

# “还原”与“演生” ——相辅相成的两种物理学范式

陈征<sup>1,†</sup> 魏红祥<sup>2</sup> 张玉峰<sup>3</sup>

(1 北京交通大学理学院 北京 100044)

(2 中国科学院物理研究所 北京 100190)

(3 北京教育科学研究院 北京 100036)

2021-02-25 收到

† email: chenzheng@bjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20210310

基础物理教育以经典物理为主，其主要内容与当代物理学前沿距离甚远，导致在多数人心中，还原论范式被等价于物理学基本且唯一的范式。但大量实验证明，不同尺度和层次上确实存在一些新性质和新规律，以演生论的范式探索新规律是今天物理学前沿探索的重要方向，对更深入地理解世界有重大意义。因此了解还原论和演生论两种范式的共通之处与差异所在，在讨论物理问题时采用合适的范式，将为学习物理、研究物理奠定良好的基础。

## 1 引言

近年来，由于媒体和公众对超导、芯片等话题的关注，“凝聚态物理”这个现代物理学的重要分支广为人们所知。可是许多人在深入了解和学习的过程中却发现，有许多概念让人难以理解，例如声子，在标准模型中找不到它，它到底是什么？它是由什么基本粒子组成？实在让人费解。

之所以有这种疑问，重要原因是思维方式仍停留在经典物理的“还原论”(reductionism)架构下。但现代物理的许多问题，凝聚态物理中的各种“元激发”，相变问题中的“对称性自发破缺”等等，许多物理理论已经跳出了还原论范式<sup>1)</sup>，而采用被称为“演生论”(emergence)的新范式。仍用还原论观点去看基于演生论形成的概念和理论，张冠李戴导致误解或觉得难以理解也就不令人奇怪了。

## 2 还原论范式

多数人从中学到大学所学习的物理，其体系背后潜藏着这样一个基本的观念：我们处处的这个世界中，千奇百怪的事物归根结底都是由一些“基本单元”组成的，这些基本单元在一组“基本规律”的约束下，构成了各种纷繁复杂的自然现象。只要追本溯源，找到组成世界的基本单元和约束它们的基本规律，便可以通过严谨的逻辑推演和精密的数学计算，建立起一套精准、完备地描述世界运行规律的体系，达到包罗万象的“万物理论”(theory of everything)。简单说就是“先把复杂还原为简单，再从简单重建复杂”<sup>[1]</sup>，这便是所谓“还原论”的基本范式。

还原论是物理学建立和发展过程中的主流范式，也取得了辉煌的成就。我们把宏观物体看成分子、原子组成的聚集体，它们的性质和

行为可以用原子、分子的性质、运动和聚集的方式等去诠释。这便是一次成功的“还原”过程，在此基础上，经典物理学的许多问题得到了简洁的图像和优美的理论。从《费曼物理学讲义》中那句著名的“matter is made of atoms”以及相关论述<sup>[2]</sup>，可以一窥这“还原—构建”的精彩和成功。

再把原子分解为质子、中子和电子，质子和中子进一步分解为夸克，人们在还原层次不断加深中寻找最基本的物质组成单元和最基本的相互作用机制。今天多数学过些物理的人们脑海中的世界图景，大约如图1所示那样，世间万物皆源于夸克、轻子和规范玻色子这三大类“基本粒子”。自然界中的四种基本相互作用：引力、电磁力、强力、弱力，除引力之外的其他三种在这个“标准模型”中得到统一。“标准模型”是目前物理学在还原论范式下的巅峰之作，大家近乎本能

1) 范式(paradigm): 指一种公认的模式或模式。范的古体字写为“範”，本意是古代遇大事出车，先辗过祭坛和祭祀的一种祭祀活动，祭祀路神。车轮留下凹陷的辙痕，假借成铸造的凹模，再进一步引申成为规范、法则。《尔雅》有：範，法也；範，常也。

地认为,我们完全可以从基本粒子的质量、电荷、自旋、寿命等性质出发,结合粒子间的基本相互作用规律,层层递进地精确了解宏观物体的性质和行为。计算物理中的“第一性原理”便是沿着这个思路,“第一”二字将还原论的思想体现的淋漓尽致。虽然这个模型中的基本粒子达到61种之多,算不上十分简洁,但看起来只要再努把力,解决了引力统一的问题,物理学所追求的“大统一”的万物理论便实现可期。

### 3 演生论范式

然而大自然看起来并不打算轻易地让人类揭开它的面纱。在研究中发现,基于还原论建立起的物理体系在面对少量粒子组成的对象时,理论和实验符合得相当好,但随着粒子数的增加,数值计算的难度指数增长。宏观物体往往含有巨量的粒子,一滴水(约1/20 ml)中水分子个数就达到 $10^{21}$ 的量级,遑论更大更复杂的体系。

目前的算力还不足以支持从基本粒子到宏观物体的计算,于是有人将希望寄托在未来的量子计算的发展之上。确实,量子计算的发展对分子设计等问题有可预期的帮助,但问题不仅仅是算力限制。

