

重整化群实在论与因果实在论

Renormalization Group Realism and Causal Realism

颜春玲 /YAN Chunling

(北京大学哲学系, 北京, 100871)

(Department of Philosophy and Religious Studies, Peking University, Beijing, 100871)

摘要: 重整化群技术在物理学中的广泛应用使得这项技术在哲学层面的讨论愈发重要。在量子场论的语境中, 重整化群技术是我们用来推出有效量子场论的方法, 有效量子场论的本体论问题似乎也与重整化群密不可分。本文以建构经验主义为例, 探讨了反实在论对重整化群实在论的批评, 重点分析了重整化群实在论是否确实无法为有效场论提供坚实的本体论基础。本文论证了重整化群实际上包含反实在论立场所无法刻画的因果关系, 由此, 重整化群实在论在本体论层面上超越了反实在论的主张。

关键词: 重整化群 科学实在论 量子场论 因果性

Abstract: The widely use of renormalization group technique in physics makes the discussion of this technique at the philosophical level increasingly important. In the context of quantum field theories, renormalization group technique is the method we use to introduce effective quantum field theories. And, the ontological problems of effective quantum field theories seem to be inextricably linked to renormalization group. Taking constructive empiricism as an example, this paper explores anti-realist criticisms of renormalization group realism, focusing on whether or not renormalization group realism is indeed incapable of providing a solid and robust ontological foundation for effective field theories. This paper argues that renormalization group realism in fact contains causal relations that the anti-realist position is unable to inscribe, and that, as a result, renormalization group realism goes beyond the claims of anti-realist at the ontological level.

Key Words: Renormalization group; Scientific realism; Quantum field theories; Causality

中图分类号: B085; B025.5 DOI: 10.15994/j.1000-0763.2026.01.006 CSTR: 32281.14.jdn.2026.01.006

引言

有效场论 (effective field theories, EFTs) 是理解量子场论 (quantum field theories, QFTs) 的主要进路之一。EFT 的实在论建立在以重整化群 (renormalization group, RG) 方法构造 EFT 的机制之上。因此, 我们可以很自然地认为理论的实在论是由 RG 方法提供和保

证的, 并且这种实在论是稳健的 (robust)。我们称这种立场为 RG 实在论。虽然构造理论和从理论构造中得出理论的本体论意义是密切相关的目标, 但它们对理论的理解截然不同。使用 RG 方法构造 EFT, 是将 QFT 重塑为具有特定应用范围的理论, 也就是 EFT 只在特定能标或者尺度下是经验适当的。但我们能从这些只在特定尺度下成立的理论中得出什么本体论意义, 则是另一个问题。从表面上看, 用 RG 作

基金项目: 国家社会科学基金青年项目 “量子场论的诠释问题研究” (项目编号: 22CZX017)。

收稿日期: 2025 年 1 月 9 日

作者简介: 颜春玲 (1991-) 女, 福建泉州人, 北京大学哲学系助理教授, 研究方向为物理学哲学和一般科学哲学。Email: yanchunling@pku.edu.cn

为EFT的实在论指南似乎不足以完整地说明EFT的实在论。在本文中,我们通过讨论反实在论对RG实在论的批评,分析RG实在论是否确实无法为EFT提供坚实的本体论基础。这种批评认为,RG实在论赋予本体论重要性的RG不变的元素,如关联函数,在反实在论的立场看来没有本质上的区别。本文与这种反实在论的批评进行对话,并指出RG实在论蕴含了区别于反实在论立场的因果关系,因此得出一种基于因果性的RG实在论立场。RG实在论超越了反实在论,它不仅用RG不变的元素解释了RG方法的经验适当性,还以因果实在论为基础指明了EFT中真正的实在论内容。

重整化是量子场论中用于处理可观测量计算中出现的无穷大问题或者发散问题的一种方法。而重整化群的工作是对这项技术工作的进一步发展,并且对理解量子场论、统计力学、凝聚态物理等起着重要的作用。当前对重整化群及其在有效量子场论的应用来自威尔逊(Kenneth Wilson)的工作。在威尔逊的重整化群方法中,“积掉”高动量模(high momentum modes)的过程是系统地推导出一个描述了较低能下的物理的EFT的方法。这个想法是从一个包含所有可能模(高动量和低动量)的完整理论开始,然后逐渐“积掉”或“平均掉”高动量模,以获得一个仅包含低动量模的EFT。这是通过引入一个动量截断 Λ 然后逐步降低这个截断来完成的。在每一步中,动量位于旧截断和新截断之间的模被积掉。哈密顿量的形式被改变了,理论参数(如耦合常数和质量)被调整,以使理论的低能端预测保持不变。这个过程被称为重整化群流(RG flow),它导出了一系列在逐渐降低的能量下有效的EFT。

