

DOI:10.12405/j.issn.2097-1486.2025.04.002

从量子贝叶斯主义(QBism)到现象学 ——以维格纳朋友思想实验为案例

李继堂

苏州大学 政治与公共管理学院哲学系,江苏 苏州 512123

摘要:冯·诺伊曼提出量子测量中“波函数坍缩”可能终止于“观察链”的观察者意识后,维格纳提出“维格纳朋友”思想实验引出著名的悖论,量子贝叶斯主义(QBism)认为该悖论违背了“QBist的哥白尼原理”,维格纳不能把朋友看作跟自己不一样的主体,这跟梅洛-庞蒂身体现象学中“一只手触碰另一只手”的情形是一样的。我们进一步从主动推理的计算现象学角度更具体地消解了维格纳朋友悖论。

关键词:QBism; 维格纳朋友悖论; 身体现象学; 主动推理; 计算现象学

中图分类号:O413.1; N02

文献标志码:A

文章编号:2097-1486(2025)04-0334-09

From Quantum Bayesianism (QBism) to Phenomenology —a case study of the Wigner's friend thought experiment

LI Jitang

Department of Philosophy, School of Politics and Public Administration, Soochow University, Suzhou 512123, China

Abstract: After von Neumann proposed that the “wave function collapse” in quantum measurement might terminate at the observer's consciousness in the “observation chain”, Wigner introduced the “Wigner's friend” thought experiment, leading to a famous paradox. Quantum Bayesianism (QBism) argues that this paradox violates the “QBist Copernican principle”, asserting that Wigner cannot treat his friend as a subject fundamentally different from himself. This perspective aligns with the scenario in Merleau-Ponty's body phenomenology of “one hand touching the other”. Furthermore, from the perspective of computational phenomenology based on active inference, we provide a more concrete resolution to the “Wigner's friend” paradox.

Keywords: QBism; Wigner's friend paradox; body phenomenology; active inference; computational phenomenology

0 引言

在诸多量子力学解释中,量子贝叶斯主义(Quantum Bayesianism, or QBism)是二十一世纪才提出来的新解释,由于它坚持概率的主观主义理解,近几年开始和欧洲大陆哲学传统的现象学走到一起。而维格纳朋友思想实验不仅是把意识跟量子测量结合起来的经典案例,而且这几年也提出了扩展版的维格纳朋友思想实验。加上意识问题也随着认知科学的发展得到越来越深入的综合研究。为此,本文以维

格纳朋友思想实验为案例,系统研究量子贝叶斯主义与现象学的成功结合。

首先我们澄清了量子贝叶斯主义,包括从最初的“Quantum Bayesianism”发展到“QBism”(其中“B”代表 Bettabilitarian(可赌性主义者))的过程,对量子力学主观贝叶斯主义的理解,及其核心人物克里斯托弗·A. 富克斯(Christopher A. Fuchs)关于QBism的总结。然后,以富克斯对维格纳朋友思想实验的分析为线索,确定维格纳朋友思想实验中悖论的关键,从QBism的视角引出梅洛-庞蒂身体现

基金项目:教育部人文社会科学基金项目(20YJA720005);国家社会科学基金项目(23BZX112);国家社会科学基金重大项目(19ZDA038)

收稿日期:2025-09-15; **修回日期:**2025-11-10

象学,为维格纳朋友的悖论指明方向。最后,认为身体现象学还不够具体,现象学跟认知科学中主动推理相结合的计算现象学,能够彻底化解维格纳朋友悖论。

1 量子贝叶斯主义(从 Quantum Bayesianism 到 QBism)

量子贝叶斯主义最早是从卡尔顿·M. 凯夫斯(Carlton M. Caves)带着两位博士后富克斯和里迪克·沙克(Rüdiger Schack)于2002年(2001年预印版)发表的论文《作为贝叶斯概率的量子概率》开始的^[1],该文明确认为量子概率应该被看作贝叶斯概率,尤其是量子德菲内蒂表示定理的成立,说明量子概率比经典概率更适合贝叶斯规则。但是,对未知量子态的客观性理解不同于后来的QBism。为了强调对量子贝叶斯主义中的个人主义的主观贝叶斯理解,用QBism取代“量子贝叶斯主义(Quantum Bayesianism)”,QBism的第二代核心成员布莱克·C. 斯特西(Blake C. Stacey)认为他们(DeBrock & Stacey 2018)^[2]讲过的下面这段话可以看作其研究纲领:

“一种以观察者及其经验为基本因素的量子力学诠释体系,其中,‘量子测量’只是观察者对外部世界进行的一次主动操作,‘量子态’是观察者对其行动可能引发之经验的个人期望进行的编码,而每次测量结果都是个体事件,即引发该操作的观察者所特有的经验。虽然量子理论包含大量主观判断成分但是其形式化体系为观察者应该如何预期确立了规范性标准,并且这种信念间关系的规范要求,跟任何其他物理学理论一样具有同样的客观性”^[3]。

QBism 中的“QB”中的“Q”显然是 Quantum,“B”代表什么意思呢?一开始是指 Bayesianism。富克斯和斯特西认为,由于贝叶斯主义流派众多,他们倾向于布鲁诺·德菲内蒂(Bruno de Finetti)的主观贝叶斯理论,所以这个“B”是“Bruno de Finetti”。后来,他们把“B”确定为“可赌性主义者”(Bettabilityarian)^[4]。

