瞬时速度的本质与时空的形而上学

The Nature of Instantaneous Velocity and the Metaphysics of Spacetime

闫琦琛 /YAN Qichen

（北京大学外国哲学研究所、哲学系宗教学系，北京，100871）
(Institute of Foreign Philosophy; Department of Philosophy and Religious Studies, Peking University, Beijing, 100871)

摘　要：根据当代物理学哲学中一派流行的观点，运动物体的瞬时速度无非就是其时空轨迹的时间导数；换言之，瞬时速度在形而上学意义上完全由时空轨迹所决定。这种关于瞬时速度的还原论立场，堪称物理学教科书式的经典理解。然而，它却面临两个强有力的哲学挑战：其一，它与瞬时速度本应承担的解释性功能相冲突；其二，它面临奠基意义上的形而上学任意性难题。借助时空实体论与时空关系论的区分，本文指出，对瞬时速度（以及运动本质）的形而上学探究依赖于对时空本体论立场的选择。只要放弃对时空的实体化理解，转而采取关系主义的理解，就能对上述两大疑难作出有效回应。

关键词：瞬时速度　时间变化率　时空实体论　时空关系论　运动的本质

Abstract: According to a prominent view in contemporary philosophy of physics, the instantaneous velocity of a moving object is nothing but the time derivative of its spacetime trajectory. In other words, instantaneous velocity is metaphysically fully determined by its spacetime trajectory. This reductionist stance on instantaneous velocity is arguably the classic, textbook understanding of the concept. Nevertheless, it faces two powerful philosophical challenges: first, it conflicts with the explanatory role that instantaneous velocity is supposed to play; second, it confronts a metaphysical arbitrariness problem with regards to grounding. Drawing upon the distinction between substantivalism and relationism about spacetime, this paper argues that the metaphysical inquiry into instantaneous velocity (and the nature of motion) depends on one's view on the ontology of spacetime. As long as we abandon the substantivalist understanding of spacetime and adopt a relationalist one instead, we can offer effective responses to the two difficulties mentioned above.

Key Words: Instantaneous velocity; Rates of change; Spacetime substantivalism; Spacetime relationalism; The nature of motion

中图分类号：N02; B085　DOI: 10.15994/j.1000–0763.2026.12.013　CSTR: 32281.14.jdn.2026.12.013

引　言

运动的本质从古至今困扰着无数哲学家。著名的“芝诺悖论”试图指出，一个运动速度更慢的物体永远不可能被一个运动速度更快的物体追上：每当追赶者到达被追者先前所在的位置时，被追者已继续向前移动了一段距离，如此反复，追赶者似乎永远无法真正追上被追者。

众所周知，数学极限思想与微积分理论的诞生为芝诺悖论提供了有力的回应。在数学上，无限多个无穷小的时间区间之和可以收敛为一个有限值，而追赶者正是在这个有限的时间段内完成对被追者的超越。通过引入微积分的概念，物理学家能够在每一时刻精确刻画运动物

收稿日期：2026年4月7日
作者简介：闫琦琛（1997–）男，山西介休人，北京大学外国哲学研究所研究员、哲学系宗教学系助理教授，研究方向为形而上学、物理学哲学、科学哲学、哲学逻辑。Email: yanqichen@pku.edu.cn

体的状态，从而表明运动并非由离散的“碎片”构成，而是连续且可积分的整体过程。

基于微积分工具所带来的强大理论优势，许多科学哲学家主张，运动物体的瞬时速度无非就是其时空轨迹（spacetime trajectory）的时间导数（time-derivative），其数学定义如下：

$$v(t_0)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{s(t_0+\Delta t)-s(t_0)}{\Delta t}$$

根据该定义，某物在t_0时刻的速度矢量即其位置矢量在t_0处的时间导数。以伯特兰·罗素（Bertrand Russell）为代表的许多哲学家认为，该数学定义同时构成了对瞬时速度的形而上学定义：物体的瞬时速度不仅在数学量的意义上恰好等同于其时空轨迹的时间导数，并且前者在形而上学意义上也被彻底还原为后者。[1]-[3] 因此，严格来讲，瞬时速度可被看作一个“冗余”的物理量，它在物理学中并不占据任何基础地位，而仅仅是“寄生”于物体运动轨迹之上的派生物。一旦某物在时空中的位置矢量被完全给定，其在每一时刻的瞬时速度也便随之自动确定。

