力的巨大浪费，然而一次发现就足以弥补种种过失。体制之内的科研，却是有计划的追求确定性的、无风险的、可以应用的。科学家追求项目、资金、甚至名誉，而科研的成果被用来改善技术，改善生活，改变社会，即产生社会化的权力。

与布鲁诺、伽利略相比，科学家们不再需要殉道精神，同时科学研究的门槛越来越低，而公众的科学素养也越来越高。科学的这种变化，是凤凰涅槃之后的平淡，恰恰表明西方科学的某种成熟，一种理性的回归，科学在启蒙以来西方社会中的角色的成熟与确立。当然，科学在西方社会中的角色依然在发展，1996年发生的所谓的“索卡尔事件”与科学大战¹⁰⁵正说明了如

¹⁰⁴ G. Perelman, 俄罗斯人。从 2002 年开始，他在 arXiv 上发表了三篇论文，到 2006 年被确认证明了庞加莱的几何化猜想。

¹⁰⁵ 参见《The One Culture?: A Conversation about Science》，Labinger, Jay A, University of Chicago Press, 2001.

此。这是后现代主义哲学和现代科学的一次交锋。后现代主义研究，比如库恩、费耶阿本德，比较重视科学研究中人的因素，而不是科学本身的发展规律，他们甚至认为不存在客观的物理实在。然而索卡尔杜撰的一篇将量子引力与社会学杂糅在一起的文章对后现代主义发起了挑战。索卡尔的文章引起了科学与人文的交锋，很多哲学家、社会学家、科学家参与到了其中，影响至今。

大概一个世纪之前，在中国的知识分子之间也发生过一场论战，这就是1920年代发生的“科玄论战”¹⁰⁶。丁文江、胡适等是科学派，张君勱、梁启超等是玄学派，这是一场没有硝烟的战争。这次论战的主题虽然是科学与人文，然而背后却是传统与现代、甚至中西文化的矛盾。如果说1850年代的洋务运动主要是将西方文明的引进限制在物质和技术方面，那么科玄论战更进一步地关切到科学文化了。如今尘埃落定，动荡与激扬的年代早已逝去，我们应该爱护自己的传统，并努力传承与发扬。中国社会由于其稳定性和延续性，科技在社会中的角色是比较稳定的，在当代更得到了明显的提升。

¹⁰⁶ 《科学与人生观》，辽宁教育出版社，1998年。

第六章 交互之间



道，人行走在天地之间。

第一节 科学之实践

我们探讨了科学文化的演变，历史的壮美画卷带给我们无尽的思考。然而，我们尚不清楚在过去乃至未来的种种变化中，什么不太容易改变。正如题目中所点明的，正是科学之实践精神。“实践”是个家喻户晓的词汇，然而它是个哲学范畴，想要搞清楚其真正内涵是不太容易的。科学，特别是自然科学，其实践精神体现在其实验方法、理论与实验对照、推广与应用等活动当中。

为了寻找科学精神之源头活水，我们依然要追本溯源。在我们对传统的探讨当中，尚未涉及一个非常重要的方面，那就是墨家。当今，人们对墨家并不陌生，在电影《墨攻》、电视剧《大秦帝国》等影视作品中对墨家及其思想都有很好的描写¹⁰⁷。并且，我国一颗量子实验卫星也被称为“墨子号”，可见科学家对墨子的敬仰。在先秦诸子百家中，墨家的影响力是非常大的。早期有儒墨并称，晚期有墨杨之称。墨家早期的影响主要体现在墨子的政治学说，晚期的墨家中，名辩（逻辑学）一派得到了发展，然而墨家在秦朝之后就基本绝迹了。所幸，从清末开始，墨