在技术层面,QBism 的核心包括对量子态、量子测量乃至整个量子理论的主观贝叶斯式理解。

首先看看量子态,不承认客观正确的量子态,量子态跟个人主义的贝叶斯概率一样,具有主体依赖性。如果说量子态通过波恩规则可以计算概率的话,那么,对一组精心选择的测量结果进行概率赋值,这在数学上就等价于量子态赋值本身。也就是说,量子态 ρ 所蕴含的数学信息,完全包含在适当选择的概率集合中。

相比之下,量子态的客观理论不是没有问题的。比如,量子隐形传态、量子纠错编码、量子窃听检测技术经常使用的术语“未知量子态”,在QBism看来就是一个自相矛盾的修辞:“若量子态是信念的集成而非自然的状态,则至少对持有该态的观察者而言,量子态必然是已知的。倘若如此,实验人员在实验室进行‘量子态层析’时究竟何为?实际上,这项技术的目的就是表征实验设备重复制备的‘未知量子态’”^[4]。

在量子贝叶斯主义看来,只有通过个人化的观察者,才能比较好地理解量子态层析技术,这也是量子德菲内蒂定理的结果。该定理认为,实验设备输出的系统满足可交换性(任意置换两个系统都不改变观察者对预期的测量统计结果)的话,那么就要求观察者以下面的形式对量子态赋值:

$$\rho^{(n)} = \int P(\rho) \rho^{\otimes n} d\rho.$$

其中 $P(\rho)d\rho$ 是单系统密度算符空间上的概率测度,而 $\rho^{\otimes n} = \rho \otimes \cdots \otimes \rho$ 表示 n 个相同量子态的张量积。这样的话,该定理允许实验者以“每个系统具有其未知状态 ρ ”的方式操作,而 $P(\rho)$ 表示实验者对真实态的认知缺失。不过,按照量子贝叶斯主义(频率主义的层析技术专家并不完全认同),这里的说法并不矛盾,因为实际存在的量子态只能是实验者心中的 $\rho^{\otimes n}$ 。而进行层析时,实验者只是在逐次收集系统数据,并通过贝叶斯规则(Bayesian rule)将 $\rho^{\otimes n}$ 更新为数目有限的剩余系统上的新态 $\rho^{\otimes k}$ 。如此就能够证明这样的赋值方式使实验者有望做到:随着数据不断收缩,最终逼近 $\rho^{(k)} \approx \rho^{\otimes k}$ 。这样就能够一致性地说明清楚量子层析常常说的“未知量子状态”。并且还能够进一步说明“未知测量”和“未知过程”^[4]。

这种把量子理论跟概率论紧密集合起来的想法,进一步启发QBism从以概率开始的语言来重建量子理论,而不是从复数振幅、希尔伯特空间以及线性算符开始。起初,凯夫斯在量子德菲内蒂定理的证明过程中就注意到,有可能通过单个测量即可获得重构整个密度矩阵 ρ 所需要的全部统计信息。随着量子信息理论的发展,出现了所谓 SIC(symmetric informationally complete) POVM(positive-operator valued measure)的假设性结构使其成为可能。在有限 d 维希尔伯特空间中, SIC 由 d^2 个秩为 1 的投影算子 $\Pi = |\phi_i\rangle\langle\phi_i|$ 使得下面式子成立:

$$|\langle\phi_i|\phi_j\rangle|^2 = \frac{1}{d}, i \neq j$$

特别重要的是,这类算子的极端对称性具有的系列特性满足 POVM 广义量子测量,从而使得波恩规则给定的概率 $P(H_i) = \text{tr}(H_i)\rho$ 与 ρ 的展开系数之间具有如下关系:

$$\rho = \sum_{i=1}^{d^2} \left((d+1)P(H_i) - \frac{1}{d} \right) \Pi_i$$

假设 SIC 结构存在(这在数学上还没有全部证明,目前只能在部分维度上得到证明),将量子态直接视为行为主体对潜在 SIC 测量结果的概率赋值,就可推导出适用于任意量子测量的玻恩规则新表达式^[4]。从而建立从数学基础到物理意义以及哲学诠释彻底的贝叶斯主义。

QBism 还在不断发展之中,其核心人物富克斯在《QBism 的下一步是什么?》一文中,归纳出所谓“QBism 的八正道”^[5]:

I. 量子测量是观察者对其外部世界的行动。量子测量与她可能采取的任何其他行动一样,都是观察者采取的行动,就像过马路一样的行动。使一个行动具体“量子”化的地方在于,当观察者需要根据量子形式化体系来分析其结果的期望时,才称之为量子行动。

II. 测量的结果仅仅是观察者采取该行动后随之而来的个人经验。在 QBism 中,观察者与量子系统之间没有任何中介设备的概念(如因为与环境相互作用而“退相干”)。测量设备被视为观察者的一部分或延伸。

III. 量子态是观察者的个人判断。它用来连接观察者对她可能采取的所有测量行动结果的概率赋值。

IV. 即使是幺正演化算符(或者更一般的完全正定保持映射)也是观察者的个人判断。它们不是自然设定的,也不是本体的。在任何个别情况下,它们是由观察者对时间中期望的判断所设定的。

V. 量子形式化体系是规范性的,而不是描述性的。它指导观察者确保她的所有判断相互一致,并且符合“量子”的世界特性。最容易看到这一点的方式是将量子形式化体系重新写成纯粹的概率形式,而不使用复向量空间上的算符等。因此,量子态变成了关于干涉仪器的结果的概率分布,测量算符变成了相对于同一仪器的条件概率,波恩规则则变成了经典全概率定律 LTP(Law of Total Probability)的一种变体。此外,这种形式的重新表达,也为未来的物理研究,提供了一种量化波恩规则所传达的“量子性”的方式。