然而，这种极其自然、高度符合教科书式理解的瞬时速度还原论立场，在当代物理学哲学的讨论中却遭受了严峻挑战。本文旨在重点剖析该理论面临的两大难题，并试图论证，对这两大难题的回应依赖于我们对时空本质的理解：只要放弃对时空的实体化理解，转而采取关系主义的理解，这两个难题便能够得到消解。

一、瞬时速度还原论面临的第一个疑难

瞬时速度还原论面临的第一个疑难在于，它似乎与瞬时速度本应承担的解释性功能相冲突。弗兰克·安策尼乌斯（Frank Arntzenius）、马克·兰格（Marc Lange）等学者敏锐指出，在经典力学语境下，瞬时速度承担着显著的因果解释功能。[4]，[5] 根据牛顿第二定律，事物在t时刻之后的时空轨迹（或位置矢量）由事物在t时刻的速度、质量以及其在t时刻及之后时刻的受力所完全决定（同时辅以若干作为背景限制的初始条件）。在此意义上，事物在t时刻之后的位置至少部分地由其t时刻的速度所因果地解释。然而，根据瞬时速度还原论，事物在t时刻的速度完全依赖于事物的时空轨迹（或位置矢量）。因此，还原论的支持者似乎面临着如下的解释循环：

事物在t时刻的速度被其在t时刻之后的位置所部分地解释（因为对前者的定义依赖于后者）；

事物在t时刻的速度部分地解释了其在t时刻之后的位置（这正是前者扮演的因果解释功能）。

兰格认为，上述循环并不局限于牛顿力学语境；尽管它不能轻易推广至量子力学语境，但至少可以推广至相对论物理学。（[5]，p.433）同时，由于许多扮演重要因果解释功能的物理量在数学意义上都是其他物理量的时间导数——例如，加速度是速度的时间导数，电流是电荷量的时间导数，等等——上述解释循环也并不局限于瞬时速度这一特定案例。很显然，如果瞬时速度应当被还原为位置的时间导数，那么加速度同样应当被还原为速度的时间导数。然而，物体在t时刻的加速度在因果意义上至少部分地解释了其在t时刻之后的速度，又怎能被后者所（部分地）定义呢？由此可见，瞬时速度还原论所面临的解释循环波及甚广，牵涉到我们对“时间变化率”（或“时间导数”）这类物理量的一般化、原则性的理解。

注意到，上述循环在严格意义上涉及到两种不同的解释关系：（1）涉及到的是一种非因果的、形而上学意义上（或“定义”意义上）的解释，而（2）涉及到的则是因果意义上（或动力学意义上）的解释。然而，即便这两种解释关系性质不同，上述“循环”似乎仍旧难以接受。作为类比，不妨考虑心灵哲学中的物理主义立场。根据这一立场，心灵在形而上学意义上被大脑的神经活动所充分决定。基于此，我们似乎不得不放弃心灵本身具有的独立因果解释地位，原因恰恰在于：心灵不能既在形而上学意义上被大脑的神经活动所充分决定，又在动力因的意义上反过来解释大脑活动本身。由此可见，即便牵涉到不同类型的解释关系，

解释的循环似乎仍旧不可接受。

在学术界，避免上述循环的方案大体分为两种：（1）放弃瞬时速度的还原论立场，主张瞬时速度在本质上是独立的、不可还原的物理概念，只不过在数学量的意义上“恰好”等同于时空轨迹的时间导数；[6]，[7]（2）修正瞬时速度的定义，主张物体在t时刻的速度仅仅由其在t时刻之前的时空轨迹所定义，而完全不被其在t时刻之后的时空轨迹所制约。是故，即便t时刻的速度因果地解释了t时刻之后的时空轨迹，前者却仅由t时刻之前的时空轨迹所定义，这显然不会造成任何意义上的解释循环。[2]