一、来自反实在论的批评

由重整化群方法为EFT带来的实在论问题是,一个仅仅在一定尺度下成立的理论是否具有实在性?还是,它只是在特定尺度下临时用来描述世界的一种工具?即使有效理论的实在性成立,它也显然不能对物理世界提供在所有

尺度下成立的最终的解释,而只能将其实在性主张限制在其经验适当的范围。也就是说,有效理论的实在性仅仅只是一种有效实在论(effective realism),即在特定范围内,有效理论(近似)为真,这种实在性由重整化群技术来保证。EFT作为一种粗粒化的表示,捕获了一些(相对)长距离、低能尺度下世界的特征。

实在论者一致认为,EFT的本体论核心是“确定必要的本体论承诺,以解释我们最好的QFT在已知可靠的有限尺度中的成功,而不是在它们可能失效的尺度中的成功”。^[1]威廉姆斯(Porter Williams)和弗雷泽(James Fraser)采用RG方法,提出RG的实在性是由RG不变的内容提供的,如关联函数等。^{[2], [3]}弗雷泽认为,可以承诺在距离尺度上远远超过截断尺度的长距离关联函数的实在性。相关的物理量在RG的粗粒化变换中被保留,并对QFT模型的长距离结构进行了编码。它们也与EFT的成功预测直接相关——理论的长距离关联函数的任何改变都会导致其低能散射截面的改变,而散射截面是能直接测到的物理量。但是,RG实在论很快招致了一些批评,其中之一是RG实在论与反实在论之间没有本质上的区别,因为RG实在论承诺的物理量是反实在论者所能接受和承诺的。许多物理学哲学家,如鲁切(Laura Ruetsche)、里瓦特(Sébastien Rivat)、拉德曼(James Ladyman)和洛伦岑蒂(Lorenzo Lorenzetti)都提出了这一批评,这也成为EFT实在论或RG实在论的主要障碍之一。^{[1], [4], [5]}

鲁切指出,RG实在论需要作出更多真正的本体论承诺,以区别于反实在论。^[4]一种方法是从结构角度理解经验信息。里瓦特更清晰地重构了该批评的结构主义版本:

我们可以选择将关联函数解释为编码了结构性物理量,而与物理对象或变量无关。就EFT而言,我们可以把关联函数解释为编码目标系统在足够大距离上的关联,其中,‘关联’指的是表示时空点或区域之间关联程度的一组数字。然而,如果我们选择这条路,反实在论者可能会对这些承诺的明显实在论

特征产生怀疑，并且像鲁切正确指出的那样，把它们重新纳入自己的承诺。^{[1], [6]}

反实在论者同意由RG变换提供的经验信息是不变的，并要求实在论者提供超出反实在论主张的实在论承诺。里瓦特举了一个更具体的例子来说明反实在论者的论点。“在高能物理中，我们将某些散射过程的初态和末态之间关联的经验信息归入一个叫做S-矩阵的数学对象中，S-矩阵可以通过LSZ约化公式对初态和末态之间所有可能的关联求和的适当渐近极限得到。如果我们认为场扰动（disturbance）的影响原则上可以在任何足够大的时空区域内被探测到，那么似乎没有什么可以阻止反实在论者认为，关联函数所指定的数只是总结了如果我们在这个时空区域内进行测量，所可能收集到的关于系统两种状态之间关联的经验信息。”^[1]反实在论者可以再次承认这些态之间的关联，如果RG实在论只愿意作出这些本体论承诺，那么它与反实在论依然没有明显的区别。

