

语境实在论：量子力学反实在论的瓦解者

Contextual Realism: The Disruptor of Quantum Anti-Realism

孙玉忠 / SUN Yuzhong

(哈尔滨师范大学马克思主义学院, 黑龙江哈尔滨, 150025)
(School of Marxism, Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang, 150025)

摘要: 围绕量子力学量子实在论和量子反实在论的重大争论, 俄苏学者提出了语境实在论的解释方案。语境实在论的目标是向广义哥本哈根解释的回归, 克服正统解释之后量子力学各种解释的局限性。语境实在论将物理理论定义为在语言的语境中对物理实在进行识别(测量)的维特根斯坦式的规则, 量子对象由量子理论在语境中对其识别来确定, 认为对量子系统在给定时刻的状态描述, 是给定时刻相对于给定观察者的波函数识别的结果。语境实在论的贡献在于, 消减了围绕量子力学的形而上学争论, 优化了关系实在论的问题方案, 瓦解了流行于当下的量子反实在论。语境实在论有关量子力学的研究对20世纪以来科学实在论的发展形成了重要的支持, 语境重建已成为后现代科学实在论走向的一个重要选择。

关键词: 语境实在论 关系实在论 量子反实在论

Abstract: Russian and Soviet scholars propose an explanatory scheme for contextual realism surrounding a major debate over the relationship between quantum realism and quantum anti-realism. The goal of contextual realism is to achieve a return to a broader Copenhagen interpretation, and overcome the limitations of various interpretations of quantum mechanics after the orthodox interpretation. Contextual realism defines physical theories as Wittgenstein-like rules for the identification (measurement) of physical reality in the context of language, and quantum objects are determined by the quantum theory identifying them in context, holding that the state of a quantum system at a given moment is the result of the identification of the wave function at a given moment relative to a given observer. The contribution of contextual realism is that it has eliminated the metaphysical debate around quantum mechanics, optimized the problem scheme of relational realism, and disintegrated the prevailing quantum anti-realism. The research of contextual realism on quantum mechanics has formed an important support for the development of scientific realism since the 20th Century, and contextual reconstruction has become an important option for the direction of postmodern scientific realism.

Key Words: Contextual realism; Relational realism; Quantum anti-realism

中图分类号: N031 文献标识码: A DOI: 10.15994/j.1000-0763.2023.08.003

进入21世纪, 围绕量子力学的争论主要在量子实在论与量子反实在论之间进行。以量子贝叶斯定理等的解释为基础, 量子反实在论得到了许多物理学家的支持。量子实在论较长期处于边缘地位。近几年来, 这种状况开始发

生一些变化。物理学家们已经学会了如何在叠加状态下操纵单个量子系统, 具备了借助波函数操纵其他物体的能力, 这些技术在一定程度上危及到了量子反实在论的地位。以量子密码学和量子计算技术等出现为代表, 被称为是

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“20世纪60年代以来苏联(俄罗斯)科技哲学与科技史研究”(项目编号: 21&ZD062)。

收稿日期: 2022年11月30日

作者简介: 孙玉忠(1964-)女, 黑龙江哈尔滨人, 哈尔滨师范大学马克思主义学院教授, 研究方向为科学哲学与科学史。

Email: sunyuzhong126@126.com

第二次量子革命的开始。^[1]然而，技术上的进步尚不足以使量子实在论成功地取代量子反实在论。量子反实在论的瓦解需要一种新的实在论观念和解释方式。俄苏学者尝试将语境实在论引入到量子力学的解释当中，在语境实在论的框架内，消减了围绕量子力学的形而上学争论，优化了关系实在论的问题方案，瓦解了量子力学反实在论的核心观念。

一、语境实在论的登场

20世纪20年代，量子力学建立起了两种数学形式——海森堡的矩阵力学和薛定谔的波动力学。这两种数学形式都是建立在经典的哈密顿函数的基础上，“本是同根生”。而且这两种力学在数学上是完全等价的，可以彼此相互推导出来。1930年，经狄拉克（P. A. M. Dirac）的工作，两者被统一起来作为一个理论的不同表达式。无论应用哪一种力学，关于同一个实在的不同描述不会产生理论上的困难，“因为我们已经从量子论的数学形式系统得知，矛盾是不能产生的。”对同一个实在而言，两种不同的数学方案的变换“并不给量子论的哥本哈根解释带来任何困难。”（[2]，p.18）然而，数学上的一致并不意味着现实的诠释没有差别。从矩阵力学来说，它代表的是粒子性和不连续性，而波动力学代表的则是波动性和连续性。波动力学强调波是唯一的实在，而矩阵力学则坚信物理世界的离散性。对此，海森伯等人深深意识到，这场争论必然会使得“在人们能够理解新情况之前，有关实在的基本概念必须发生巨大的变革。”（[2]，p.13）