然而，已有学者指出，这两种方案均面临着各自的挑战：第一种方案对瞬时速度的处理显得过于神秘，并且破坏了某些物理学理论（例如牛顿力学）本应具有的时间反演对称性；[4]第二种方案则无法被应用于“碰撞”（collision）等特定的物理情形。[5]限于篇幅，本文不对这两种经典方案所面临的困难做进一步阐述。

二、瞬时速度还原论面临的第二个疑难

瞬时速度还原论面临的第二个疑难在于，它带来了奠基意义上的形而上学任意性（arbitrariness）难题。所谓“奠基”（grounding），是当代哲学家对形而上学解释（或还原）采用的别称。[8]例如，在许多哲学家看来，所谓心灵可以被“还原”为大脑的神经活动，无非是说心灵状态在非因果的意义上被大脑活动所彻底“奠基”。[9]在此术语传统下，瞬时速度还原论表述的正是如下立场：物体的瞬时速度在非因果的意义上被其时空轨迹所奠基（或形而上学地解释）。

大卫·布伊莱斯（David Builes）与特雷弗·泰特尔（Trevor Teitel）敏锐地指出，瞬时速度还原论带来如下任意性难题。[10]假定事物A在t_0时刻具有速度v。根据瞬时速度还原论，事物的速度仅仅是其时空轨迹的“派生物”。因此，描述A在t_0时刻瞬时速度的“速度事实”（velocity fact）应当被一系列描述其不同时刻空间位置的“位置事实”（position facts）所彻底奠基。这也就意味着，应当存在一个合适的时间区间$[t_0 - \Delta t, t_0 + \Delta t]$（$\Delta t > 0$），满足如下条件：[A在$t_0$时刻具有速度v]这一事实被A在$[t_0 - \Delta t, t_0 + \Delta t]$时间段内的全体位置事实所充分奠基。然而，从数学角度讲，想要确定A在t_0时刻的速度，Δt的选取可以是任意的。无论Δt被设定为1毫秒、1分钟、1小时抑或任何其它（非零的）时间长度，我们对A在t_0时刻速度的计算结果都不会有任何差别；用更精确的术语来讲，即邻域（neighborhood）大小的选取不会影响数学极限的取值。由此，一个重要的形而上学难题便浮出水面：决定事物瞬时速度的位置事实究竟应当关涉哪一个时间区间？换言之，Δt的取值究竟应当是多少？看起来，无论怎么选取Δt的值，还原主义者对瞬时速度的形而上学理解都是任意而武断的。

上述难题的症结在于，直觉上讲，瞬时速度还原论应当实现的结果是将物体在t_0时刻的速度还原至其在t_0前后“无限小”的时间范围内的运动轨迹：只要给定物体在t_0前后“无限小”时间范围内的空间位置，我们就可以充分决定其在t_0的瞬时速度。然而，在数学上，“无限小”并不是一个固定的数值；相反，它是通过极限过程来把握的，而该过程并不依赖Δt的具体选取，只要求Δt“趋近于零”即可。但在形而上学层面，奠基关系要求被奠基者由某个确定的、非任意的奠基项所决定。如果Δt的取值可以是任意的——无论取1毫秒、1分钟还是1小时，极限结果都不变——那么，究竟哪一个时间区间内的位置事实才是速度事实的真正奠基项？这便是奠基意义上的任意性难题。

看起来，上述疑难有一个直接的回应策略：允许任何Δt的取值——无论其有多大或多小——都参与到速度事实的奠基之中。这也就意味着，决定物体某一时刻瞬时速度的时空轨迹，最终是这个物体在整个时空中最大且最完整的运动轨迹（而非其最大运动轨迹的某一局部区间）。如此一来，任意性的难题便迎刃而解。