拉德曼和洛伦岑蒂也尝试对EFT进行有效实在论解释。^[5]他们也提出了反实在论者可能对RG实在论的诘难。他们认为RG实在论与建构经验主义无异，因为它不过是为了某个领域的科学实践的目的，承诺某些实体的实在性并进行推理。要使它有资格成为一种实在论，我们需要明确说明实在论的承诺。^[5]拉德曼和洛伦岑蒂认为，很难看出RG实在论和范·弗拉森（Bas van Fraassen）的建构经验主义有什么不同，“因为包括范·弗拉森在内的反实在论者允许接受理论的人对理论的本体论做出实用主义承诺，而且这些承诺在理论的应用和发展中也有其作用”。^[5]

然而，我们应该重新审视这种反实在论，特别是它指出了哪些RG实在论真正需要回应的问题。鲁切认为，这种批评并不意味着我们应该放弃将RG实在论作为EFT的实在论立场，然而如果我们仅仅承诺RG不变的元素的实在性，那么要说明RG实在论的稳健性将会遇上许多困难。从对限于具体范围的RG方法和EFT的实在论立场的讨论中可以得到的教训是，传统的实体本体论不再适合有效理论的框

架，需要对传统实体或者科学实在论的信条进行修正。重新审视实体可能涉及对实体的不同理解，如通过实体的功能来理解实体（例如功能主义进路），或认可一种更普适的形而上学立场，如结构实在论。

里瓦特以及拉德曼和洛伦岑蒂对这一批评做出了更积极的回应。然而，正如我们将在第三节看到的，他们的论证并不是补救RG实在论的最佳方法。

二、试探性解决办法

1. 里瓦特方案

里瓦特所采取的方法是修正传统科学实在论的信条。里瓦特承认，仅仅依靠关联函数不足以建立独特的本体论，RG实在论需要进一步承诺类似于粒子和场这样的实体。^[1]但是他指出，粒子在QFT范畴内是有问题的。例如，马拉曼定理（Malament theorem）和哈格定理（Haag's theorem）等几个止步定理（no-go theorem）使得粒子本体论失去了吸引力。

在场本体论中，里瓦特同时考虑了格点场和连续场作为候选者。格点场面临非充分决定性的问题。例如，在格点上表述EFT时，可以通过积掉高能自由度来推导出低能格点场。然而，粗粒化过程可能产生不同的低能格点表示，这些表示在经验上是等价的，但在具体细节上却各不相同。这意味着相同的经验预测可能来自不同的更基本的高能理论，从而导致低能描述缺乏唯一性。^[1]对于连续场，里瓦特认为，虽然连续场不存在这样的问题，但条件是需要承诺这些与世界的长距离尺度特征近似相同的连续场的存在性。^[1]然而，传统的实在论者不愿意承诺在EFT中存在这些涉及无穷的实体和结构，因为连续场的核心特征恰恰出现在（有效）理论失效的尺度上。在里瓦特看来，这表明连续场是EFT本体论的最佳候选者，但它不应该是绝对的（simpliciter）、无限制的实在。

传统实在论的观点是实在无需被限制在特定尺度或者领域。而里瓦特认为，EFTs带来的启示是我们需要修改实在论的信条，即我们不

能简单地认为连续场是绝对实在的,而是要将实在论主张局限于理论在经验上仍然成功的领域。我们需要把连续场的描述看作相对于特定物理尺度范围(近似)为真(或为假)。也就是说,当我们谈到一个连续场在时空的每一点上都具有指定的性质时,我们并不认为该场在任意短的距离上绝对(也)具有该性质。^[1]我们仅仅是主张在长距离尺度上的物质结构是如EFT所描述的那样。因此,他认为实在论者必须“修正选择实在论者(selective realists)(如西洛斯(Stathis Psillos);查克拉瓦蒂(Anjan Chakravartty))所认可的科学实在论的标准语义信条,并且把物理尺度当作将(近似)为真的指标”。^{[1], [7], [8]}里瓦特正确地认识到,真正的本体论必须局限于有限的范围或较大的距离尺度,因此要接受EFT只是关于局部世界的实在论论述。他认为应该以尺度为指标来理解连续场的实在性,即连续场的实在性是依赖于尺度的。

但是,里瓦特以世界的大距离尺度特征为指标对连续场的处理仅仅是特设性的,只是因为有效场论在特定能标下成立而提出的方案。重整化群的技术使得在不同能标下会出现不同的有效场论,因此实在论承诺的内容也会随之变化。这种立场仅仅是在有效场论的框架下对其实实在论主张提供的临时解决办法。

