

量子层面的非生命物质关系对量子神经关系的科学解释

侯彭振¹, 蒋显荣²

(1.长沙理工大学 科技与社会发展研究所, 湖南 长沙 410114;

2.长沙理工大学 马克思主义学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:量子脑、量子意识和量子思维的概念在近几年的科学论文和通俗出版物中都获得持续的关注和传播,其中一个量子力学如何测量意识。这个问题的一个解决方案是改变试验中有意识观察者的参与方式,而这种参与方式将会从根本上改变我们对宇宙的理解和我们与外部世界的关系。在过去的十年中,该主题已经成为一个热门的研究领域。它关注的是量子物理学的规则是否能作用于生物结构。在有关光合作用和动物的嗅觉与磁场方向感的邻域的最新研究显示:量子物理学定律很可能可以作用于温暖潮湿嘈杂的生物结构。从哲学层面看,唯物主义原则,即非生命物质关系仍是解释意识的根本方法论。

关键词:量子物理学;测量问题;意识

[中图分类号]N02 [文献标识码]A [文章编号]1672-934X(2022)02-0037-08

DOI:10.16573/j.cnki.1672-934x.2022.02.006

The Scientific Explanation of Non-Living Matter Relationship at the Quantum Level to the Quantum Neural Relationship

Hou Pengzhen¹, Jiang Xianrong²

(1. Institute of Science, Technology and Social Development, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan, 410114, China; 2. School of Marxism, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

Abstract: The concepts of quantum brain, quantum consciousness, and quantum thinking have received continuous attention and dissemination in science papers and popular publications in recent years, one of which is how quantum mechanics measures consciousness. One solution to this problem is to change the way that conscious observers participate in the experiment, which will fundamentally change our understanding on the universe and our relationship with the outside world. In last decade, this topic has become a hot research area, which focuses on whether the rules of quantum physics can act on biological structures. The latest research, in the neighborhood of between photosynthesis and

收稿日期:2021-11-10

基金项目:湖南省教育厅科学研究重点项目(19A031);湖南省教育科学规划课题(XJK20ADY001);新时代加强研究生学术道德建设研究(JG2021YB31)

作者简介:侯彭振(1992—),男,硕士研究生,研究方向为科学技术哲学;

蒋显荣(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事科学技术哲学、管理哲学研究。

animals' sense of smell and magnetic field orientation, shows that the laws of quantum physics are likely to be applied to warm, humid and noisy biological structures. From a philosophical perspective, the materialist principle, that is, the relationship between/among non-living matters, is still the fundamental methodology for explaining consciousness.

Key words: quantum physics; problem of measurement; consciousness

量子力学从它的开端就引发了两个重要的讨论:一个是意识在量子测量中能否发挥作用?也就是量子测量问题^[1],意识的载体人是量子测量的观察者和参与者,人可能影响了测量的结果。从哲学诠释学的角度,仍难以给出答案^[2],因为多世界的概念、隐藏变量和其他粒子层面的影响还没有解决方案。量子力学的权威学者约翰·冯·诺依曼和尤金·维格纳^[3]、约翰·惠勒^[4]和伊万·沃克^[5]已经注意到并提出了量子力学中的意识和观察者对测量结果的影响,但另一些量子理论家认为观察者与量子实验的结果没有关联。另一个是关于物理学是否只涉及非生命物质或量子物理学定律是否能作用于生物结构的问题这一讨论还没有达到试图用量子测量来解决争论的程度^[6]。从哲学上看,用非生命物质关系能推测性解释生物体的神经关系,因为当我们考虑生物实体时,所有的生物结构可以被简化为生物化学结构并可进入量子物理更深层次予以解释。事实上,科学界已经尝试对离子、小分子和蛋白质水平的过程(即受体、离子通道和酶)进行非生命物质的解释。

一、量子测量与意识

我们可以很容易理解神经细胞活动的性质:动作电位的产生,离子交换,能源的使用,轴突运输,囊泡循环和神经递质的生产、循环和分解;我们不理解的是经验是如何在我们物质的大脑中形成的以及意识是如何从无意识的物质中诞生的。值得注意的是,经典物理学没有提及如何理解内在经验^[7]。基于这一缺陷,一个新的概念——量子神经生物学应运而生。量子神经生物学是一个我们还没有完全习惯的概