然而，布伊莱斯与泰特尔对上述策略的反驳是强有力的。他们指出，按照这一方案，某一粒子此时此刻的瞬时速度甚至可以被其十亿

年后的空间位置所部分地奠基。[10]但这显然是荒谬的：该粒子此时此刻的瞬时速度怎么可能与其十亿年后的空间位置产生某种本质性的、定义性的形而上学关联？这与我们对瞬时速度的自然直觉大相径庭。因此，瞬时速度还原论似乎面临着一个两难困境：要么承认其理论具有某种无法消除的武断性与任意性，要么允许物体的瞬时速度与许多看似毫不相关的、描述“遥远未来”与“远古过去”的位置事实建立起本质性的形而上学关联。

三、时空实体论与时空关系论

诚然，上述两个疑难各自拥有一些精巧的回应策略，限于篇幅，笔者无法一一详述。然而，学界既有的讨论对这二者采取拆分处理的策略，从未将它们整合在一起加以分析。而接下来，笔者将论证，只要我们采取某种关于时空本质的特定理论，这两大疑难便可以被系统性地同时解决。

在历史上，对时空本质的理解总体上呈现出实体主义与关系主义相对抗的演进脉络。所谓实体主义（substantivalism），主张时空本体具有独立的实在性，其存在并不依赖于任何物质实体。与之相对，关系主义（relationalism）则否认时空本体的独立存在性，主张物质实体及它们之间的关系才是最基础、最根本的。[11]-[13]用一种常见的修辞说法来理解，实体主义认为时空是承载物质的某种“容器”：即便世界上没有任何物质存在，时空作为容器依旧存在。而关系主义则否认时空的“容器”性质，认为在最基础、最根本的意义上，世界上只包含一个又一个物质实体（或物理事件、物理事态），而时空结构只不过是这些实体之间相互关系的某种派生产物。

在当代讨论中，实体主义与关系主义的争论仍旧激烈。按照郭贵春与程瑞的总结，实体主义面临的最大困难来自于广义相对论的“洞问题”（hole argument）。根据洞问题，如果在广义相对论中采取时空实体主义立场，就必须否认广义相对论的充分决定论特征，但这与物理学家对该理论的常规理解相冲突。另一方面，关系主义面临的最大困难则“在于对流形背景和物理学形式化的关系、度规场的地位和空的时空等的理解”。（[11]，p.101）

本文无意考察实体主义与关系主义究竟孰优孰劣，而是旨在论证，瞬时速度还原论所面临的两大疑难仅对实体主义者构成挑战，而关系主义者则能够系统性地对二者作出回应。由于前文已对“奠基”这一概念作出基本介绍，不妨借此概念进一步刻画实体主义与关系主义的核心立场差异，从而精准把握二者在当代前沿讨论中表现出的特征。

按照吉尔·诺斯（Jill North）与泰特尔等学者的理解，当代时空实体主义与关系主义的核心争论并不在于时空究竟是否存在，而在于其存在是否能被物质的存在所奠基（或形而上学地解释）。[14]，[15]在这种术语规定下，实体主义主张时空本体的存在并不被物质的存在所奠基，且时空的几何结构也不被物质之间的相互关系所奠基。相反，关系主义则主张时空本体的存在被物质实体的存在充分奠基，并且，任何有关物体的时空坐标、或者时空区域与时空区域之间几何关系的事实都被物质实体之间的相互关系所奠基。例如，在实体主义者看来，[某一基本粒子A在t时刻占据空间位置s]这一事实是无法被还原的基础事实（fundamental fact），它表述的无非就是A在时空“容器”中占据了某一独特坐标，因此与任何其它物质实体都没有形而上学的关联。相反，在关系主义者看来，上述事实由于涉及对时空坐标的描述，因而无法享有独立的、不可还原的形而上学地位。因此，它只能由众多（很可能无限多）关于物质实体及其相互关系的事实所奠基。

必须承认，关系主义者的理论野心究竟能否实现是一个悬而未决的问题。例如，狭义相对论的背景时空是平直的闵可夫斯基时空（Minkowski spacetime）。然而，我们真的能够单纯通过整合一个狭义相对论系统中的具体物质状态，反推出唯一确定的四维时空结构，并保证该几何结构恰好满足闵可夫斯基时空的数学性质吗？答案并不显然。毫无疑问，如果只