2. 拉德曼和洛伦岑蒂的方案

反实在论批评的要旨是, RG所提供的物理内容,如关联函数,不足以构成一种强有力的、真正的本体论承诺。拉德曼和洛伦岑蒂论证,当RG实在论与本体结构实在论(ontic structural realism, OSR)结合起来,就可以回应反实在论的批评。

拉德曼和洛伦岑蒂认为, OSR可以改进关于QFT的有效实在论。“对模态结构的实在论的明确承诺是OSR的核心内容,它使OSR有别于范·弗拉森的建构经验主义和科学实在论的形而上学。此外,从拉德曼和罗斯(Don Ross)的OSR的角度来看,由量子场论引发,并由弗雷泽、威廉姆斯和多尔蒂(John Dougherty)提出的那种实在论并不是量子场论

所特有的,而是本体论上的尺度相对性(scale-relativity)的一个例子。他们认为本体论上的尺度相对性无处不在,而且自然地嵌入了OSR的有效实在论之中。”^[5]他们的实在论立场是基于“量子场论中重整化群技术所确定的模态结构”。^[5]从这个意义上说,应用于量子场论的有效实在论可以很自然地表述为一种结构实在论,即主张在重整化群流下不变的理论元素实际上表示了世界中的模态结构,而这些结构正是我们在本体论上所承诺的。因此,关于模态结构的实在论使我们能够把关于量子场论的有效实在论变成一种真正形式的科学实在论。^[5]

然而,具有模态结构的OSR对于EFT层面的实在论来说,是一种过于笼统的解释。这种立场无法捕捉我们所理解的那些在RG变换下是稳健不变的本体论的细节。此外,如果拉德曼和洛伦岑蒂认为那些RG不变的量可以被重新表述为结构,那么这依然没有解决反实在论所提出的批评,即这些承诺都是他们可以接受和承认的。此外,模态诠释下的量子理论自身也面临来自止步定理的一些问题。希利(Richard Healey)指出,贝尔(John Bell)、格里森(Andrew Gleason)、科亨(Simon Kochen)与斯派克(Ernst Specker)等人提出的止步定理排除了以一致的方式为所有可观测量赋予确定值的可能性。^{[9], [10]}因此,基于模态结构的OSR并不能成功回应反实在论的批评。

三、因果实在论

不同于里瓦特和结构实在论者的办法来补救RG实在论,本文认为RG实在论可以通过指明RG变换的拉氏量或哈密顿量中的因果关系,让自身的实在论主张更加稳健。这种立场可以称为因果实在论,并且可以在有效场论的框架下得到恰当的说明。里瓦特正确指出,“如果我们要从实在论的角度来解释有效理论,那么它们的结构就为我们提供了一个核心约束,使我们可以做出比物理学界通常所做的承诺更可靠的本体论承诺:即我们只应承诺存在具体的

物理对象——实体、结构、性质、量、态、现象、倾向 (dispositions) 等等——可在理论的经验有效范围内指明。在这一范围之外，有效理论的结构使我们有充分的理由相信，它们未能表示或错误地表示物理对象。”^[1] 科学实在论的这种尺度依赖性为 RG 方法教给我们的，因此，关于 EFT 的实在论解释自然有其局限性。

1. RG 实在论与因果性

我们可以通过 QFT 和凝聚态物理中的 RG 解释来理解 RG 实在论的因果性。对于单个系统，RG 解释了为什么系统在不动点（或者附近）展现出了不变性，或者为什么系统的宏观行为与它的一些微观细节无关。背后的机制在于 RG 变换抽取 (abstract) 了系统中那些无关的微观层面上的相互作用和细节。

首先，RG 变换是非因果性的数学操作，也就是说描述系统的两个哈密顿量 H 和 H' 之间不存在因果关系。在此处对因果性采取最一般性、常识性的理解，即因果涉及事件或事件类型之间的不对称依赖关系。^[11] 一个原因发生在其结果之前，而该结果并不能解释其原因。罗伊特林格 (Alexander Reutlinger) 指出，“假设哈密顿量 H 和 H^* 表示某种流体 F 的微观成分的相互作用，而 H^* 是‘物理实在的’ H 在 RG 变换下的产物。在此情况下，哈密顿量 H 不是发生在哈密顿量 H^* 之前（或之后）的，因为哈密顿量之间根本不存在时间关联。此外，说 H 和 H^* 存在明显的不对称依赖关系似乎也不准确，因为 H 和 H^* 是同一流体 F 的等价表示（在发生相变时）。”^[12]