VI. 即使是概率为 1 的赋值也是判断,因此在形而上学上是容易出错的。概率与世界的联系是断开的,它们永远无法告诉自然应该做什么。概率 1 仅指观察者做出的一个重要判断;它意味着她将全身心投入其中。

VII. 即使观察者主观上确信她的测量行动结果会是什么,她仍然不能假设她尚未进行的测量具有预先确定的结果。这是使用波恩规则代替经典 LTP 的一部分内容。

VIII. 量子理论是一个个人的理论。我的量子理论使用涉及我对我个人经验的期望。你的量子理论使用涉及你对你个人经验的期望。这两种使用不要求它们必须以某种方式协调一致。

之所以叫“八正道”是因其作为“处世之法”而得名,就好比用 QBism 来处理维格纳朋友思想实验可能直达现象学的真理。

2 富克斯对唯格纳朋友思想实验的考察

冯·诺伊曼 1932 年在其名著《量子力学的数学基础》中提出量子测量中“波函数坍缩”可能终止于“观察链”的观察者意识。为了考察观察者的意识在量子测量中是否起作用的问题,维格纳(E. P. Wigner)首次在他的 1961 年《关于身心问题的评论》一文中^[6],发表了他著名的维格纳朋友的思想实验。维格纳提出了一个关于间接观察的一般问题:如果维格纳派他的朋友进实验室直接观察,然后再把观察结果告诉维格纳本人,量子系统的波函数的情况如何?维格纳认为,当朋友观察后,被测量对象的信息不能被一个波函数描述,波函数属于“对象+朋友”的联合系统,然后,维格纳通过询问朋友是否看到仪器闪光,从而和这个“对象+朋友”联合系统“相互作用”,最终知道测量结果。比如,朋友说她看到闪光,则“对象+朋友”的波函数是对象的状态与朋友的状态的乘积 $|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle$,维格纳也因为朋友的回答留下了她看到闪光的印象(impression),从而维格纳认为量子对象处于状态 $|\psi_1\rangle$,也就是说,对象的量子描述也受到进入维格纳意识中的朋友的印象的影响。如果朋友说没有看到闪光,“对象+朋友”的波函数是 $|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$,对象处于状态 $|\psi_2\rangle$ 。

维格纳问题的核心在于:意识是否影响物理学条件,换言之,人类的身体会不会不同于自然界及其物理定律。所以才派不同于维格纳本人的朋友观察仪器上的闪光,试图把朋友作为“工具人”。按照量

量子力学的描述办法,量子对象的初始状态是一个线性组合 $\alpha|\psi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle$, 朋友观察时“对象+朋友”的状态在相互作用后是: $|\Phi\rangle = \alpha|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$ 。在维格纳问朋友是否看到闪光时,根据量子力学朋友会以概率 $|\alpha|^2$ 说他看到了,在这种情况下,对象也将像处于状态 $|\psi_1\rangle$ 一样对我作出反应。如果朋友说没有看到闪光,表示以概率 $|\beta|^2$ 对象处于状态 $|\psi_2\rangle$ 。什么情况下概率为零呢? 朋友说“看到(或没有看到)”时对象却处于状态相反的状态 $|\psi_2\rangle$ (或 $|\psi_1\rangle$), 因为压根就不存在 $|\psi_2\rangle|\chi_1\rangle$ (或 $|\psi_1\rangle|\chi_2\rangle$)^[5]。

维格纳的重点在于朋友所起的作用。假设实验完成后,维格纳问朋友,“我在问你之前你对闪光有什么感觉?”朋友会回答,“我已经告诉你了,我看到了(或没有看到)闪光。”意思是说,在维格纳问朋友之前朋友心中已经有了答案。如果是这样的话,对象和朋友相互作用后“对象+朋友”的状态已经是 $|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle$ 或 $|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$, 而不是线性组合 $|\Phi\rangle = \alpha|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$ 。这两者相互矛盾,因为后者 $|\Phi\rangle$ 总包含一些既不属于 $|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle$ 也不属于 $|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$ 的性质。比如,我们用一些简单的物理设备(如一个原子,它可能被光闪激发或不被激发)代替“朋友”,这种差异会产生可观测的效果,毫无疑问, $|\Phi\rangle = \alpha|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$ 正确描述了联合系统的性质,而假设波函数是 $|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle$ 或 $|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$ 则不然。相反,如果原子被一个有意识的生命体(朋友)取代,处于量子态的波

函数 $|\Phi\rangle$ 就显得荒谬,因为它意味着我的朋友在我提问之前处于一种无生命状态(suspended animation)^[5]。

在维格纳看来,有意识的人(如朋友)在量子力学中的角色与无生命的测量设备(如原子)不同,维格纳的朋友跟量子对象相互作用后的系统状态波函数不可能是线性的,只能跟维格纳本人一样有相同类型的印象和感觉,不可能处于一种无生命状态。可见,引入维格纳的朋友只能导致悖论:如果把朋友视为无生命状态(好处是朋友和维格纳本人的意识没有参与),那么系统波函数是线性的;如果把朋友视为跟自己一样有意识的生命状态,那么系统波函数不可能是线性的。当然,维格纳朋友思想实验的初衷就是为了考察人类的身体是否完全遵守自然定律,或者说维格纳的朋友的意识是否在测量过程中是否起作用。所以,不应该直接把朋友视为无生命状态,而且否认朋友意识的存在性,只有维格纳本人才有意识,就会陷入唯我论。但是,把朋友视为跟维格纳本人一样,派朋友进行观察的实验又没有意义。