考察该系统中某一具体的粒子，即便我们穷尽它的全部物理属性，仍然无法确立唯一且完整的时空几何。甚至，按照诺斯的观点，即便我们穷尽所有现实存在的物质实体以及它们之间的相互关系，仍可能无法从中反推出唯一且完整的时空几何。因此，想要确定唯一的时空结构，关系主义者或许不仅要穷尽所有现实存在的物质实体之间现实建立的相互关系，还要穷尽所有可能存在的物质实体之间可能建立的相互关系——由此走向一种模态化的时空关系主义（modal relationalism）。（[14]，p.18）

无论关系主义者是否愿意走上模态化的道路，他们的理论都必然包含如下核心承诺：每一个与时空点或时空坐标有关的事实，都被数量极其庞大的一系列事实所奠基。这些事实所表述的皆为物质实体具有的物理属性以及彼此间的相互关系，并且至少穷尽了所有现实存在的物质实体以及它们之间现实建立的相互关系。接下来我们将看到，正是这一特殊的理论要素，为我们提供了解决瞬时速度还原论两大难题的全新资源。

四、时空关系主义与瞬时速度还原论

1. 对任意性难题的回应

我们首先从瞬时速度还原论面临的任意性难题入手。如前所述，我们对瞬时速度的自然直觉表明，某一粒子此刻的瞬时速度似乎不可能与其十亿年后的空间位置产生本质性的、定义性的形而上学关联。毕竟，物体的瞬时速度理应刻画的是某种“瞬时”状态，而无论我们如何理解“瞬时”这一时间概念，它的作用范围似乎都不可能延伸至十亿年之后（或者十亿年之前）。

然而，这种朴素的直觉只能在时空实体主义的框架下得到严肃的保留。假设实体主义为真，那么每一个时空点的存在都是独立而不可还原的。正因此，我们才会认为昨天发生的事仅仅关乎昨天，今天发生的事仅仅关乎今天，而十亿年之后发生的事仅仅关乎十亿年之后。诚然，不同时刻的物理事件彼此之间可以建立因果性的关联，然而，动力性的因果关联绝不是本质性的、定义性的关联。即便太阳的升起在动力因意义上导致地面温度升高，地面温度升高这一事件也无法在形而上学意义上被“还原”为（或“定义”成）太阳的升起。正是受这样一种直觉的驱动，布伊莱斯与泰特尔才会认为，即使某一粒子此刻的速度可以与其十亿年之后的位置产生因果关联，这二者之间也不应当建立任何形而上学的本质关联。因此，他们认为，粒子此刻的瞬时速度应当被“锁定”在此刻这一瞬间，或者被“锁定”在包围此刻的某个说不清、道不明的“无限小”时间区间内，而无论如何都不能被十亿年之后——乃至更遥远未来——的任何物理状态所定义。

与此不同，时空关系主义者彻底否认时空点的独立存在。在他们看来，世界在最根本的意义上仅由众多物理实体及其相互关系所构成，而每一个关于时空点或时空结构的事实，都由这张庞大的关系网络所奠基。在此本体论框架下，任何一个时空点或时空区域都不再是孤立的形而上学对象。我们在直觉上谈论的“昨天”，只是看起来被“锁定”在昨天；但在最本质的意义上，一切关于“昨天”的事实都脱胎于无数物质实体所形成的庞大关系网络。在这张网络中，宇宙中的全部物质实体都被容纳进来——它们不仅包括人类、地球，同样包括那些（在人类视角下）早已灭绝的恐龙，以及那些（在人类视角下）未曾到来的星系毁灭、黑洞蒸发、宇宙热寂。换言之，在关系主义者看来，那些“填充”不同时空区域的物质实体，在本体论意义上反而优先于“被填充”的时空区域本身。我们并不是首先承诺了“昨天”这一时间坐标的有效性，进而才承诺发生在昨天的物理事件的真实性。恰恰相反，我们首先承诺的是全体物理事件的真实性，然后才能对“昨天”“今天”以及“十亿年之后”之类的时间坐标作出合法的界定。