然而，沙利文 (Emily Sullivan) 认为，在 RG 变换的每一步中，变换后的哈密顿量仍然追踪着系统中组分粒子之间的各种相互作用，并且每次变换后的哈密顿量都会给出对系统的更粗粒化的观察。“哈密顿量的变换并不表示物理系统的变化，而是表示临界点上同一过程的另一种表示。一旦明确了原始哈密顿量包含因果联系，即关于系统自由度、自旋、外部场效应等等之间的相互作用，那么变换后的表示仍然保留了自由度、自旋、外部场效应等等之间的相互作用的因果联系”。^[11] 在沙利文看来，

这是一种抽取无关的因果的描述，在长距离尺度上因果无关的自由度和特定粒子间的相互作用被抽取掉了。

要说明一个表示在抽取一些信息后仍然不影响其中的因果关系，沙利文强调了史觉文斯 (Michael Strevens) 关于因果抽取的观点，即科学解释可以关注较高层次的因果影响，同时抽取掉对解释现象而言并非必要的较低层次细节。^{[11], [13]} 根据史觉文斯的观点，因果抽取允许科学家分离出与理解特定事件或行为相关的因果因素，即使这意味着忽略一些较低层次的具体细节。在这个框架中，如果一个解释突出了导致结果的因果差异因素，即使它抽取掉了某些低层次的因果细节，仍然可以被认为是因果性的。^[13] 例如，使用理想气体定律来解释气体的行为，尽管没有详细说明单个气体粒子的具体相互作用，但仍然可以作为因果解释。关键在于，抽取过程并不否定解释的因果性。

在沙利文看来，抽取过程表明短距离尺度上的粒子相互作用与系统的宏观行为无关，因此哈密顿量的每一次 RG 变换都会分离出更高层次的因果差异制造者。我们对单个系统的临界现象有了更粗粒化的表示，但这个表示仍然可以提供因果性的解释。在 RG 变换下，哈密顿量仍然表示系统各组成部分之间的因果关系。变换后的哈密顿量仍然追踪相同的长距离尺度上的相互作用。换句话说，长距离上的相互作用在 RG 变换中保持一致，而短距离尺度上的因果细节可能会有所不同或被抽取掉。在 RG 解释中，虽然短距离上的相互作用的细节可能会被抽取掉，但变换却突出了对于理解系统在临界点上的行为至关重要的长距离尺度上的相互作用。

目前为止，我们关心的是单个系统中的 RG 变换和 RG 解释。对 RG 解释的进一步的讨论可以推广到 RG 解释对普适类的解释。QFT 中的普适性概念意味着，不同的理论尽管具有不同的特征，但可以流向相同的不动点，从而导致在低能端的相同行为。凝聚态物理的普适性是指微观细节截然不同的系统（如不同的原子结构、相互作用或格点几何结构）在临界点附近

可以表现出相同的渐近行为。例如,相同的临界指数可以支配截然不同的系统的相变,如液体-气体相变和铁磁相变。RG对相变的普适宏观行为的解释是:“普适类中每个系统的哈密顿量的流都终止于同一个不动点。在这一点上,系统的无关耦合已经被迭代掉了,留下的是最大的长度尺度。此时,假定粒子数量无限,关联长度无限。一旦找到不动点,就可以通过临界指数及其普适类来描述系统的特征。重要的是,不动点是RG变换的产物,每次变换后,系统的行为仍会得到体现,尽管是在更大的长度尺度上。”^[11]沙利文认为,单个系统中的RG解释的因果性,可以推广到对同一普适类中系统的RG解释。在多个系统的情况下,抽取掉每个系统特有的因果细节,不妨碍这些不同的系统达到不动点时展现出同样的宏观行为,而宏观行为显然依赖于每个系统在长距离尺度下的那些因果关系。^[11]换句话说,这些长距离相互作用对于理解系统的宏观特性至关重要。