¹⁰⁷ 当然，把墨家之人或“墨者”描写为各种大侠则有点夸张了。

学成为了显学，而这一直延续至今。在列强横行的年代，梁启超等人倡导经世致用，而毛主席对墨学也情有独钟，曾经评价墨学是唯物主义的。

墨家不仅有伟大的政治学说，而且有丰富的逻辑学和科技思想。那么，墨家的思想彰显了什么科学文化呢？我们还是先看其三观中的第一观，即世界观。与儒家的“天地人”三才结构不同，墨家的宇宙观和世界观大致是“天鬼人”的结构。上天主宰整个天下，鬼神是上天的使者，是上天接触人类的工具。这个区别是需要仔细斟酌的。我们知道，子不语怪力乱神，敬鬼神而远之，这是孔子和儒家的理性主义。而墨家的选择同样是理性的。虽然，它并不如“天地人”能彰显理性的光辉，但它带有一种自然主义。自然主义正是科学文化的一个特点。科技，是唯物主义的，是从自然界出发的，而不是从人心出发。科学的发展，需要讲究天人相分，主体和客体的分割，人需要把外界当作对象来研究，外界的存在和人本身是相对独立的。如果天人合一，就不会发展出来机械的自然观。正如牛顿力学所描述的那样，机械的物质世界和人类世界是不同的。而在牛顿以前，统治欧洲科学思想的是亚里士多德建立的传统，它把世界描述为有机的、目的论的，甚至万物有灵的。

进而，墨家讲究人的主观能动性，而这正是实践的精

神。正是基于对自然的一种朴素的敬畏，墨家才能把万物当作对象来研究。墨家的自然观的形成，可能来源于其职业：墨者大都是手工业者，农民，工匠等等。这些儒家所谓的“奇技淫巧”和农耕之事，正是人在大自然面前发挥主观能动性的地方。众所周知，墨家在基本物理学，比如力学、光学、杠杆平衡等方面有显著的成就。墨家在机械制造方面，更是成就辉煌¹⁰⁸。墨家的技术对于战国时代农业、手工业以及军事战争具有非常重要的价值。墨家不以为从事农耕、手工业以及商业是低贱的；相反，墨家是平等对待每一个职业的。引申而论，每个职业都是上天分派给人民的。个人和上天直接相连，通过发挥个人的聪明才智，个人是可以取得成功的，中间省略掉一切的社会结构。

西方科学的发展，很大程度上得益于对上帝的目的和智慧（或反证明）。如果墨家得以发展，那么一个自然的发展方向就是去证明墨家所谓的天和鬼的存在以及它们的智慧。当然，由于历史的局限性，墨家一直等到清末才有新的发展机遇，这也有其历史的合理性。如今我们知道，宇宙和自然界的奥秘，需要通过科学去认识。作为科技工作者，我很愿意称自己为一名“墨者”，一方面取其精神，一方面取其音意，即默默无闻，埋

¹⁰⁸ 参见李约瑟《中国科学技术史》。

头苦干。在建国初期，“两弹一星”的科技工作者们隐姓埋名，为祖国做出了杰出的贡献，他们都是我心中伟大的墨者。

可以说，墨学与本书所讨论的阴阳学一样重要，都是传统科学文化的源头活水。我们的浅略探索表明，传统的思想流派都有丰富的科学思想。历史的局促没有给他们充分的调和的机会，然而当今却是天赐良机，正当其时。从学理上来讲，墨家更注重实践，而儒道等更注重理论。儒学、道家等对道、理、气、阴阳等概念进行了理论探讨，而墨家则在实验、认知、应用等方面做了贡献，但对形而上的真理的定义并没有太大兴趣。然而，西方近代科学的兴起，其一大核心的特点就是对真理的追求：为真理而献身。

在多元化的当今世界，道家的天地人道和平共处的哲学尤为重要。老子曰：“道大，天大，地大，人亦大。域中有四大，而人居其一焉。人法地，地法天，天法道，道法自然。”道先天地而生，具有永恒的性质，是万事万物运行的根本依据。天长地久，以其不自生，故能长生。宇宙之道理需要人的洞察¹⁰⁹，

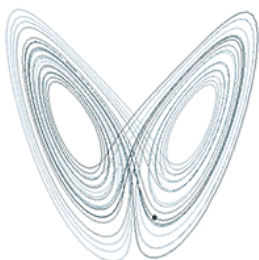
¹⁰⁹ 宋儒将“道”和“理”在哲学上做了区分，参见钱穆：《中国思想通俗讲话》。道偏重应然、规范，理偏重因果、本质。然而，在老子那里，也许道同时有这两方面的精神。