3 从 QBism 角度对维格纳朋友思想实验的考察

富克斯强调,与维格纳设置问题的方式不同, QBism 将这个思想实验视为两个平等主体(维格纳和维格纳的朋友)的故事,每个主体都可以对其关心的系统采取行动并获得深刻的个人经验,如图1所示维格纳、朋友和自旋 1/2 粒子相互作用的思想实验。

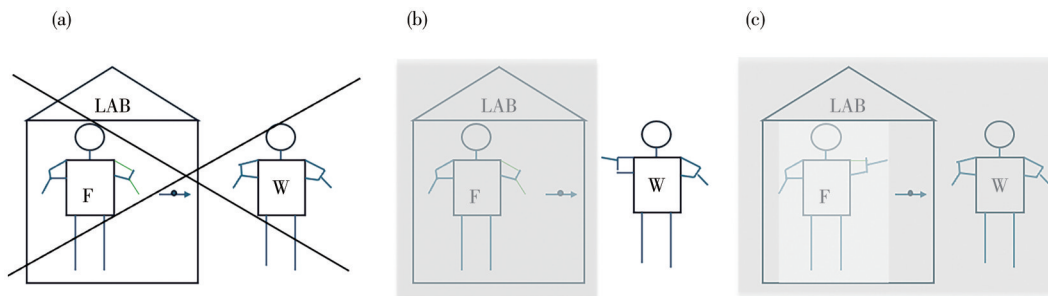


图1 上帝之眼、维格纳和维格纳朋友之眼^[5]

(a) 维格纳思想实验的常规描述中存在上帝视角倾向,这是 QBism 反对的; (b) 在 QBism 中,维格纳为了进行预测,将朋友、粒子及环绕他的实验室看作是外在于自身的物理系统; (c) 为了作出自身预测,朋友也必须相对地将维格纳、粒子及环绕她的实验室看作是外在于自身的物理系统。

Figure 1 God's Eye, Wigner's Eye, and Wigner's Friend's Eye^[5]

(a) In usual descriptions of various Wigner's-friend thought experiments, there is an urge to portray everything from a God's eye view, which QBism opposes; (b) Instead, in QBism, to make predictions, Wigner treats his friend, the particle, and the laboratory surrounding her as a physical system external to himself; While (c) to make her own predictions, the friend must reciprocally treat Wigner, the particle, and her surrounding laboratory as a physical system external to herself.

虽然维格纳本人对其思想实验的考察,因为担心观察者意识的干扰已经不完全是一种上帝视角,但是仍然没有把维格纳和他的朋友平等地作为两个主体对待,什么都是从外部观察者(维格纳)视角单方面表达的,包括指定朋友在看到(或未看到)闪光后将持有的对象量子态。却没有人问过朋友,在其作用于外部观察者时她应当如何预见自己可能获得的感知?在整个思想实验中,都是把外部观察者作为量子力学的使用者而不是不懂量子力学的人,不仅能够写出量子态和么正算符而且还可以通过波恩规则进行概率赋值。相比之下,不仅对朋友是否懂量子力学只字未提,而且对朋友实际状态取值态 $|\psi_1\rangle$ (或 $|\psi_2\rangle$)时也只是外部观察者认为朋友应该如此的。就连朋友自己的状态 $|\chi_1\rangle$ 和 $|\chi_2\rangle$,仅代表朋友对“你看到闪光了吗?”这样笨拙问题的回答。也就是说,朋友可以在不知道一点量子力学的情況下回答这个问题,甚至派一个没有上过学的小孩也可以完成朋友的任务。可见,对于 QBism 将量子力学理论视为“使用手册”的构想而言,平等对待两个主体具有至关重要的意义。更重要的是, QBism 不能将量子力学的适用性局限于无生命物体,否则该手册将无法普适于主体外部的一切事物,包括其他观察者。

富克斯认为,消除维格纳悖论的关键有如下三点^[5]。首先,按照 QBism 量子态的赋值并不“穿透”到被赋系统中,它们不描述“那里发生”什么,其唯一作用是捕捉赋值者采取行动后产生的个人经验的赌博态度。比如,方程 $|\Phi\rangle = \alpha|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle$ 中的态 $|\Phi\rangle$ 的赋值,都是外部观察者对其自身经验的信念,其他说法都是错误表达。第二点跟“无生命状态”的概念有关。一般认为将量子态赋值给主体时,他能够应用他想要的么正算子使主体变成他想要的任何状态。例如,在“朋友+对象”的隐含量子演化中,存在

$$\begin{aligned} |\Phi_0\rangle &= \alpha|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle|\chi_0\rangle \xrightarrow{\hat{U}} |\Phi\rangle \\ &= \alpha|\psi_1\rangle|\chi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle|\chi_2\rangle \end{aligned}$$

其中 $|\chi_0\rangle$ 是朋友的“制备”状态。人们说左边的状态 $|\Phi_0\rangle$ 表示朋友的测量还没有发生,而右边的状态 $|\Phi\rangle$ 表示过程已经完成。但随后将过程向前推进的么正算子 $\hat{U}$ 可以通过 $\hat{U}^{-1}$ 逆向算子将其全部回溯—从而使测量结果“消失”,回到不存在的状态。可见,纯态赋值与主体的概念有矛盾。富克斯强调,“ $|\Phi\rangle=$ —

个无生命状态?”会把问题引向消除悖论的第三个关键点。

富克斯认为,在维格纳的朋友故事中,每个主体都有事情发生,即新的经验产生了。然而,量子形式化体系本身在任何具体应用中都是彻底且仅限于第一人称的。无论赌注是什么,总是“我的经验”,无论“我”是谁,这是所谓的“QBist 哥白尼原理”^[7]。即便维格纳的量子态赋值不能穿透到他朋友的实在中,他仍然可以维持这个哥白尼原理。这不会导致任何矛盾,状态赋值完全存在于第一人称层面,而量子理论的一般结构及其规范性建议则存在于第三人称层面。因此,“QBist 哥白尼原理”所要求的维格纳和朋友的对称性地位是消除维格纳朋友悖论的关键。