2. 因果实在论解决方案

本文希望寻找一种非特设性的RG实在论解释,为EFT提供真正的实在论承诺。RG不变的物理量实际上能够提供因果解释,这是由有效哈密顿量或拉氏量所保证的,因为它们追踪了系统在RG变换下的因果关系。沙利文指出,虽然RG变换本身不是一个因果操作,但这一操作之后留下的表示仍然保留了关键的因果关系。^[11]当到达RG轨迹中的一个不动点时,参数(如耦合常数、质量)在此后的RG变换中保持不变,在得到的有效哈密顿量中留下的就是长距离尺度上的关键因果关系。

RG实在论不仅提供了经验上适当的物理量,如关联函数,还编码了参与相互作用的实体之间的因果关系。在重整化群流的不动点,有效哈密顿量编码的因果信息与可观测效应直接相关。在凝聚态物理中,哈密顿量表述更为常见,而在粒子物理中,则更倾向于使用拉格朗日表述。我们可以通过拉氏量来理解系统的动力学,因为拉氏量包含动力学项,其中蕴涵相关的因果关系。例如,自由系统的动力学项描述了粒子和场如何在时空中传播,其中蕴涵

了粒子和场涉及不同时空点的动力学过程中的因果关系。这为自由粒子从一个时空点传播到另一个时空点提供了因果解释。在相互作用的系统中,因果关系甚至会更直接地出现,例如在电子-电子散射过程中导致电子相互排斥的相互作用关系。RG实在论的因果版本主张,无论采用哪种表述,RG变换后的哈密顿量或拉氏量都包含因果信息。

RG实在论的因果版本可以与埃格(Matthias Egg)的因果实在论联系起来。埃格提出了因果依据(causal warrant)的概念,即一个因果解释满足三个标准,即“非冗余性”(non-redundancy)、“物质推论”(material inference)和“经验适当性”(empirical adequacy)时,这个因果解释是最佳解释。^[14]因果依据指基于因果知识(causal knowledge)而相信某些性质或实体存在的合理性。因果实在论主张,当科学实在论建立在详细的因果知识基础上时,它才是合理的,这种因果知识允许对现象进行干预和系统预测。在埃格的因果实在论中,因果依据建立在查克拉瓦蒂的探测性质(detecting properties)概念之上,探测性质“通过因果过程与我们的仪器和其他探测手段相连接”,是对描述实验结果的数学方程进行“最简实在论解释”的必要条件。^{[7], [15]}对埃格来说,探测性质是根据建立因果依据的三个标准来定义的,这些标准有助于通过实验确定因果联系的性质。其中,非冗余性要求假设是对特定现象的唯一解释,或至少是已知替代解释中的最佳解释。物质推论指出应该明确如何通过实验干预或改变有关性质,即要将某一性质视为探测性质,就必须能够明确说明如果不存在或改变该性质会发生什么。经验适当性标准要求假设能够准确预测或解释可观测到的现象。

通过RG变换后的有效哈密顿量实际上包含与特定尺度的可观测现象有因果关联的性质,如重整化耦合常数,这些性质对于解释系统在该尺度下的行为是不可或缺的(满足物质推论)。重整化群还确保了有效哈密顿量在特定尺度上的经验适当性和非冗余性。有效哈密顿量保留了长距离尺度下的因果关系,从而反

映了理论的因果结构并描述了解释特定尺度下现象所必需的相互作用。由于有效哈密顿量得出的解释符合非冗余性、物质推论和经验适当性的标准，因果依据就成立了。此外，沙利文对普适类的讨论可以进一步说明这一点。“一个系统的序参量（order parameter）是确定普适类的基础，只有通过经验观察系统及其在各种条件下的表现才能知道”。^[11]这表明，连续相变中与普适性相关的序参量是根据经验确定的。一般来说，一个系统在特定情况下如何表现，总是通过其探测性质、实验仪器以及它们之间的因果关系来体现的。

3. 重新审视实在论

如果我们关心的问题是如何使RG实在论成为真正的实在论立场从而区别于反实在论，那么因果实在论就能满足这样的要求。因果性在RG变换过程中不会丢失。当系统经历RG变换时，长距离尺度或低能端的因果细节被保留下来，其实在性则通过埃格的因果实在论得到了保证。