量子力学的哥本哈根解释有三个核心观点：互补原理、海森伯的不确定性原理和玻恩的概率解释。后两者的结合捣毁了经典世界的因果性，而前两者的结合则尖锐地指向了量子世界量子客体的客观性和实在性问题。它们联合起来提出了形而上学的最普遍问题：对象是否独立于人而存在？现象之间是否存在明确的因果关系？未来的事件会影响过去的事件吗？围绕波函数的实在性争论，我们必须至少回答

两个问题。首先，如果波函数是可能状态的叠加，那么这些状态在被观察之前是否存在？其次，为什么可能状态的分解取决于观察者的知识和选择？回答这两个问题有三种答案，分别是经典实在论、量子反实在论和量子实在论。^[3]

经典实在论认为，量子客体与经典客体相类似，具有实在性、局域性和确定性。实在性是指量子客体的属性是客观存在的，不依赖于观察。波函数对真实状态的描述是不完备的，因为存在着量子理论没有描述的一些客观性质（隐参数）。局域性意味着在没有物理相互作用且不超过光速的情况下，对一个客体的测量不会影响另一个客体的测量结果。确定性则表明，一个封闭系统的状态完全由其先前时刻的状态决定，未来的状态不能影响过去的状态。

量子反实在论认为，在观察到真正的量子态之前量子客体根本不存在。对于未来实验的可能结果，只有波函数提供给我们的主观知识。“他们认为波函数为我们提供了有关量子系统状态的完整信息，并且没有隐参数。但是在测量之前，根本不可能谈论任何现实：波函数仅描述了我们尚未进行的实验可能结果的主观知识。测量时，量子系统在测量时刻的状态向量立即投影到设备的一个可能指示上，当实验最终进行时，波函数‘坍缩’。”^[4]而且，这种投影只是一种数学技术，并不对应于任何实际过程。

量子实在论主张，尽管量子实在与经典实在不同，但我们在观察之前可以讨论量子实体，这些实体可以是量子算子、波函数、信息、非局域性、关系等。波函数在任何观察之前都反映了关于可能状态的完整信息或知识。量子实在论“假设波函数不仅反映了我们对尚未进行的实验可能结果的主观认识，而且还反映了一些独立于观察者意识的量子实体的存在。然而，这些实体应该以非局域性和在从量子现实到经典现实的过渡中缺乏明确的因果关系为特征。”^[4]

为了找出哪一种观点更加接近真相，科学家们设计并进行了大量的实验。这些实验中比较有代表性的是贝尔不等式、Leggett不等

式、Leggett-Garg 不等式的检验。检验贝尔不等式的实验结果表明,不可能同时保持经典实在论的实在性和局域性。要么拒绝隐参量,承认单个粒子的行为是概率的,要么将隐参量归因于粒子,承认粒子之间存在非局域性的超距相互作用。第一种情形是保留局域性,牺牲实在性;第二种则相反,保留实在性,放弃局域性。为了测试以放弃局域性为代价来保留实在性的可能性,人们设计并开始检验 Leggett 不等式。2007年和2010年进行的实验结果表明, Leggett 不等式被违反,“这意味着瞬时影响不足以解释粒子之间的纠缠,因此拒绝局域性并不能解决问题。人们必须至少放弃幼稚的实在性看法,即粒子具有独立于观察的某些属性。”^[3]这两个不等式的检验,使我们认识到空间中被分隔开的两个纠缠粒子的空间非定域性。那么,时间非定域性是否也值得相信呢,于是人们提出了 Leggett-Garg 不等式。实验结果, Leggett-Garg 不等式同样被违反,“这意味着根本不可能将原子的演化简化为沿任何特定轨迹运动。我们总是在处理许多轨迹的叠加。”^[3]除此之外,人们还进行了大量的相关实验,如延迟实验、量子“擦除器”实验等。从中可以得出的结论是,首先,实验结果与量子力学的理论一致,理论是正确的。其次,经典实在论关于物体的属性是局域的且独立于观察的观点已遭到驳斥并被拒绝。第三,尽管量子实在论得到了一些实验的支持,但与得到哥本哈根解释和贝叶斯定理支持的量子力学反实在论相比,力量尚显薄弱。因此,量子实在论与量子反实在论的争论仍将继续下去。因为我们必须了解测量中各种可能状态的叠加态怎样先进入混合态,然后再进入其中一种可观察态。同时我们也必须回答,为什么可能状态的分解取决于观察者的知识和选择,以及量子相关性的时空非定域性意味着什么等问题。^[3]