在《尊重他者: QBism 对维格纳朋友悖论的解析》一文中^[8],富克斯及其合作者应用“QBist 哥白尼原理”化解维格纳朋友悖论的两个重要变体,一是弗劳奇格(Frauchiger)与伦纳(Renner)提出的“禁止定理”^[9],二是鲍曼(Baumann)与布鲁克纳(Brukner)的思想实验^[10]。只要平等对待朋友和维格纳的主体地位,朋友把实验分析为对自己外部世界(包括维格纳和其他人)采取的行动,那么新的悖论便可能被消除。当然,最重要的是,富克斯通过朋友和维格纳不同主体之间的关系问题把 QBism 引向现象学。

4 QBism 与梅洛-庞蒂现象学

正如富克斯所言:“梅洛-庞蒂(Maurice Merleau-Ponty)的现象学让我们相信,关于这个问题的最终定论尚未形成。尽管我们从维格纳朋友思想实验中获益良多,但现在我们开始意识到,那些标准的故事图示—包括自旋1/2粒子、围绕朋友的实验室等等—实际上都是干扰项。QBism 的解决方案(如图1所示)也是如此。或许通过剥离这些多余元素,直接聚焦于维格纳和朋友本身,我们能发现更本质的要点。从维格纳与其朋友之间简单的握手中,我们还能获得怎样的深层启示?”^[5]这种“握手”隐喻指向两个主体间最基础的交互形式。在梅洛-庞蒂的肉身现象学中,当我的左手触碰右手时,既是在触摸也是被触摸,这种可逆性揭示了主体间性的根本特征。重要的是,左手跟右手之间的关系不只是一种视角主义(perspectivism)或者“关系论”本体论,而是更深的本体论层面。具体来说,梅洛-庞蒂通过对“一只手触碰另一只手”的现象学反思,发展出他的“交叉”(chiasm)与“肉身”(flesh)本体论。他曾经做过如下经常被引用的表述^[11]:

“如果我的左手能在右手感知可触物时触碰它,能触碰‘正在触碰的右手’,能将触觉反馈作用于自身——那么当我触碰他人之手时,为何不能触碰到同样的契合万物的能力(这种能力我在自己手中曾触碰过)?诚然,这里所说的‘物’是我自己的物,整个操作(如我们所说)发生‘在我之内’,即在我的景观中(landscape),而问题在于如何建立另一个景观。当我的双手相互触碰时,各自的世界向对方敞开,因为这种操作可随意逆转,因为它们(如我们所说)同属一个意识空间,因为同一个人通过双手触碰同一个物。但我的双手要向同一个世界敞开,仅被赋予同一个意识是不够的一若真如此,眼前的困难便会消失:因为其他身体会以与我认识自己身体相同的方式被我认识,它们与我仍处于同一个世界。”

同样的道理,维格纳与朋友的相遇不应被简化为观察者与被观察者的不对称关系,而应视为两个平等主体间的相互塑造:每位主体都既是经验的主动创造者,又是对方世界中的物理存在;量子测量不是单向的“行动-反应”,而是双向的意义生成过程;实验室、粒子等外在装置只是这种根本交互关系的临时载体。问题是能否进一步做到不同主体之间的“身体间性”,正如梅洛-庞蒂接着讲的^[11]:

“不,我的双手能触碰相同之物,是因为它们属于同一个身体。然而每只手都有其独特的触觉经验。如果它们仍必须与同一个可触物打交道,那是因为存在一种非常特殊的相互关系——跨越身体空间,如同我双眼之间的关系——使我的双手成为同一个经验器官,正如它使我的双眼成为独眼巨人式视觉的通道。……既然这种构成我身体统一性的普遍性存在,它为何不能向其他身体开放?握手同样具有可逆性;我能在触碰的同时感受到被触碰……如果协同作用在每个有机体内都可能,为何不能存在于不同有机体之间?它们的景观交织,行动与激情精确契合:一旦我们不再将归属于同一‘意识’作为感受性的原始定义,而是将其理解为可见物对自身的回归,感受者与被感受者之间的肉身性契合,这一切就成为可能。因为作为重叠与分裂、同一与差异,它孕育出一道自然之光,照亮所有肉身,而不仅仅是我自己。”

如果直接审视两个主体相遇时那“刺痛般的接触瞬间”,或许能发现量子理论中概率与测量背后更原始的“共在性”本质——这正是梅洛-庞蒂通过“手触手现象”试图揭示的存在论真理。问题的关键在于,维格纳与朋友的握手能否实现梅洛-庞蒂的存在论

真理。即便两者有诸多一致。甚至跟富克斯类似的研究越来越多,诸如沙克的《一位QBist解读梅洛-庞蒂》^[12],以及米歇尔·比特博尔(Michel Bitbol)和劳拉·德拉特朗布莱(Laura de la Tremblaye)的《QBism:量子物理的生态现象学》对“肉身世界”的强调^[13],等等。但是目前还没有把梅洛-庞蒂现象学比富克斯落实到维格纳朋友思想实验更具体的成果。

5 维格纳朋友的计算现象学

为了在QBism和现象学基础上更具体地解释维格纳朋友思想实验,我们基于认知科学中主动推理的基本原理,尤其是主体的意识研究的最新进展,通过“QBist的哥白尼原理”要求维格纳和朋友这两个不同主体握手时感觉者和被感觉者之间身心关系,想到利用所谓最小现象经验(MPE)的计算现象学,具体考察朋友的意识是否在量子测量过程中起作用?或者说,朋友能否作为“无生命状态”主体跟仪器和粒子对象发生相互作用?