里瓦特可能会反驳因果实在论，比如说，他认为：“如果我们仅仅通过系统的动力学行为和质量来指明系统，那么在我们选择格点还是连续场的问题上，仍然存在一些模糊性……选择实在论者需要充分、全面地说明一组确定的实体或结构，以履行她的解释职责”。^[1]本文的回答是，参与这些因果关系的实体存在着潜在的不确定性，但回应反实在论的批评并不需要对参与这些因果关系的实体作出传统意义上实在论承诺。反实在论的批评要求的只是将RG实在论与反实在论区分开来，而主张有效哈密顿量中存在因果关系，已经超出了反实在论者所能承认的范围。我们可能需要进一步的论据，来讨论这些参与因果关系的实体的存在性和基本性。但就反实在论批评所关注的问题而言，因果实在论足以将RG实在论与反实在论区分开来。

本文不否认实在论具有尺度依赖性，也就是实在性只在特定尺度下是有意义的，因为因果实在论依然是建立在实验尺度的基础上的。但本文与里瓦特的差异在于：本文认为要辩护

RG实在论只需要因果关系，而无须如里瓦特所坚持的立场，直接指出参与这些因果关系的实体是什么。

此外，有人可能会说，这里提出的因果实在论仅仅是OSR的特例，因为EFT中的因果关系只是RG技术所确定的模态关系的其中一种。事实上，OSR是作为一种比因果实在论论述更普遍的立场而被提倡的，因为OSR希望解决更多的问题，如理论变革中出现的悲观归纳问题。通常情况下，OSR的提倡者不会把他们的立场等同为因果论，因为他们想要的不仅仅是因果性。但因果实在论只打算让EFT在RG变换下保持不变的尺度上拥有足够的实在论承诺。

结 论

我们需要为RG实在论提供一种稳健且可靠的实在论立场，既足以将其与反实在论立场区分开来，同时无需回答在有效场论中粒子更基本还是场更基本的问题。RG实在论的因果版本提供了这样一种方案。有效哈密顿量或有效拉氏量包含长距离尺度下重要的因果关系，以确保有效理论中的表示可以追踪物理世界中的因果关系。

[参考文献]

- [1] Rivat, S. 'Effective Theories and Infinite Idealizations: A Challenge for Scientific Realism'[J]. *Synthese*, 2021, 198(12): 12107–12136.
- [2] Williams, P. 'Scientific Realism Made Effective'[J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 2019, 70(1): 209–237.
- [3] Fraser, J. 'Renormalization and the Formulation of Scientific Realism'[J]. *Philosophy of Science*, 2018, 85(5): 1164–1175.
- [4] Ruetsche, L. 'Renormalization Group Realism: The Ascent of Pessimism'[J]. *Philosophy of Science*, 2018, 85(5): 1176–1189.
- [5] Ladyman, J., Lorenzetti, L. 'Effective Ontic Structural Realism'[J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 2023, 729061.
- [6] Ruetsche, L. 'Perturbing Realism'[A], French, S., Saatsi, J. (Eds.) *Scientific Realism and the Quantum*[C], Oxford:

- Oxford University Press, 2020, 293-314.
- [7] Chakravartty, A. *A Metaphysics for Scientific Realism*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 89-118.
- [8] Psillos, S. *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*[M]. New York: Routledge, 2005.
- [9] Berkovitz, J., Hemmo, M. 'A New Modal Interpretation of Quantum Mechanics in Terms of Relational Properties'[A], Demopoulos, W., Pitowsky, I. (Eds.) *Physical Theory and Its Interpretation*[C], Berlin: Springer, 2006, 1-28.
- [10] Healey, R. *Gauging What's Real: The Conceptual Foundations of Gauge Theories*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2009.
- [11] Sullivan, E. 'Universality Caused: The Case of Renormalization Group Explanation'[J]. *European Journal for Philosophy of Science*, 2019, 9(3): 36.
- [12] Reutlinger, A. 'Why is There Universal Macro-Behavior? Renormalization Group Explanation as Non-Causal Explanation'[J]. *Philosophy of Science*, 2014, 81(5): 1157-1170.
- [13] Strevens, M. *Depth: An Account of Scientific Explanation*[M]. Cambridge: Harvard University Press, 2008.
- [14] Egg, M. 'Causal Warrant for Realism About Particle Physics'[J]. *Journal for General Philosophy of Science*, 2012, 43(2): 259-280.
- [15] Egg, M. 'Expanding Our Grasp: Causal Knowledge and the Problem of Unconceived Alternatives'[J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 2016, 67(1): 115-141.

[责任编辑 王巍 谭笑]