在各种努力尝试中,西方与俄苏学者都提出自己的解决方案。1996年,当代著名理论物理学家罗维利(C. Rovelli)提出了关系实在论的解释,2018年前后,以普里斯(И. Е. Прись)为代表的俄苏学者提出了语境实在论

的解决方案并显现出了一定的优势。

二、语境实在论的方案

量子力学经历了90年的发展历程,除了作为正统解释的哥本哈根解释外,后续还出现了一些新的方案,如德布罗意-玻姆的隐函数理论、埃弗莱特的多重宇宙解释、泰勒(J. Tyler)的系综解释、自发定域解释等。虽然哥本哈根解释的完备性总是在争论中,但其它的解释还没有一个能取代哥本哈根解释的地位。反而是“后来的解释结果比量子物理学创始人的原始解释更糟糕。”^[5]捷列霍维奇(В. Э. Терехович)总结了哥本哈根解释长期成功的原因。在他看来,首先,哥本哈根解释“预设了量子理论描述量子客体的完备性”,这对物理学家们来说很重要。其次,它假设量子理论的真实性与经典理论和相对论理论的真实性的不矛盾,“这种兼容性是由互补原理、波函数的统计解释和投影假设来确保的。”并没有挑战经典实在论,使得在量子理论和任何其他物理理论方面保持一个实在论者成为可能。第三,哥本哈根的解释,只有“在测量之前与量子客体的关系是反实在论的”。^[1]波函数反映的不是关于某个真实状态的近似知识,而是关于未来实验可能结果的完整知识。语境实在论的目标是试图向哥本哈根解释回归,实现这一目标要解决好量子理论描述微观客体的完备性和测量问题。

语境实在论的主张可以概括为三个方面。首先,在语境实在论的框架内,将物理理论定义为在语言的语境中对物理实在进行识别(测量)的维特根斯坦式的规则。^[6]“语境的概念意味着在给定的理论中隐含或明确的规范概念。反之亦然,如果有一个规范,那么就有理论在语境中的应用。”任何理论包括量子力学,其具体适用性取决于语境,广义地讲,理论仅适用于其适用范围,狭义地讲,理论在其适用领域内的具体应用需要考虑具体语境。^[7]明确这一点十分重要。宏观世界中的经典力学理论已经不再适用于微观世界了,而采用量子理论。

但是，微观现象是借助于宏观的仪器观察到的。实验者通过宏观仪器建立起同微观现象的联系。由于实验仪器是宏观的，因此实验仪器呈现的结果就会由经典力学的概念如“坐标”“动量”等来表达。于是就出现了这样的情形，一方面，在微观领域中不能再使用经典理论，但另一方面，我们通过仪器所观察到的微观现象却要由经典力学的概念来表达。在语境实在论的框架下，这一点就不会造成太大的困惑。对于微观现象来说，“它不是预先确定的，因为它是语境的，并且也离不开用来识别它的语言。”^[8]虽然在微观领域中，我们仍然使用经典力学的概念来表达观察到的现象，但是，经典力学和量子力学蕴涵了不同的规范，提供了不同的理论语境。在不同的理论语境中，概念所表达的含义已经出现了差别。也就是说，量子力学中的“坐标”“动量”等概念已经不同于宏观世界了。不能按照在经典力学中得到的概念理解微观现象，而是要把概念植根于量子力学的理论语境中，按照量子力学来表达和理解它们的含义。进而我们也就理解了不确定性原理，理解了在经典力学中相容的动量和坐标在量子力学中为什么变成了相互冲突的概念。