需要善为道之人，是儒家所指的“君子”，是墨家所谓的施行“兼爱”的人。所以才有这亘古不变的名言：“天行健，君子以自强不息。地势坤，君子以厚德载物。”世界是一个整体，人和天地万物都按照道的规律运作，每一方都有自己的特性和职责，然而又不以自己的劳作而自居。生而不有，为而不恃，功成而弗居。

我们的追本溯源到此为止。暂停和反思是必要的。在当今世界，科学研究是世界性的。然而，科学也不是铁板一块，至少在物理学领域中，不同的国家各有特色。着眼于科学文化的未来，我们在儒家中看到了科技的社会角色，在墨家中寻找到了对自然和技术的追求，而在道家看到了对真理和永恒的探求。只有坚信实验出真知，实践出真知，抵制权力与现实的诱惑，才能保持对客观世界的兴趣，在理论与实践的互动中推动科学的进步。

第二节 量子之奥妙

我们本应该以量子物理为讨论的中心。虽然，我们进行了太多的哲学和历史的思考，但是，过多的科学术语和知识也会让人乏味。量子论不是一门年轻的学科，我们需要做全方位的思



相空间中的洛伦茨吸引子，
描述强烈的非线性运动和混
沌。

洛伦茨 (E. Lorenz)，气象
学家，不是发现相对论的洛
伦兹 (H. Lorentz)。

考，甚至追问相干性的起源。我们有必要再次重温量子物理的奥妙，并指出科学家尚未搞清楚的问题。

让我们再次重温一下，量子理论是关于物质运动结构的理论，其运动状态即所谓的量子态，其改变则由哈密顿算符所驱动。这一法则是对牛顿第二定律的推广。更进一步，我们可以从“相空间”这个概念来看。最简单的相空间是由位置和速度构成的，它们构成一个简单的平面直角坐标系。物体一系列的状态在这个相空间中构成某个曲线。为什么是由位置和速度（或动量）构成坐标呢？因为二者的乘积是“作用量”，即能量与时间的乘积，而物质运动都遵循所谓的“最小作用量原理”，这是由哈密顿、拉格朗日等物理学家在分析力学中所建立起来的原理。它表明，物体运动的状态满足稳定性的要求。给定其作用量，就可以导出其运动方程。下图是有名的洛伦茨吸引子，其非线性和混沌可以在相空间中得到完美描述。

量子理论可以看作是一种高级的相空间理论，进而统一

了物理学的不同分支。这里的相空间是指希尔伯特空间，量子态的“实部”和“虚部”构成了它的“横轴”和“纵轴”。一个量子态可以由一系列的虚数来表示，其实部和虚部正好比位置和动量一样，而其演化要遵循所谓么正性（unitary）的要求。相空间同样适用于电磁学，电场和磁场构成了光子的量子态的实部和虚部，而麦克斯韦方程组可以写为量子的形式。量子理论所表明的与经典物理不同的地方在于，对于一个包含多个相互作用粒子的系统，其相空间的维数是随着粒子数目而指数式地增长，这远远高于经典物理中的线性（或多项式）地增长。其原因正在于我们所介绍过的量子纠缠，它不仅描述了每个个体的状态，而且描述了个体之间的关联，而其基础则是量子相干性。

物理学家发现了相干性，进而可以利用相干性去发展量子技术。然而，这也带来更多的疑惑。人们发现，对于一个未知的量子态，无法通过量子的手段去精确得知其信息，这是由所谓的不确定性关系来规定的。例如，对于包含位置信息的一个量子态，需要通过对动量的测量来得到位置的信息。然而，位置和动量算符是不对易的（即不共存的），即其信息不能同时确定。如果有 n 个此量子态的样品，我们所能得到的精度是 n 的负二次方。在现实当中，这没有任何问题，因为人们往往不需要太高的精度。然而在理论上，这是一个令人困惑的问题。实际上，量子论的创始人玻尔基于此提出了互补原理，认为物质的性质是由互补

的量来共同决定的，而其后辈贝尔¹¹⁰提出了非定域性，来刻画由于相干性所导致的物理量之间的非对易性。在哲学上，这可能导致不可知论，比如在休谟、马赫的哲学中，事物的本质是无法得到精确认识的。这在一定程度上影响了一些物理学家的思想，包括著名的爱因斯坦和海森伯。