在这种理解下，所有时间、空间以及时空概念——作为派生物——都不再享有任何内在的（intrinsic）独特性质。我们不得不承认，“此时此刻”这一时间坐标确实在本质上与十亿年

之后发生的物理事件（比如某个星系的毁灭）存在着密切联系；不仅如此，它与任何一个时刻发生的任何物理事件都存在着本质的联系。在奠基的意义上，如果不是那些数量庞大的物理事件首先被赋予真实性，那么包含“此时此刻”在内的所有时间坐标的合法性都将无从得到奠基。

正因此，时空关系主义者可以有效回应布伊莱斯与泰特尔对瞬时速度还原论的诘难：我们之所以下意识地认为“瞬时速度”应当被“锁定”在某一极其短暂的“瞬间”，是因为我们未经反思的自然直觉预设了时空实体主义的立场，从而难以把握“瞬间”这一概念所固有的全局性、结构性特征。倘若时空关系主义最终被证明为真，那么，某物此时此刻的瞬时速度本就蕴涵着关于宇宙整体的全局信息。因此，我们可以坦然地允许瞬时速度与看似遥远未来的事态建立起本质关联，从而不必纠结于如何在形而上学意义上划定一个非任意的、“无限小”的时间区间。

2. 对循环解释的回应

接下来，我们考察时空关系主义者应如何处理瞬时速度还原论面临的循环解释难题。前文已经提到，该循环解释在形式上并不构成严格的循环：一方面，事物在t时刻的速度部分地、因果地解释了其在t时刻之后的位置（或者在动力学意义上解释了后者）；另一方面，后者又部分地、形而上学地解释了前者（或者奠基了前者、定义了前者）。由于这两个陈述关涉不同性质的解释关系，我们所面临的至少不是一个严格的悖论。因此，只要我们能够为上述看似反直觉的“循环”提供充分的哲学辩护，瞬时速度还原论在逻辑上便不会存在任何瑕疵。当然，问题的关键恰恰在于，上述反直觉的“循环”究竟凭什么是可接受的？

为了更好地推进本文的后续论证，我们不妨暂且搁置关于时空本质的一切争论，转而考察如下一种关于因果解释（或动力学解释）的强实在论立场。根据蒂姆·莫德林（Tim Maudlin）等物理学哲学家的观点，诸如牛顿第二定律之类的动力学定律所具备的解释效力不仅是客观真实的，甚至承担着极其重要的本体论功能。[16] 在莫德林看来，某一时刻t所发生的物理事件是由t之前的物理事件生成（generate）或制造（produce）出来的；在动力学定律的作用下，后一时刻的物理事件完全凭借前一时刻的物理事件而获得本体论的地位。因此，“明天”的宇宙在本体论意义上由“今天”的宇宙生成，而“今天”的宇宙则在本体论意义上由“昨天”的宇宙生成。

毋庸置疑，如果我们对动力因采取一种类似于莫德林的强实在论、强本体论理解，那么瞬时速度还原论所面临的解释“循环”必定是恶性的。这是因为，如果动力因真的扮演着本体论的生成性角色，那么物体在t时刻之后的位置在本体论上就是由其在t时刻的速度生成、或制造出来的（辅以受力等其他要素）。进而，前者——作为一个在本体论意义上高度依赖后者的事实（或事态）——显然无法在奠基或定义的意义上反过来解释后者。

与此相反，如果我们对因果解释采取某种极端的反实在论立场——例如主张一切因果解释都是出于实用主义考量而人为设定的产物——那么瞬时速度还原论所面临的“循环”显然不是恶性的。倘若因果性只不过是人造产物，那么我们本就不应要求它的解释方向不能与形而上学解释的方向产生冲突。毕竟，在反实在论的框架内，因果解释的唯一诉求仅仅在于满足人类的实用主义考量；而这种主观性质的诉求，显然无须刻意迎合形而上学层面的客观约束。由此看来，瞬时速度还原论所面临的解释“循环”是恶性的，当且仅当因果解释本身被赋予了显著的本体论功能。