其次，量子对象由量子理论在语境中对其识别来确定，因此它们的存在不是预先确定的，而是取决于语境。“只有在应用理论的前提下才能识别真实的对象。它是一个语境对象。它本身并不作为脱离语境的、具有绝对化形式的特定对象存在。”^[9]这里面包含有两重意思。一方面，在识别之前所谓真实的对象并不是对象；另一方面，在另一种语境中，对象可能会获得不同的身份。例如，2012年希格斯玻色子的实验发现，一方面证实了基本粒子物理学中的标准模型，但另一方面，如果没有建立起标准模型，希格斯玻色子就没有身份，它就不会是“希格斯玻色子”。换句话说，“希格斯玻色子只有在基本粒子物理学标准模型的框架内才能获得确定的或有意义的存在，并正确应用它来识别所谓的‘希格斯玻色子’。”^[10]从语境实在论的观点来看，每一个真实的对象都只在语境中被识别。只有在语境的框架内谈论一个真

实的对象才有意义。“语境性意味着对象和现象以及规范、规则、概念、理论和语言在现实中的根基——它们存在的真实条件的存在。”^[6]

第三，对量子系统在给定时刻的状态描述，是给定时刻相对于给定观察者的波函数识别的结果。这说明了为什么在量子力学的测量中，测量的结果与我们测量的行为有关。在量子力学中，在绝对（无条件）的意义上讨论物理量是没有意义的，除非首先描述你要测量物理量的方式。量子力学不会告诉你一个电子的“绝对”动量是多少，因为测量的结果是语境相关的。为了解释测量时系统如何从叠加态到可观察到结果的转变这一问题，语境实在论认为任何从理论意义向观察意义的转变都不是一个真正的转变。“观察者只是发现他处于一个或另一个特定的语境中，记录一个或另一个物理量的值。从这个意义上说他获取信息。但这不是‘纯信息’，而是语境中的信息，即关于量子系统在这个语境中的真实状态的信息。”^[5]

三、语境实在论的贡献

语境实在论的解释方案在三个方面显现出自己的优势：首先，消减了围绕量子力学的形而上学争论；其次，优化了关系实在论的问题方案；最后，瓦解了量子力学反实在论。

语境实在论在一定程度上合理地消减了围绕量子力学的形而上学争论。具体在四个方面。第一，在不求助于量子力学非定域性假设的前提下解释了EPR悖论。量子相关性的原因是波函数纠缠，相关的量子事件不是自主的，而是在它们观察的背景下定义的，无论他们的识别方式如何，都没有事件。因此，按照语境实在论的主张，“‘测量过程’中的波函数坍缩并不是一个需要对其进行解释的真实物理过程，而是过渡到测量一个物理量的特定值的语境。因此，测量不是导致系统状态变化的物理交互，而是对物理现实的语境识别。”^[7]也就是说，当我们在语境中进行测量时，只是确定了发生量子相关性的那部分现实，而现实中相关事件并没有发生。第二，对“多世界解释”给予了

重新说明。我们可以将埃弗雷特的多世界解释置于语境中并考虑到所有可能的语境。埃弗雷特的解释试图通过消除“波包坍缩”回到决定论，并捍卫波函数的本体论地位。在他那里，每个概率都对应于真实的宇宙。如果我们将多世界理论置于语境中，每个概率将是考虑到所有可能的语境的结果。这一解释的好处是克服了多世界解释带来的宇宙的“碎片化”，因为每个观察者都只能了解他所在的世界。第三，不确定性问题。对于不确定性原理，语境实在论给出了这样的说明。“我们有两个量子力学的现实‘图景’，就坐标和能量而言，至少在数学上，测量的参数只在一个或另一个解释图景的框架内很重要。这些图景中的每一个都是观察者的选择，并在其中有意识地对概念变体做出合理的解释，而这个解释图景通常是由在这个阶段占主导地位的科学、哲学和文化环境决定的。”^[11]第四，观察中的主体（意识）介入问题。按照语境实在论的主张，尽管观察者为量子实验准备条件，观察量子现象，测量量子物理量，然而，这并不意味着量子物理学中存在某种非物理意义上的主观元素或“意识”。术语“观察者”意味着有一个经典概念应用于普通的量子。“由于量子世界是不可直接感知的，其中的任何观察都只能说是科学实验。”^[11]

观察者显然是一个发起者，在某种意义上，他是实验方案的设计者，而且在实验过程的实施中影响着我们对微观世界的认识结果。但是，“所有这些实验方案仅在某种科学范式的结构中得到合理的解释才有意义。”因为，在量子世界的情况下，“不可避免的和不可或缺的情况是，量子世界中的任何观察都是一个理论上具有条件的实验，只有在给定的参考系的情况下才具有一定的说明性价值。”^[11]