念。它指的是在神经系统中量子物理学作用的一个狭小领域,如像意识、记忆、内在经验以及选择、决策过程产生于温暖潮湿嘈杂的大脑。根据量子神经生物学理论,产生于温暖潮湿嘈杂的大脑中的意识、记忆、内在经验以及选择、决策等生物学过程,可能就是量子物理作用的结果。根据这一观点(与传统观点相比之下),处理信息的单元并非是神经细胞而是神经细胞中更小的“量子单元”及单元之间的相互作用。从哲学来看,这是一种还原论或超级还原论思想。

如果量子物理学加上神经生物学可以解释正常大脑的活动,那么,同样可以用来解释精神疾病的病理过程^[8]。量子精神病理学^[9]就是这一理论的延伸。到目前为止,已有论文用量子神经生物学理论解释“抑郁”“神经性厌食症”“阿尔茨海默症”“精神分裂症”等,下一步可能涉及怎样治疗了。对于这一问题的哲学研究,目前已经非常多,我们仅从量子生物学的观点讨论量子神经生物学理论和量子精神病理学这两个基本范畴。

量子测量的问题,使用一个更专业的表达即波函数的坍缩。解决测量问题目前还没有一个明确的解决方案。因为事物的可能性问题的存在,难以明确测量。以“薛定谔的猫”的思想实验为例^[10]。在这个假想的实验中,猫完全与外部环境隔离,只与一个半衰期为 10 分钟的放射性原子呆在一个盒子里。如果在 10 分钟后检查原子的状态,我们将看到两个可能的结果之一,核分裂或没有分裂。如果原子核分裂,猫会死;如果没有,猫会活。根据量子物理学,在实验者打开盒子之前,这只猫同时是活着和死了,即“生与死状态叠加”^[1]。打开盒子的实验观察者将猫从“生死叠加状态”转为生或死的单

一状态。听起来这很奇怪,但量子世界就是这样工作的,蕴含各种可能性,且同时都为真。

埃尔温·薛定谔试图用思想实验中猫的悖论来解释量子世界,却以实验者对猫的多种可能性情况感到困惑而结束,至今这一困惑仍然存在。为了解释量子世界更为广泛的可能性,加入了观察者。当存在一个有意识的观察者时,任何被观察到的东西都叠加了观察者的思想。维格纳进一步将意识作为在量子力学方程中包含的一个隐含变量。在休·埃弗雷特的多重世界(精神构想)中,有一个分支和分裂波的函数。即客观世界已经分裂为无限个不同的意识,它们相互之间无法感知^[11]。奇若蒂等人^[12]和彭罗斯的客观坍缩理论^[13],在排除意识干扰情况下,“退相干理论”提出了客观世界完全独立于意识的多层可能性方法。在退相干理论中,现实中量子概率完全来自环境的影响。量子概率过程的测量是一个量子开放的系统,开启系统的行为决定了其与环境的相互关系。这完全是客观行为,因此,在测量过程中不需要观察者。

量子概率问题存在这么多分歧是因为我们对世界的可能性还有很多猜想。或者实验者的有意识观察对量子概率有影响?抑或是物理定律被客观地降为终极状态而不依赖观察者?或者意识独立于世界可能性之外?讨论了近一个世纪的量子因果哲学对世界可能性将会带来更多新的启迪。

所有的思想包括科学都可以用语言来表达。量子力学的语言继承了统治几百年的经典牛顿物理学。这种语言被用于一个宏观的、以确定性经验和计算构建的世界。当被用来描述量子世界的奇怪属性时,使用原来的语言和思维模式显然是不合适的。我们已经习惯用包含了广义和狭义相对论的一种新语言,但该语言的原则仍然不适合描述亚原子结构及其行为。简单地说,缺乏第三个可能的原则都不适用于

量子力学。所以,目前还没有合适的语言和合适的量子力学词汇。人们试图为量子世界创造一种主谓宾结构的新语言,但并没有达到预期效果^[14]。矛盾在于:一个可接受的描述量子世界的语言无法被人为创造。语言随着经验和时间而自然发生变化。如德里达所说,在任何情况下,没有可以表达所有可能性的通用语言。

在用经典力学信息表达一个量子系统时会有信息丢失。我们作为实验者、观察员时,会改变获得信息的自主性及可靠性^[15]。此外,测量仪器、位置、速度和动量的微观特性和相互作用并未被记录。除了这些客观的东西之外,信息丢失还与科学使用的描述性语言密切相关。