本文无意论证因果解释最终应以何种方式被理解，而仅欲指出：至少在时空关系主义的预设下，对因果解释的强本体论理解是可疑的。在莫德林式的强本体论图景中，时间在某种意义上早已被赋予独立的客观地位，就好像不同的时刻在形而上学意义上已被预先给定了一个固定的线性结构以及固定的前进方向，而时空之内的物质实体则在此线性结构中、在动力学定律的支配下，按照时间次序逐一生成。然

而，关系主义者从一开始就会对这种观念通盘驳斥。他们并不承认任何预先给定的时间结构，或者更精确地说，他们对莫德林口中客观独立、不可还原的“时间流逝”（the passage of time）（[16]，p.104）抱以最大程度的怀疑。在关系主义者看来，即便我们能够合法地谈论时间的客观结构，这种结构也不会在形而上学意义上优先于具体物质的实存：我们并非首先承诺某种时间流逝的线性结构，进而才能谈论物质实体（或事件、事态）在时间中的逐一生成；恰恰相反，我们首先承诺的是众多物质本体的实存，然后才能从中抽象出时间的派生性几何结构（无论该几何结构最终是否呈现出线性的特征）。

在此图景下，因果解释——作为一种预设了时间结构的概念——显然无法扮演本体论的生成性角色。在关系主义的本体论中，物质实体的存在优先于任何时间结构，而动力性的因果关系却发生在“时间之内”，从而最多只能是派生性、寄生性的。当然，这并不意味着关系主义者必须对因果解释采取最极端的反实在论立场，而仅仅意味着，因果解释并不能被用来指导我们对本体论秩序的研究。是故，即便因果解释具有一定程度的客观性，我们也只能在一种非基础（non-fundamental）的意义上谈论这种客观性。或许正如休谟所强调的那样，因果解释并不承担任何厚重的本体论意涵，而最多只是对客观规律（regularity）的简单整合与体现。[17] 笔者并不主张关系主义者必须采纳休谟式的因果理论；然而，他们至少不能诉诸莫德林式的强本体论立场。

因此，当关系主义者声称“事物在*t*时刻的速度是其在t时刻之后位置的（部分）动力因”时，他们并不会据此主张：在本体论意义上，事物的速度相对于其后续位置具有某种本体论的优先性。相反，他们只会说，这一因果解释命题最多只能在某种非基础、派生性的意义上被赋予真值；在否认时空结构独立存在的情况下，强本体论性质的因果解释根本没有发挥其作用的理论空间。正是这种对因果的“祛魅化”处理，使得瞬时速度还原论面临的“循环”解释难题得以消解。在本体论的意义上，我们只能说事物的时空轨迹比其瞬时速度更加优先（尽管前者本身也是可还原的）；然而，这并不妨碍后者能够在某种反实在论、或至少是非强本体论的意义上，构成前者的动力因。

总　结

时空实体主义与时空关系主义的争论绝不仅仅是本体论立场或形而上学偏好的选择，其背后牵涉到我们对物理理论解释力、因果结构客观性以及世界基本构成方式的深层分歧。本文表明，正是这些看似抽象的基底差异，直接决定了诸如瞬时速度等基础物理概念能否获得融贯的形而上学刻画。诚然，时空关系主义本身面临着诸多其他难题，或许这些难题最终会证明该立场无法得到辩护。然而，本文的论证至少为时空关系主义带来了一个积极的信号：至少对于那些愿意拥抱瞬时速度还原论的人而言，时空关系主义是他们唯一的选择。

［参 考 文 献］

[1] Russell, B. *Principles of Mathematics (2nd ed.)*[M]. London: G. Allen & Unwin, 1937.

[2] Easwaran, K. 'Why Physics Uses Second Derivatives'[J]. *British Journal for the Philosophy of Science*, 2014, 65(4): 845–862.

[3] Builes, D. 'Derivatives and Consciousness'[J]. *Journal of Consciousness Studies*, 2020, 27 (9–10): 87–103.

[4] Arntzenius, F. 'Are There Really Instantaneous Velocities?'[J]. *The Monist*, 2000, 83(2): 187–208.