然而，避免这种认识困境的方法也是简单的，即按照确定的方案去制备一个量子态。一个复杂的量子态，可以通过从一个简单的量子态演化而得来。其实，这种信息上的极大不对称并不是特例。在数学中，有一类单向函数，其求解非常复杂，然而如果给定答案，则非常容易验证。在计算理论中，这类问题属于NP问题，是任何计算机都非常难以求解的问题。这种单向函数被普遍应用在密码学当中，保护着社会的信息安全，这在信息社会是至关重要的。对于信息安全，科学家们至今发现了两种量子的角色。其一，由于相干性，这导致了量子算法的存在，它们可以快速地破解某些被认为很难的密码，例如肖尔的大数分解算法，可以破解RSA密码。其二，具有相干性的量子态本身可以构成量子的密码，使得量子计算机也无法破解。然而，为了保持相干性，人们需要做出更多的努力。量子时代的信息安全，依然是一

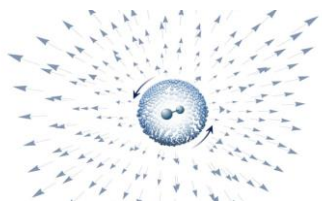
¹¹⁰ 贝尔（John S. Bell, 1928-1990），与诺贝尔奖擦肩而过的物理学家。

个未竟的事业。

对于相干性，也许最为头疼的一个事情是，“退相干”非常容易发生，即在外界的干扰下，一个物体的相干性退化了。对于微观粒子来讲，其外界干扰一般是某些外场或真空的干扰。许多奇特的量子性质，比如超导、纠缠等都发生在极低的温度下，绝对零度附近，即零下两百五十多度左右。我们都很熟悉温度这个概念了，它描述了热和能量传递的性质。在我们所认识的日常世界中，相干性是无法得到保持的，这构成了经典物理与量子物理之间巨大的鸿沟。而彭罗斯曾经设想，退相干与引力密切相关。由于质量或能量导致引力的存在，在引力场中的物体会受到引力场的干扰，不可避免地退相干。一个微小的电子可以同时从两个离得很近的狭缝通过同时保持相干性，然而一只小猫，即薛定谔的猫，由于其巨大的质量，导致不能同时处在生存和死亡这两个状态上。但是，我们依然要保持怀疑的态度，物理学家的论证并不是结论。也许生命的状态本身就是生与死的叠加，生命的过程就是从生到死的不可逆的演化。作为对相空间的发展，量子论中并未有某个原理表明，量子物理不适用于宏观物体。在天体物理当中，人们也在研究引力、黑洞等的量子性，这些巨大物体是否具有相干性是量子引力学必须回答的问题。

与相干性的谜团密切相关的是对称性。李政道、杨振宁

先生的发现说明了对称性在物理学中的作用，更说明了对称性破缺的重要性¹¹¹。正统的理论虽然没有把退相干描述为一种对称性破缺，但把从量子到经典的变化理解为某种相变即对称性破缺，也许不无道理。在数学上，这对应于从完全正定的过程到正定（positive）过程的变化。物理学中最著名的对称性破缺也许是电磁对偶的破缺。自然界中存在电的“单极子”，即带正电或负电的粒子，然而并不存在磁单极子。一块磁铁总是有南极和北极，这一从初中甚至小学就知道的自然现象到目前似乎尚不能完全解释清楚。预言了正电子的物理学家狄拉克¹¹²一生致力于研究这个谜团。不仅仅是电磁的不对称，包括正电子在内的所谓的“反物质”与我们常见的“正物质”也存在巨大的不对称。正反物质相遇则会灰飞烟灭。物理学家设想，在宇宙的某些地方，存在着反物质，那里可能也存在着磁单极子，甚至异样的生命。



¹¹¹ 参见《对称与不对称》，李政道 著，清华大学出版社，2000.