5.1 最小现象经验的计算现象学研究

自从2009年奥拉夫·布兰克(Olaf Blanke)和托马斯·梅青格尔(Thomas Metzinger)提出最小现象经验(Minimal phenomenal experience,简称MPE)概念后^[14],梅青格尔发起的人类意识最小模型解释的研究计划,主张任何意识解释都应首先解释可识别的最简现象形式。最小现象经验,或称“纯粹意识”,是一种以反身元意识为特征且缺乏常规现象学诸多属性的基本意识形式,被描述为“非概念性”“无时间性”“无自我性”和“无视角性”^[15]。

2021年拉尔斯·桑德斯-史密斯(Lars Sandved-Smith)和卡尔·弗里斯顿(Karl Friston)等人,发表了《走向心理行动的计算现象学:基于深度参数化主动推理对原觉知和注意控制的建模》一文^[16],在认知科学中,元-觉知(meta-awareness)指的是一种明确察觉意识内容的能力,也是认知状态调控(如注意定向)的关键部分。他们通过分层主动推理的理论框架,提出了元-觉知与注意控制的形式化计算模型。其计算机制的关键创新点是精度加权:元-觉知通过调节精度参数(信念置信度的逆方差)来实现认知控制。还使用了不透明化(opacification):使低阶状态成为可调控对象,比如将注意本身变为觉察对象。

计算模型的核心是主动推理框架。这是预测加工理论的模型化发展,除了将感知、学习与行动统一为“自我验证预言”过程,把生物体看作通过持续最

小化自由能来维持生存,并且这些过程都按照贝叶斯推理来进行。根据这样的理论框架,他们构建了一个三级层次生成模型,通过参数化深度实现认知状态的不透明化调控:

第一级(感知层):其状态表示为 $S_{\pi^{(1)}_T}$ (外部世界状态),其作用是处理原始感官输入,受二级精度参数调控;第二级(注意层):其状态表示为 $S_{\pi^{(2)}_I}$ (专注/分心状态),其动态方程包括先天证据、自下而上证

据和直接感知证据;第三级(元意识层):其状态表示为 $S_{\pi^{(3)}_T}$ (对注意状态的觉察程度),其核心功能为,通过调节 $S_{\pi^{(2)}_I}$ 映射的精度实现显性认知控制。最后,利用主动推理的部分可观察马尔可夫决策模型(POMDP)完成计算模型,这是模拟主动推理智能体信念更新的常用方法。尤其是,通过参数化深度层级模型,可建模认知状态知觉与心智行动。他们把三级层次生成模型图示成图2^[16]所示。

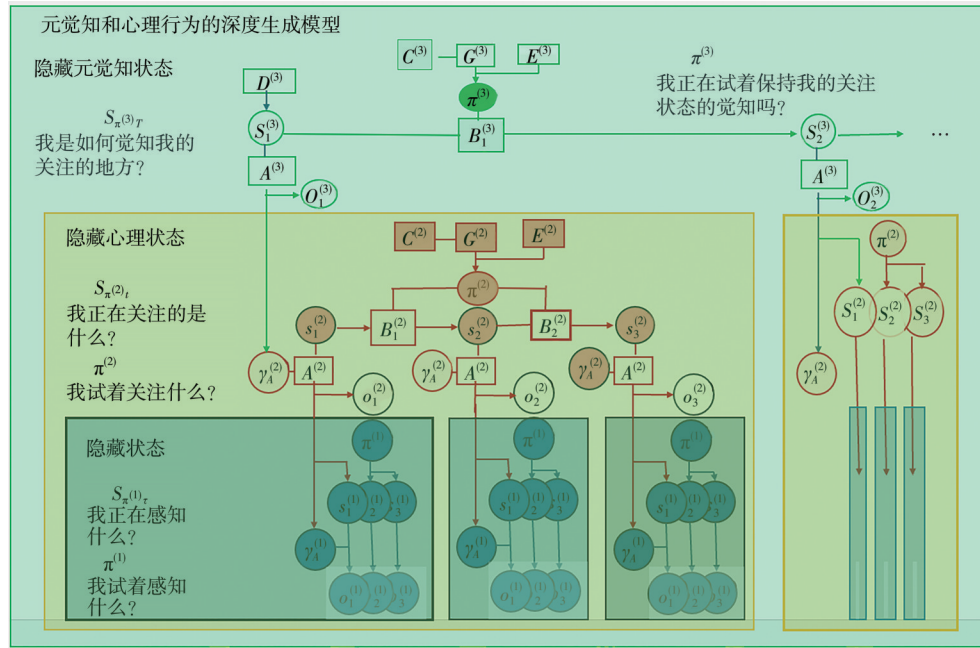


图2 三层级的状态推理深度生成模型^[16]

Figure 2 A probabilistic graphical model showing a deep generative model with three hierarchical levels of state inference^[16]

事实上,他们提出的深度主动推理模型的计算现象学为神经现象学的“自然化纲领”提供了形式化工具,把现象学约束、神经科学约束以及计算约束结合起来,才建立起了三个层级的对应关系,实现了生活经验跟神经科学之间的生成通道。在该生成模型中,隐藏状态(s)通过似然映射(A 矩阵)生成观测(o),即 $P(o|s)$ 。 A 矩阵的每个元素定义给定状态下观测的概率,其可靠性由精度参数(γ_A)调节(精度越高,观测越可信)。初始状态信念由先验向量(D)定义 $P(s)$,而推断目标是通过贝叶斯更新求后验 $P(s|o)$,即基于观测反推最可能的状态。整个过程引入精度作为二阶信念,体现对参数可靠性的置信度。