[5] Lange, M. 'How Can Instantaneous Velocity Fulfill Its Causal Role?'[J]. *Philosophical Review*, 2005, 114(4): 433–468.

[6] Tooley, M. 'In Defense of the Existence of States of Motion'[J]. *Philosophical Topics*, 1988, 16: 225–254.

[7] Bigelow, J., Pargetter, R. *Science and Necessity*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

[8] Rosen, G. 'Metaphysical Dependence: Grounding and Reduction'[A], Hale, B., Hoffmann, A. (Eds.) *Modality: Metaphysics, Logic, and Epistemology*[C], New York: Oxford University Press, 2010, 109–135.

[9] 梅剑华. 奠基物理主义[J]. 学术月刊, 2017, 49（2）：

54–63.

[10]Builes, D., Teitel, T. 'A Puzzle about Rates of Change'[J]. *Philosophical Studies*, 2020, 177(10): 3155–3169.

[11]郭贵春、程瑞. 时空实在论与当代科学实在论[J]. 哲学研究, 2008,(1): 100–107; 128.

[12]程瑞、郭贵春. 当代时空实在论研究现状及其述评[J]. 哲学动态, 2011,(4): 97–103.

[13]程瑞. 当代时空实在论思想探源[J]. 科学技术哲学研究, 2012, 29(5): 1–7.

[14]North, J. 'A New Approach to the Relational-substantival Debate'[A], Bennett, K., Zimmerman, D. (Eds.) *Oxford Studies in Metaphysics Volume 11*[C], Oxford: Oxford University Press, 2018, 3–43.

[15]Teitel, T. 'How to Be a Spacetime Substantivalist'[J]. *Journal of Philosophy*, 2022, 119 (5): 233–278.

[16]Maudlin, T. *The Metaphysics Within Physics*[M]. New York: Oxford University Press, 2007.

[17]Hume, D. *A Treatise of Human Nature*[M]. Selby-Bigge, L. A., Nidditch, P. H. (Eds.) Oxford: Clarendon Press, 1978.

[责任编辑 王巍 谭笑]

·文章勘误·

从家族传承到个人成就：艾琳·约里奥–居里的科学故事

作者：程鹏、崔鹤、张志会

原文刊发于《自然辩证法通讯》2026, 48(8): 118–126

本刊近期发表的文章“从家族传承到个人成就：艾琳·约里奥–居里的科学故事”出现部分差错，特此勘误如下：

一、日期与年份

1. 第119页：学历取得年份调整为“1920年获巴黎索邦大学理学院物理学和数学双学士学位”。

2. 第121页：1932年《自然》论文日期由“6月25日”改为“7月9日”；1934年《自然》论文日期由“1月19日”改为“2月10日”。

3. 第121页：相关表述改为“哈恩与斯特拉斯曼的相关化学研究成果于1939年1月6日发表于《自然科学》。哈恩因核裂变的发现获得1944年诺贝尔化学奖。”

二、史实与表述

4. 第119页：婚礼部分的叙述删除“秘密”，改为“二人婚礼于1926年10月在巴黎举行”。

5. 第120页：删除将“中子”术语归于卢瑟福的说法，改为“查德威克在发表于《自然》的论文中报告了中子可能存在的实验证据”，保留文献[6]。

6. 第121页：删除“从镁中产生硅”；“Fritz Strassman”改为“Fritz Strassmann”。

7. 第122页：删除“1932年卢瑟福在法国的演讲”及相关直接引语，改述卢瑟福于1920年贝克讲演中提出电中性粒子设想；“1946年成为居里研究所所长”改为“1946年出任巴黎镭研究所居里实验室主任”。

8. 第124–125页及图3：发信人由“蓝皮特”改为“佩恩斯”；正文说明：蓝皮特为报销表格接收人；图注改为“图3 佩恩斯于1953年8月10日致艾琳的信”。

三、参考文献与档案著录

9. 第125–126页：文献[2]书名*Nobel Women in Science*改为*Nobel Prize Women in Science*；文献[9]期号由130 (3273): 57改为130 (3271): 57；“Pflaum, M.”改为“Pflaum, R.”。