¹¹² 狄拉克 (Paul Dirac, 1902-1984)，建立电子运动的方程，发现正电子，以及量子论早期经典教材《量子力学原理》，与冯诺依曼的《量子力学的数学基础》齐名。

第三节 哲学之启蒙

最后，我们再强调一下本书的写作方式。也许本书讨论了太多的哲学，这难道不是一本关于量子的书吗？我们所尝试的是一种所谓“文科普”的方式。与科幻电影类比，有“硬科幻”与“软科幻”之分，前者涉及大量科技知识，而后者更多是想象。我们也可以定义硬科普与软科普，而文科普则在二者之间。它是在坚实的科学基础上，进而联系到人文、社会、文化，甚至哲学。

我还要不厌其烦地强调哲学思维的重要性。正如科学所表明的，我们的世界并不只是眼睛所看到的样子，而是思维所能塑造的样子。在思维的深处，充满了宇宙的奥妙。宇宙在哪里？宇宙是如何演化而来的？事物运动的法则是如何建立的？当你在思考宇宙、生命的起源时，已经是在进行哲学思考了。哲学，就像是从宇宙的本源来看待世界，现实为何如此，又应当如何。

笔者并不是哲学的科班出身。在大学期间，发现了哲学的魅力，阅读了大量的哲学著作。虽然可能是个外行的功夫，但是自认为对于进行科学研究（或其他工作）是大有帮助的。哲学的思维就是强调理性、批判与创新，透过现象去看本质，通过实践得到真知。当然，哲学思辨锻炼的只是我们的大脑（也许也包

括口才与写作），但并不包括我们的躯体。对哲学家最有力的讽刺也许是这个寓言了：一个渔夫与一个不会游泳的哲学家掉到了河里，渔夫问到：是生存还是毁灭？洞悉了人性的哲学家肯定知道答案是后者，而可能目不识丁的渔夫凭借着出色的泳技生存了下来。然而，破解这个尴尬也很简单，哲学家可以去练习一下游泳，或者渔夫得到一些教养，知道救人一命，善莫大焉。

我们所进行的哲学思考是非常初级的，它局限于对基本范畴的讨论。正如对于每一门学科而言，都有一些基本的概念。在哲学中，有一些基本的范畴，它们一般成对出现，比如大与小、一与多、体与用、源与流、思与在、理念与现实、主体与客体、主观与客观等等。这些范畴与我们日常用语中的含义不尽相同。而一旦剥离了语义的干扰之后，则会逐渐达到理性的澄明之地。在本书对量子的智慧和科学文化的探讨之中，我们惊奇地发现，这种二元范畴或对偶同时存在于哲学和科学之中。也许，量子物理的科学印证了哲学的原理；或者，哲学的思辨被量子物理所证实。

然而，量子物理的发现已经有一个世纪之久了！我们不禁思考，下一次物理学的革命会什么时候出现？会不会有新的法则被发现？20世纪下半叶以来，涌现出了一些研究复杂系统的学科，这包括非线性、自组织、人工智能等，然而尚未达到革命的

前夜。哲学家也注意到了这些变化。例如，霍兰在《涌现》中¹¹³，用“涌现”来描述复杂性，一个系统的整体性质不能还原为其中部分的性质，表现为多主体的互动。更为深刻的是后现代的一些思想家的批判。比如，哈贝马斯阐释的“交互理性”¹¹⁴，认为理性不表现为主体与客体的关系，而是存在于主体的交往之间。哲学中对理性的重建，一方面来自于对人类中心主义的批判，一方面来自于现代社会的激励。与牛顿、康德或者玻尔的时代不同，现代社会以前所未有的速度达到了空前的规模。这是一个多元的、多主体的世界，是一个复杂的、网络化的、去中心化的世界。

在交互之间，是美的涌现。在甲骨文中，“美”是大上面一个羊，实则是指人在祭祀天，是人对天闻道的过程。而“道”描写的是一个睁大眼睛的人在路上走，是人在不断地进行实践。在当今社会，这个科学与人文分野的时代，我们需要进行横向的交互式的探讨，这也是对交互理性的实践。在本书中，通过我们围绕量子的多角度的探讨，希望读者不仅能得知一些量子物理的知识，更能从自然的原理当中领悟到智慧。

¹¹³ 《涌现》，霍兰 著，上海科技出版社，2006.

¹¹⁴ 《现代性的哲学话语》，哈贝马斯 著，译林出版社，2004.