量子测量的一个关键性问题是实验者和实验装置的互动关系对量子世界的影响。对这个问题的回答有助于我们对宇宙发展的理解。一般来说,这就是各种水平测试的结果。问题是未来的结果是观察者造成的还是仪器已经测出来的呢?简单地说,就是我们是世界的参与者还是观察者?量子力学创始人,如冯·诺依曼^[16]、维格纳、马基瑙^[17]、惠勒等甚至把参与和观察融合,一起来描绘量子世界。一个没有观察者的完全封闭的系统是一个物理内部系统。当这个物理内部系统被分为观察者和观察到的部分时,这意味着我们正在用系统之外的物理学描述它和影响它。内部物理遵循普遍规律,描述独立于人类的客观存在,而外部物理描述感知、观察、测量和评价等。当二者融合时,难以区分主体和客体的东西,而演绎出新的存在。因此,在量子测量问题中区分主观与客观就没有必要了。

有研究显示,一个有意识的观察者或意识本身会影响涉及“概率”的量子物理过程^[18],也会影响到其他涉及“概率”的随机过程^[19],甚至还有证据表明一个观察者的期望可以改变实验的结果^[20]。对这个问题的持续研究者,物理学家赫尔穆特·施密特研究了意识和观察者对量

子力学概率过程的影响,得出的结论是:在一定条件下意识和随机物理过程是相互作用的^[21]。近期,其他实验室也得到了类似的结论^[22]。但是,这些实验结果却被大多数研究量子物理学的人忽略了,因为这些结论与现有的科学模式相冲突。根据这些研究的结果,量子对象知道它们正在被观察,并根据人们的目的而改变它们的行为。这一说法与我们对宇宙的一般理解和我们对客观的预测有着根本的冲突,它甚至可以使一些量子物理学家从他们的座位上怒跳起来。但是,当我们回顾科学的历史时,我们可以看到,任何革命性的想法都有与此类似的阻力。在过去的五十年中,68 个不同的实验室发表了大约 800 篇关于意识、目的和观察者对随机量子过程的影响的研究报告。这些研究报告给我们的启示是:在理解和解释信息的方式上,我们需要转变思维模式^[23]。

二、量子神经生物学模拟非生命物质关系

量子生物学被定义为是一门将量子物理学的特征应用于生物学的对象和结构中的学说。量子物理学的“叠加”“非局域性及纠缠”“隧道效应”以及“普朗克常数”的研究都可应用于生物学。量子物理学的创始人之一的埃尔温·薛定谔在 1945 年写的《生命是什么?》这本书,实际上就是从量子生物学角度研究 DNA 的结构成果。另一个对生物学史有影响力的物理学家是赫伯特^[24]。他提出,类似于量子物理学的基本特征之一的“玻色—爱因斯坦凝聚态”的相干性(凝聚、联接)在生物系统或细胞中可能存在。他坚持认为相干性(凝聚、联接)可以成为生物振荡器的基本原则^[25]。

大脑最重要的特征是它的整体性工作和它的相干性状态。只通过简单的离子电流和神经细胞产生的相互连接的网络似乎很难解释这种相干性状态和整体性工作。从经典科学的角度来看,我们思维的速度和流动性比人脑物理状

态的整体工作要快得多。为了解释人脑物理状态的整体的和相干的工作,需要超越经典科学来解释量子力学的“玻色—爱因斯坦凝聚态”。量子力学下整体性工作可能就是人的记忆、思维、人格和自我意识等的来源。随着对光合作用研究的进展,量子理论在动物的磁性测向(磁感应)和嗅觉方面有所进展,也说明量子生物学已经成为一门公认的学科。

(一)离子通道

证明这一学科合理性的证据是:量子物理学现象中的“隧道效应”会发生在生物结构中^[26]。在蛋白质的功能中,已确定电子或质子传递经常发生在一些氨基酸之间。例如,核糖核苷酸还原酶,电子或质子从酪氨酸传递到距离 3.5 nm 的半胱氨酸^[27]。从目前的研究推测,可能有从色氨酸到 DNA 的电子传递^[28]。生物中最典型的电子载体是细胞色素。细胞色素是由血红素的分子核心构成,而血红素的核心成分是从二价氧化成三价的铁离子,正是这个离子造成了电子传递^[29]。