5.2 回到维格纳朋友悖论

一个POMDP模型结构可以反映出隐藏状态跟可观察量之间的关系,如图2所示,无论是维格纳还是朋友,按照“QBist的哥白尼原理”,只能是两个

“以自我为中心”的主体,两者都可以是量子力学的使用者,动用量子力学的理论和规则,对包括粒子对象、仪器和朋友(或者维格纳)的系统进行制备和观察行动。利用最小现象经验的计算现象学来考察,首先把两个主体(可以作为客体)看作是具有生命和意识经验的观察者(或者研究对象),即可能处于三个层级的状态 $S_{\pi^{(1)}_T}$ (外部世界状态)、 $S_{\pi^{(2)}_I}$ (专注/分心状态)以及 $S_{\pi^{(3)}_T}$ (对注意状态的觉察程度)的主体(或者客体)。

然后考察维格纳如何研究朋友与仪器和粒子对象的相互作用。本来维格纳本人也可能处于三个不同层级的状态,考虑到他没有进入实验室,只是把他作为通常意义的有意识的主体,重点考察朋友处于三个层级状态下跟仪器和粒子对象的相互作用。维格纳思想实验中把朋友作为“无生命状态”相当于朋友处于状态 $S_{\pi^{(1)}_T}$ (外部世界状态),如果实验室外的维格纳只是单纯应用量子力学规则处理包括“朋

友+仪器+对象”的物理系统,这样的处理是可以的,朋友意识经验没有起到任何作用,不会出现跟量子力学理论矛盾之处,只不过如前所述“失去了派朋友进实验室的意义”。

一旦要把朋友作为一个观察者,能够注意到闪光(或者没有闪光),就相当于朋友处于状态 $S_{\pi^{(2)}_I}$ (专注/分心状态),如图2的状态推理深度生成模型所示 $S_{\pi^{(2)}_I}$ 会影响 $S_{\pi^{(1)}_T}$,正是朋友的注意力看到了闪光(或者没有闪光),朋友完成了量子测量。实验完成后维格纳问朋友:“我在问你之前你对闪光有什么感觉?”朋友回答:“我已经告诉你了,我看到了(或没有看到)闪光。”就相当于朋友处于状态 $S_{\pi^{(3)}_T}$ (对注意状态的觉察程度),如图2的状态推理深度生成模型所示 $S_{\pi^{(3)}_T}$ 会影响 $S_{\pi^{(2)}_I}$ 和 $S_{\pi^{(1)}_T}$,正是朋友对其注意状态的觉知,她才告诉维格纳说:“我已经告诉你了,我看到了(或没有看到)闪光。”朋友意识经验可能发挥了作用,朋友完成了量子测量。这跟有意识经验的维格纳亲自做实验没有什么区别,在某种意义上也属于“失去了派朋友进实验室的意义”,当然也不会引起悖论。

有意思的是,朋友所处的状态都跟行动策略(π)有关系。在主动推理框架中,行动策略(π)是指主体对自身当前执行动作序列的信念集合,其本质是一系列状态转移概率(由B矩阵定义)的序列。策略选择的核心是寻找能最小化期望自由能(G)的动作序列,其中 G 的计算综合了先验偏好(C矩阵)定义的预期感官结果偏好和策略本身的认知价值(如减少不确定性)。先验策略偏好(E矩阵)则独立于当前环境,反映主体的固有行为倾向。特别是,策略通过推断而非直接控制来实现——主体根据隐藏状态(S)的感知证据和先验信念,推断出最可能实现偏好结果(C)且符合自身行为模式(E)的状态转移路径(B),从而生成行动。也就是如图2中各层级的行动策略(π)所说的试图(trying to)做什么、注意什么以及觉知什么?落实到维格纳的朋友这里,就是QBism所说的根据量子力学理论及其波恩规则这些先验的偏好如何完成实验。所以朋友不能不懂量子力学。

最后,不同层级精度之间的关系也有助于理解维格纳的朋友的作用。把计算后验概率 $P(s|o)$ 的贝叶斯更新公式:

$$P(s|o) = \frac{P(o|s)P(s)}{P(o)}$$

通过归一化,精度参数 γ_A 通过调节似然概率参与计算(精度越高,似然项权重越大)后:

$$P(s|o) \propto P(s) \cdot [P(o|s)]^{\gamma_A}$$

可见,精度是作为指数权重,强化或者弱化了观测证据对贝叶斯推理的影响,比如高精度时更信任观测数据。如果一阶精度 $\gamma_A^{(1)}$ 决定“信息有多可靠”,那么二阶精度 $\gamma_A^{(2)}$ 就决定“主体对这种可靠性判断有多确信”,二者共同构成分层注意控制的基础。相当于维格纳的朋友在实验室完成实验后,不仅明确看到了闪光(或者没有看到闪光),而且对“看到了闪光(或者没有看到闪光)”的观测结果以及推理出粒子自旋是向上(或者向下)具有明确的确信度。换言之,朋友对观测的确信度说明,朋友不仅有感知(并非无生命状态),而且能够确信“看到”(或者没有看到),甚至可以定量表征这种确信度。维格纳派进实验室的这位朋友是一位和维格纳本人一样地地道道的物理学家,不可能是一位单纯“无生命状态”的主体。