语境实在论优化了关系实在论的问题方案。世纪之交出现的关系实在论是目前最为流行的量子力学解释之一，其基本点是寻求对实在概念的正确理解。其核心主张为，“物理理论处理物理系统之间的关系。特别是，它处理观察者对所观察系统的描述”。^[5]其出发点是拒绝物理系统独立于观察者状态的观念，承认

“基于量子力学的实验证据迫使我们接受不同的观察者对同一事件给出不同的描述”的观点。^[12]由给定观察者在此时此地记录的单个量子事件是真实的，它们是量子系统相互作用的结果，仅存在于相互作用中，而且它们是相对的——它们仅与所涉及的系统有关。对于关系实在论者，“讨论孤立系统的状态是没有意义的，因为物理世界是由相互作用的组成部分所构成的网络。代表量子现实基本本体的是关系而不是‘对象’。”^[5]

如前所述，量子力学的哥本哈根解释假设存在一个外部观察者和波函数坍缩，多世界解释没有考虑波函数坍缩，却出现了多个观察者。而在关系实在论那里，所有的物理系统都是平权的，这种平权或者说是民主抹平了观察者和被观察者之间的差别，观察者不再拥有任何特殊地位，任何物理系统都可以扮演哥本哈根观察者的角色，因此没有必要引入主观的意识。语境实在论同意不在观察中引入主观意识，却反对消除观察者和被观察者之间的差别，而是“接受理想观察者（作为规范的理论、概念）和真实（观察到的）系统（理论的应用、真实对象）之间的分类差异。”^[7]关系实在论中主体被去除，观察者的角色可以由物理系统扮演，所有的系统都是平等的，它们中的每一个都可以扮演一个观测系统的角色或者一个被观测系统的角色。而在语境实在论中，主体只是被去除主体化，它代表着在现实本身中发展起来的概念、规范和规则的应用。因此，对任何物理量的测量并不意味着主体意识以某种方式影响客观的量子过程，而是意味着对物理量的测量具有概念或规范的维度。无论是关系实在论还是语境实在论，基本点都是关于实在的理解，并且考虑到理论、概念、观察者和理论的应用、现实对象、观察到的对象之间的差异。两者相比，语境实在论的解释更好地展现出向哥本哈根解释的回归和纠正。

瓦解了量子力学反实在论。量子力学反实在论在量子力学建成之初得到了哥本哈根解释的支持，进入到21世纪又有贝叶斯定理强力支援，因此得到了许多物理学家的拥护。关系实

在论并没有对量子力学反实在论构成实质性的威胁，它只是试图在哥本哈根工具主义解释和量子力学的多世界解释之间找到一种折衷。在关系实在论这里，波函数只是起着纯粹工具的作用。而语境实在论认为，“波函数（连同量子理论）是一种规则工具。是语境‘工具实在论’，它考虑到实在的元素——量子‘beables’^①的存在。”^[5]“beables”一词是表达现实元素的一种独特的方式。用贝尔的话说就是，理论的基本真实元素（beables）是可能与之对应的存在于事物之中的实在元素。它们的存在不依赖于“观察”。“‘beables’概念的引入试图在‘被观察到的事物’（可观察到的）的基础上，将‘真实存在于世界上的事物’的首要地位带回到理论中。”^[13]“beables”一词，概念上非常笼统，因无法确定其精确含义导致物理学家们难以接受。但如果在语境实在论的解释下，这个明显的缺点可以转化为优势。这个词的含义可以随着语境的不同而发生改变，而不同的解释会就一些应该被视为“真实”的基本事物达成一致。根据贝叶斯定理，“测量结果被解释为代理人对由于他们采取的某些行动而发生在他身上的事情的主观体验。”其独特性来自于对体验本身本质的反思，体验的细节使我能够将自己识别为能拥有这种精确体验的独特“自我”。^[14]而在语境实在论看来，虽然被观察系统的某些变量自发地获得相对于观察者的唯一值，然而这种结果是非个人的自然事件，是基于特定理论下的语境下识别的结果。这样，就破坏了贝叶斯定理的基本原则，推倒了相对事实的概念，瓦解了量子力学反实在论的基本观念。