体现量子力学特质的术语,如“量子比特”“非局域性及纠缠”“隧道效应”“粒子之间的相互作用”“玻色—爱因斯坦凝聚态”“粒子和场波”这些都可以帮助我们理解大脑。“量子比特”与经典的“比特”位只是 1 或 0 相比,“量子比特”提供了更多的可能与选择。根据经典知识的理解,像钙或钾这样的离子,每个离子通过一个离子通道。离子通道长约 1.2 纳米,通道内径约 0.3 纳米。然而从量子物理学的观点来看,一个离子不只是影响其通过通道,它也对邻近的通道产生影响;不只通过单一的确定的粒子通道,还通过那些不确定的通道。例如,根据量子的不确定性原理,钙离子的不确定度为 0.04 厘米。根据这个值,不确定性的有效值是离子本身直径的 1 亿倍。人的大脑中有十亿亿个钙的离子通道,这种不确定性将是惊人的。钾离子也是如此。钾离子德布罗意波长为

0.05 纳米,据计算,它可以通过 0.25 纳米宽的离子管进行量子“隧道效应”和衍射。不仅离子是这样,神经递质也是如此。例如,一个直径 8 纳米的神经递质影响方圆 63 纳米的面积。量子物理学告诉我们的是,在微观世界,一个钥匙插入一把锁的同时,它也起到了打开其他门的作用。离子和突触里的神经递质可能受到量子纠缠的影响^[30]。

(二)视觉

生物中光化学过程可以通过视觉机制来解释。视力的获得是从覆盖眼睛后部的视网膜开始。视网膜是由神经视网膜和色素上皮组成的层状结构。神经视网膜的光感受器感知光,然后光感受器将光子的能量转变为生物电的能量形式^[31],同时引发一系列的将光子能量转换成生物电的细胞的代谢活动,最后生物电到达大脑并产生视觉^[32]。

当一个原子或分子吸收光子的能量时,其任何轨道上的电子发生位移就是光电效应。视杆细胞使得人们在黑暗中得以看到,目前已经证实有些适应暗光的人的眼睛能感受到 5—7 个光子^[33]。但一些研究者声称,人类的视觉临界值为 2 个光子,而另一些研究人员认为,大脑可以分辨出 1 个、2 个甚至是 3 个光子。从蝾螈的眼睛中取出的视杆细胞对单个光子的响应已经在一定的条件下被观察到,并且可在人造环境中保持^[34]。一个视锥细胞比一个视杆细胞对单个光子的响应持续时间短且微弱十分之一至百分之一。据观察,单个光子对单个视杆细胞的影响阻止了 107 级的阳离子的进入^[31]。

(三)嗅觉

1990 年,生物物理学家卢卡·图林提出了关于气味如何影响感受器(受体)的新建议。但是,这个理论在当时很少有人注意。他提出,嗅觉感受器不仅对气味分子的形状作出反应,而且还有它们的振动或声子。他进一步提出,把分子振动变为气味信号的方式可能是“非弹性

电子隧穿谱(IETS)”^[35]。经典知识认为,每一种香水的气味都有它自己独特的形状,其特定气味来自分子量、官能团、极性、酸度、碱度和空间相互作用于这些方面的构造上的差异。IETS 是作为从电子供体分子夺取一个电子的生物结构的嗅觉感受器中的“隧道效应”^[36]。

金属离子可能是嗅觉所需要的。DNA 分析表明,嗅觉感受器与锌结合位点密切相关。我们虽然早已知道,锌是一种与嗅觉相关的金属离子,缺乏它会导致嗅觉丧失,但是它的功能至今还不清楚。锌可以被视为替“隧道效应”提供必要的电子过程且具有联系作用的功能^[37]。卢卡都灵的气味理论解释了数量有限的气味探测器是如何区分数量更为庞大的不同气味或芳香的。此外,该理论还解释了为什么具有类似结构的分子有不同的气味^[32]。