6 结论

这一波量子贝叶斯主义跟现象学的关系考察,跟之前直接研究现象学与量子力学关系很不一样。我们之前的研究直接从冯·诺伊曼量子测量理论中观察者的意识作用开始,比如,通过哥本哈根学派中玻尔的“整体实验情态”把现象学“回到事情本身”跟量子测量联系起来^[17]。目前则是通过量子贝叶斯主义把现象学的“生活经验”同量子力学中波恩规则的概率解释结合起来,不仅主观贝叶斯主义主体更容易深入现象学,而且贝叶斯主义的概率跟量子力学的概率之间的关系也根深蒂固。当然,本文的最大创新之处在于,把目前的QBism与现象学(特别是梅洛-庞蒂的身体现象学)的互动,直接延伸到更加自然化的计算现象学,不仅可以更具体地消解维格纳朋友思想实验的悖论,而且展现出QBism同现象学的结合的方法,真正发挥出“大陆哲学”传统的科学哲学以及量子力学哲学(包括当代量子诠释学)的优势。甚至,有望成为量子力学对当代哲学观念变革的突破口。

参考文献:

- [1] CAVES C M, FUCHS C A, SCHACK R. Quantum Probabilities as Bayesian Probabilities[J]. *Phys Rev A*, 2002, 65(2): 022305. DOI: 10.1103/PhysRevA.65.022305.
- [2] DEBROTA J B, STACEY B C. FAQBism[J]. *arXiv*, 2018. DOI: 10.48550/arXiv.1810.13401.

- [3] STACEY B C. Toward a world game-flavored as a Hawk's wing[C]//BERGHOFFER P, WILTSCHE H A. Phenomenology and QBism: New Approaches to Quantum Mechanics. New York and London: Routledge Taylor & Francis Group, 2024: 49-77.
- [4] FUCHS C A, STACEY B C. QBism: Quantum Theory as a Hero's Handbook[C]//RASELE M, SCHLEICH W, WÖLK S. Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi, Course 197 - Foundations of Quantum Physics. Amsterdam: Italian Physical Society, 2019: 133-202. DOI: 10.3254/978-1-61499-937-9-133.
- [5] FUCHS C A. QBism, Where next?[C]//BERGHOFFER P, WILTSCHE H A. Phenomenology and QBism: New Approaches to Quantum Mechanics. New York and London: Routledge Taylor & Francis Group, 2024: 78-143.
- [6] WIGNER E P. Remarks on the Mind-Body Question[C]//GOOD I J. The Scientist Speculates. London: William Heinemann, Ltd., 1961: 284-302.
- [7] FUCHS C A. QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism [PP/OL]. arXiv (2010-03-26) [2025-10-20]. <https://arxiv.org/abs/1003.5209>.
- [8] DE BROTA J B, FUCHS C A, SCHACK R. Respecting One's Fellow: QBism's Analysis of Wigner's Friend [J]. *Foundations of Physics*, 2020, 50 (12): 1859-1874. DOI: 10.1007/s10701-020-00369-x.
- [9] RAUCHIGER D, RENNER R. Quantum theory cannot consistently describe the use of itself[J]. *Nat Commun*, 2018, 9(1): 1-10. DOI: 10.1038/s41467-018-05739-8.
- [10] BAUMANN V, BRUKNER Č. Wigner's friend as a rational agent[C]//HEMMO M, SHENKER O. Quantum, Probability, Logic: The Work and Influence of Itamar Pitowsky. Cham: Springer, 2020: 91-99.
- [11] MERLEAU-PONTY M. The Visible and Invisible[M]. LEFORT C. translated by A Lingis. Evanston, IL: Northwestern University Press, 1968.
- [12] SCHACK R. A QBist reads Merleau-Ponty [C]//BERGHOFFER P, WILTSCHE H A. Phenomenology and QBism: New Approaches to Quantum Mechanics. New York and London: Routledge Taylor & Francis Group, 2024: 144-153.
- [13] BITBOL M, DE LA TREMBLAYE L. QBism: An Eco-Phenomenology of Quantum Physics[C]//BERGHOFFER P, WILTSCHE H A. Phenomenology and QBism: New Approaches to Quantum Mechanics. New York and London: Routledge Taylor & Francis Group, 2024: 215-266.
- [14] BLANKE O, METZINGER T. Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2009, 13(1): 7-13. DOI: 10.1016/j.tics.2008.10.003.
- [15] METZINGER T. Minimal phenomenal experience: Meditation, tonic alertness, and the phenomenology of "pure" consciousness [J]. *Philosophy and the Mind Sciences*, 2020, 1(1): 7. DOI: 10.33735/phimisci.2020.1.46.
- [16] SANDVED-SMITH L, HESP C, MATTOU J, et al. Towards a computational phenomenology of mental action: Modelling meta-awareness and attentional control with deep parametric active inference[J]. *Neuroscience of Consciousness*, 2021, 7(1): niab018. DOI: 10.1093/nc/niab018.
- [17] 李继堂. 从现象学的角度看量子测量[J]. 洛阳师范学院学报, 2005, 24(03): 13-15. DOI: 10.16594/j.cnki.41-1302/g4.2005.03.003.



李继堂,男,教授,博士,博士生导师。担任中国自然辩证法研究会物理学哲学委员会委员,江苏省逻辑学会理事。目前主要从事物理学哲学与认知科学哲学研究,主持完成国家和教育部项目6项。在《哲学研究》《哲学动态》《自然辩证法研究》《自然辩证法通讯》《科学技术哲学研究》等期刊发表论文30余篇,独立出版专著1部,参与出版专著1部、译著2部。Email:lijitang67@163.com

(责任编辑:彭 鹏)