除此之外，俄苏学者还通过语境实在论对物理学中的形而上学实在论、柏拉图主义和结构实在论发起讨论，并尝试在语境实在论的框架内进一步阐明物理理论的本质、对应原理的意义物理学的统一性、时空问题、狭义相对论和广义相对论等基础性问题，展现出应用的乐观前景。^[15]语境实在论有关量子实在论的研究

对20世纪以来科学实在论的发展形成了重要的支持。随着“语言学转向”“解释学转向”和“修辞学转向”，科学实在论的发展迎来了新的期待。因为，“科学实在论的根本宗旨，就在于在与反实在论的论辩中彻底地抛弃对实在的怀疑论。”^[16]尽管语境实在论自身并不完美，也面临一定的问题。例如，操纵一个不可观测的理论对象的可能性是否总是表明它的存在？具体地讲，“如果对波函数的理论理解发生变化，那么它要么完全不再作为一个理论对象存在，要么成为另一个理论对象的极限情况”。^[1]但“一种说明或解释之所以适当的原因，就在于它赋予了我们特定语境中难题的求解。”^[16]科学实在论的发展仍然面对着十分艰巨的任务，它既要立足于实在论的立场对一切反实在论的观点给予反驳，又要与时俱进以应对各种反实在论的挑战。因此，“在语境重建的基底上向前推进已成为后现代科学实在论走向的一个重要抉择。”^[16]

[参考文献]

- [1] Терехович, В. Э. 'Три Подхода К Проблеме Квантовой Реальности и Вторая Квантовая Революция'[J]. *Эпистемология и Философия Науки*, 2019, (1): 169–184.
- [2] W. 海森伯. 物理学和哲学——现代科学中的革命[M]. 范岱年译, 北京: 商务印书馆, 1984.
- [3] 'Проблема Реализма в Современной Квантовой Механике'[J]. *Философия Науки и Техники*, 2016, (2): 34–64.
- [4] Внутских, А. Ю., Панов, В. Ф. 'О Перспективах Квантового Реализма и Квантового Антиреализма в Свете Практического Использования Феноменов Квантовой Нелокальности'[J]. *Новые Идеи в Философии*, 2021, (8): 82–88.
- [5] Прись, И. Е., Сторожук, А. Ю., Симанов, А. Л. 'Реляционная Интерпретация Квантовой Механики и Контекстуальный Реализм'[J]. *Философия Науки*, 2019, (2): 57–89.
- [6] Прись, И. Е. 'Гуманитарные Науки и Квантовая Механика'[J]. *Философия Науки*, 2020, (2): 113–130.

①贝尔从“be-able”中衍生出“beable”一词，意指时空现实的基本真实元素，作为原始的本体论假设。“beable”包括准备量子实验的宏观条件和测量过程中获得的数据。贝尔认为，对任何理论的全局解释都应该建立在“beable”的基础上。

- [7] Прись, И. Е. 'Квантовая Механика Карло Ровелли и Контекстуальный Реализм'[J]. *Вестник Челябинского Государственного Университета*, 2019, (8): 102-107.
- [8] Прись, И. Е. 'Фрагментализм Как Контекстуальный Реализм'[J]. *Философия Науки*, 2020, (1): 19-66.
- [9] Прись, И. Е. 'О Контекстуальной Реальности Рвантовых Объектов'[J]. *Философия Науки*, 2019, (4): 110-120.
- [10] Прись, И. Е. 'Контекстуальный Реализм в Физике'[J]. *Философские Исследования*, 2018, (5): 250-264.
- [11] Самойлов, И. В. 'Проблема Интерпретации и ее Связь с Онтологией Неклассической Физики'[J]. *Вестник Томского Государственного Университета*, 2011, (4): 52-56.
- [12] Federico, L. 'Open Problems in Relational Quantum Mechanics'[J]. *Journal for General Philosophy of Science*, 2019, (2) : 215-230.
- [13] Martin-Dussaud, P., Rovelli, C., Zalamea, F. 'The Notion of Locality in Relational Quantum Mechanics'[J]. *Foundations of Physics*, 2019, (2) : 96-106.
- [14] Jacques, P. 'QBism and Relational Quantum Mechanics Compared'[J]. *Foundations of Physics*, 2021, (5) : 1-27.
- [15] Прись И. Е. *Контекстуальность Онтологии и Современная Физика*[M]. СПб.: Алетейя, 2020, 14.
- [16] 郭贵春. 科学实在论的语境重建[J]. *自然辩证法通讯*, 2002, 24 (5) : 9-14.

[责任编辑 王巍 谭笑]