三、人脑中的磁场与意识

大脑有自己的非常弱的磁场(10^{-15} NT or 0.1 PT)。这一磁场源于神经细胞的放电以及离子进出细胞的运动。在任何情况下,大脑中的每个神经细胞轴突都有由离子流产生的电场。哪里有电流,哪里就会产生一个垂直于它的磁场。由于大脑中的神经细胞是随机分布的,所以它们所产生的磁场是零。然而,大脑皮层中神经细胞的排列和平行层叠的海马体增加了局部磁场。在人的大脑皮层上,每平方毫米有 104 个神经细胞。在这个体积中有约 200 个相邻的神经细胞。对一个细胞的激励足以影响到许多神经细胞。由于电场相互结合,所产生的磁场相互叠加,叠加不仅使大脑的磁场更清晰,而且同时使大脑中的遥远地区相互之间产生相干关系。

大脑的磁场可能是意识的附带现象,也就是反映基础动力学的一个现象。或许恰恰相反,大脑的磁场可能对意识有调节作用,甚至可能是意识的来源。在日常生活中,我们可以对

无线电和电视中非常复杂的磁信息进行解码,并将其转换成声音和图像。同样,大脑中的神经信息可能代表电磁。神经细胞中的相干放电也许为信息从神经细胞传递到磁场提供了可能性^[38]。

许多物理学家都发表了关于量子测量问题及其与观察者或意识的关系的论文,而且他们基本上都是了解深奥数学公式的物理学家。但是,量子神经生物学是神经学家可以更容易使其概念化的一个领域。这是因为它基于量子物理学对大脑产生更高级意识功能所作的贡献以及对麻醉是如何暂时停止意识的理解。这些更高级意识功能包括:生物大脑中记忆的储存和回忆、自由意志、决策判定、意识和不同的意识状态^[39]。经典牛顿物理学定律、锁钥模型、逐一地分析神经细胞和突触功能以及非线性的方法是不足以解释在物质大脑中是如何产生更高级的意识过程的^[7]。尽管许多基于生物学的理论被提出,但有些太保守或是隐喻。通常,由于这些理论的基本功能单元是神经细胞或更小的量子尺度(如微管或自旋),因此有些人认为这些理论是“超还原论”。有趣的是,正是这种量子生物学超还原论的结果产生了整体大脑的工作,还原成非生物的物质来解释意识。

对于这种还原,一些固体物理学家认为这是不可能的,但大多数量子物理学家认为这是可能的。对大脑的神经生物学中量子物理学的功能最强烈的反对观点就是认为,它是“温暖、潮湿和嘈杂的”^[40]。但是我们看到,光合作用、嗅觉和磁感应这些量子生物学现象的例子,在一定条件下可以在包括大脑在内的、温暖和潮湿的生物中依照量子物理学而进行。

一些神经学家认为,突触传递不遵循经典扩散模型和锁钥模型而是以量子隧穿的方式发生。由于许多神经学家不知道量子物理学,因此这些理论首先被物理学家提出是可以理解的。“隧穿效应”是量子物理学的一种特有现

象。在“隧穿效应”中,一个量子化粒子并没有足够能量来通过势垒,但却有可能做到。决定这个可能性的是势垒的宽度和高度。粒子不跳过势垒而到达另一边,就像穿过了它。这类理论的哲学方法,沿用了唯物主义原理,它不仅是研究大脑运作的一种新方法,同时也是研究意识的产生以及意识与大脑的联系问题的一种新方法。

根据 Walker 的理论,在化学性突触和电突触里发生的量子隧穿是意识形成的起点。在突触间隙中,电子、离子和神经递质进行隧穿。在细胞内的、作为隧穿电子来源的微管和 RNA 作为电子供体被添加到了理论中。Walker 注意到通过电子隧穿计算得出他的理论与大脑的意识状态和 40 赫兹的伽马频率之间的联系相互匹配。

非生物物质关系移植到脑科学,是将新大脑皮层的精细结构与量子物理学联系起来。他们将新大脑皮层的基本单元看作树突。树突是物质大脑的基本单元。唯心主义传统与此相反,假设带有精神信息的心灵粒子作为精神的基本单元,就是说,对于每个生物树突都有一个精神的心灵粒子^[41]。心灵粒子是新大脑皮层最终的进化产物;精神意图产生于心灵粒子,并且在大脑相关区域的树突影响精神意图;在可见的身体运动(举起手臂、说话)和无形心理的过程中(思维、想象),突触后电位(EPSP)产生树突里成千上万刺激;心灵粒子和树突之间的所有相互作用都发生在量子物理学定律之下^[42]。突触化学性循环完全由量子概率和“隧穿效应”起作用。所有这些在大脑中相干的相互作用形成了我们的感觉、内心世界和意识的统一。这解释了精神意图如何导致大脑中区域性血流变化。也就是说,它提出了一个解决精神和大脑联系的问题的方案。比较而言,基于唯物主义神经生物学占据了科学研究的主流。

我们所说的科学是指从自然中获得的信息的系统化。自然从一开始就有自己的定律。这些定律中有一些很容易表达,而另一些则超越我们的理解甚至超出了我们的逻辑感。我们去了解自然及其运作方式就构成了我们的科学知识的生产,而且永远不会结束。我们可能永远不会真正了解大自然的所有运作方式或只能接近真理^[43]。当我们看到在生物结构中的量子物理学的运作的时候,也许我们并不知道还有其他科学定律,甚至没有注意到自然有时甚至纵容我们的“异常”,但我们要向自然学习,从非生物物质关系出发,了解意识的深层结构,这一方向仍要坚持。

〔参考文献〕

- [1] Tarlaci S. The Measurement Problem in Quantum Mechanics: Well, Where's the Problem? [J]. *NeuroQuantology*, 2012, 10(2): 216-229.
- [2] 洪汉鼎. 论哲学诠释学的阐释概念 [J]. *中国社会科学*, 2021(7): 114-139, 206-207.
- [3] Achterberg J, Cooke K, Richards T, et al. Evidence for Correlations Between Distant Intentionality and Brain Function in Recipients: A Functional Magnetic Imaging Analysis [J]. *Altern. Complement. Med.*, 2005 (11): 965-971.
- [4] Arndt M, Juffmann T, Vedral V. Quantum Physics Meets Biology [J]. *HFSP*, 2009, 3(6): 386-400.
- [5] Walker E H. Quantum Mechanical Tunneling in Synaptic and Ephaptic Transmission [J]. *Int. J. Quantum Chem.*, 1977, 11(1): 103-127.
- [6] Tegmark M. The Importance of Quantum Decoherence in Brain Processes Phys [J]. *Rev. E*, 2000(61): 4194.
- [7] Tarlaci S. Why We Need Quantum Physics for Cognitive Neuroscience [J]. *Neuro Quantology*, 2020, 8(1): 66-76.
- [8] Pylkkänen P. Implications of Bohmian Quantum Ontology for Psychopathology [J]. *Neuro Quantology*, 2010, 8(1): 37-48.
- [9] Beck F. Synaptic Quantum Tunnelling in Brain Activity [J]. *Neuro Quantology*, 2008, 6(2): 140-151.
- [10] 王伟长. 武谷三男的物理学哲学思想及其影响与启示 [J]. *长沙理工大学学报(社会科学版)*, 2021(6): 24-31.
- [11] Blutner R. When Quantum Mechanics Interacts with Cognitive Science [J]. *Neuro Quantology*, 2010, 8(4): S66-70.
- [12] Bohm D. Wholeness and the Implicate Order [M]. Routledge, 1980: 38-101.
- [13] 左承承. 彭罗斯对意识的量子力学探索及其心灵哲学意义 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.
- [14] Stamenov M I. The Rheomode of Language of David Bohm as a Way to Re-Construct the Access to Physical Reality [M]. *Brain and Being*, 2004: 147-164.
- [15] Cherry N J. Human Intelligence; the Brain, an Electromagnetic System Synchronised by the Schumann Resonance Signal [J]. *Med Hypotheses*, 2003, 60(6): 843.
- [16] Cocchi M, Gabrielli F, Pessa E, et al. Major Depression and Bipolar Disorder: The Concept of Symmetry Breaking [J]. *Neuro Quantology*, 2012(4): 676-687.
- [17] Cocchi M, Gabrielli F, Tonello L, et al. The Interactome Hypothesis of Depression [J]. *NeuroQuantology*, 2010, 10(4): 603-613.
- [18] A. Yu. Khrennikov. Epr-bohm Experiment and Bell's Inequality: Quantum Physics Meets Probability Theory [J]. *Theoretical and Mathematical Physics*, 2008, 157(1): 1148-1460.
- [19] Dzharafarov E N, Kujala J V. Selectivity in Probabilistic Causality: Where Psychology Runs into Quantum Physics [J]. *Journal of Mathematical Psychology*, 2012, 56(1): 54-63.
- [20] Muller F A. The Influence of Quantum Physics on Philosophy [J]. *Foundations of Science*, 2021(1): 1-12.
- [21] Jahn R G, Dunne B. The Pear proposition [J]. *J. Sci. Explor.*, 2005(2): 195-246.
- [22] Selesnick Stephen, Piccinini Gualtiero. Quantum-like Behavior Without Quantum Physics III: Logic and Memory [J]. *Journal of Biological Physics*, 2019(4): 335-366.
- [23] Das Sreetama, Kumar Asutosh, Sen (De) Aditi, et al. Quantum Process Randomness [J]. *Physics Letters A*, 2021: 387.
- [24] 许涛, 徐赐文. 关于量子隐形传态的研究进展及应用分析 [J]. *中央民族大学学报(自然科学版)*, 2015(1): 79-83.
- [25] Pitt J A, Gomoescu L, Pantelides C C, et al. Critical Assessment of Parameter Estimation Methods in Models

- of Biological Oscillators [J]. IFAC-PapersOnLine, 2018, 51(19): 72-75.
- [26] Michel Le Bellac. The Role of Probabilities in Physics [J]. Progress in Biophysics and Molecular Biology, 2012, 110(1): 97-105
- [27] LaGier Michael J, Tachezy Jan, Stejskal Frantisek, et al. Mitochondrial-type Iron-sulfur Cluster Biosynthesis Genes (IscS and IscU) in the Apicomplexan Cryptosporidium Parvum [J]. Microbiology (Reading, England), 2003, 149(Pt 12): 3519-3530.
- [28] Kerry E, Slack, Axel Janke, et al. Two New Avian Mitochondrial Genomes (Penguin and Goose) and a Summary of Bird and Reptile Mitogenomic Features [J]. Gene, 2003, 302(1): 43-52.
- [29] Stefan W. Ryter. Heme Oxygenase-1/Carbon Monoxide as Modulators of Autophagy and Inflammation [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2019, 678: 108-186.
- [30] Bernroider G, Roy S. Quantum Entanglement of Kions, Multiple Channel States and the Role of Noise in the Brain [C]. SPIE, 2005(5841): 205-214.
- [31] Tarlaci S. Quantum Physics in Living Matter: From Quantum Biology to Quantum Neurobiology [J]. Neuro Quantology, 2011, 9(4): 692-701.
- [32] Stryer L. Vision: From Photon to Perception [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 1996, 93(2): 557-559.
- [33] Phasupan Pimonpan, Le Truong Dang, Nguyen Loc Thai. Assessing the Photodynamic Efficacy of Different Photosensitizer-light Treatments Against Foodborne Bacteria Based on the Number of Absorbed Photons [J]. Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology, 2021(221): 112249-112250.
- [34] Rieke F. Single-photon Detection by Rod Cells of the Retina [J]. Rev. Mod. Phys., 1998, 70(3): 1027-1036.
- [35] Wolfram T, Kul B. Bhasin. Inelastic Electron Tunneling Spectroscopy [J]. Journal of The Electrochemical Society, 2019, 126(5): 215C.
- [36] Franco M I, Turin L, Mershin A, et al. Molecular Vibration-sensing Component in Drosophila Melanogaster Olfaction [J]. Sci. U. S. A., 2011, 108(9): 3797-3802.
- [37] Brookes J C, Hartoutsiou F, Horsfield A P, et al. Could Humans Detect Odors by Phonon Assisted Tunneling? [J]. Phys., 2007, 98(3): 038-101.
- [38] McFadden J. Synchronous Firing and Its Influence on the Brain's Electromagnetic Field [J]. Journal of Conscious Studies, 2002, 9(4): 23-50.
- [39] 蒋正清, 尤洋. 意识的“难问题”及其量子解释 [J]. 长沙理工大学学报(社会科学版), 2019(1): 20-26.
- [40] Max Tegmark. The Importance of Quantum Decoherence in Brain Processes [J]. CORR, 1999, 99(7): 9.
- [41] 蒋显荣, 杨柳. “似真性”说明科学进步及其争论——兼评尼尼鲁托与罗伯顿的对立 [J]. 科学技术哲学研究, 2017(1): 73-79.
- [42] 蒋显荣. 超越现代西方管理思想 [M]. 北京: 中央编译出版社, 2020: 54-95.
- [43] 陈志明. 基于多阶环形结构量子算法的图像纹理检测研究 [J]. 激光与光电子学进展, 2016(11): 137-144.