1972年,美国凝聚态物理学家安德森(P. W. Anderson)在《科学》上发表的“More is different”一文指出:“将世间万物还原成基本单元和基本规律,并不意味着从这些规律出发能够重建整个宇宙”……“大量基本粒子构成的巨大复杂聚集体的行为并不能依据少数粒子的性质做简单的外推得到,在每一个复杂性的发展层次之中都会呈现出全新的物理概念、物理定律和物理原

理,要理解这些新行为所需要做的研究,其基础性与其他研究相比毫不逊色”<sup>[3]</sup>。

也就是在复杂度提升的过程中,那些基本粒子在不同的尺度、能量下聚集的各个层次,都将产生新的物理规律,这些规律不是基本单元的

性质和规律的排列组合或延展派生,而是全新的、同样基本的物理规律。这些规律看起来好像是在粒子聚集的过程中通过相互影响“无中生有”的,因而借用生物学中emergence的“演生”含义,称为“演生论”。

让我们来观察一片雪花。范仲淹《依韵和提刑太博嘉雪》诗云:“昨宵天意骤回复,繁阴一布飘寒英。裁成片片尽六出,化工造物何其精。”雪花“六出”的冰晶结构大家都很清楚,可你有没有想过,在水滴成冰的过程中,是什么让数以万亿计的水分子从各向均分状态产生了高度有序的排列,对称性明显降低而产生自发的“对称性破缺”?

在还原论范式下,还是那些水分子,它们遵循的基本规律也没变,为何降温过程中体系的状态和性质却发生突变——结冰呢?合理的推断是还有别的规律起作用,这个规律是大量粒子在组成体系时“演生”出来的。威尔逊(K. G. Wilson)正是因为临界现象的重正化群理论对相关相变规律的贡献获得了1982年诺贝尔物理学奖。从最常见的水结冰以及各种物质结晶等第一

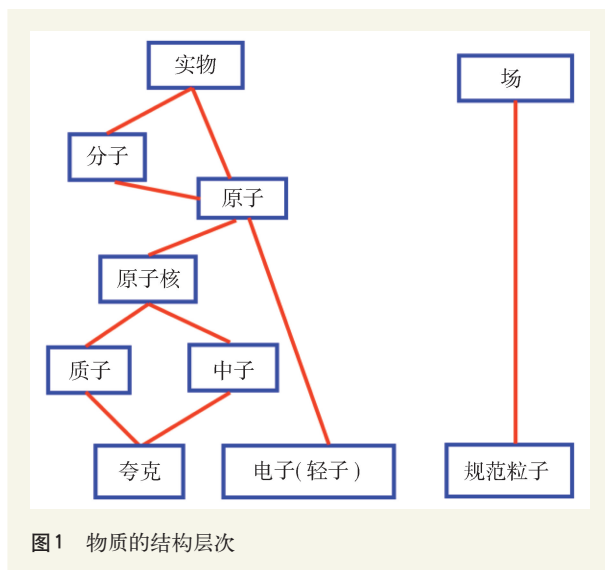


图1 物质的结构层次

类相变,到前沿的超导、超流等第二类相变,相变和临界问题是凝聚态物理重要的研究方向,也是演生论的重要佐证。

凝聚态理论中的声子、等离子激元、自旋波、激子、极化子等元激发在还原论的范式中很难找到它们的位置,但在演生论的范式下,它是大量粒子集体激发行为中“演生”出的一种“准粒子”,它们显现出普适的、完美的、简洁的物理规律,这些规律和实验符合得也很好。“支配集体激发的物理定律的简洁与完美不是来自于原子之间相互作用的简洁性,而是来自于这些物理定律必须保证集体激发要在低能极限下演生出来”<sup>[4]</sup>。了解了演生论的范式之后,导言中提到的有关声子概念的疑惑迎刃而解。

### 4 还原论与演生论相辅相成

物理学遵循的原则是理性主义加实用主义,所追求的是建立简洁、完备、精确的理论来描述自然规律。评判物理理论好坏的唯一标准是与实验是否相符合。因此不管还原论还是演生论并无孰优孰劣的问题,还原论是top-down的方式

而演生论是 bottom—up 的方式，它们只是两种不同的研究范式。经典物理的各个分支、原子分子物理、核物理、粒子物理以及相对论等多采用还原论的范式，而凝聚态物理、热力学与统计物理多采用演生论的范式。两种范式在不同的问题上各有优点、相辅相成。在讨论物理问题时，只有选择合适的范式才能对问题有正确的理解。

## 5 对物理教育的建议

如前所述，大量实验证明，不同尺度和层次上确实存在还原论范式下基本粒子和基本相互作用之外

的新规律，这些规律也正是今天物理学前沿的重要探索方向，对我们理解世界有重大意义。然而除了少数物理专业学生之外，多数人从中学到大学接触的物理教育均以经典物理为主，涉及的内容与今天的物理学前沿距离甚远，导致在多数人心中还原论范式被等价于物理学基本且唯一的范式，使其在后续接受现代物理前沿内容时产生一些障碍。

虽然演生论涉及的物理问题多较为前沿，但如相变等现象在生活中十分常见。基础物理教学过程中，如能学习经典物理，传授必要的物理知识，培养基本物理思想和

方法的同时，告诉学生我们遵循的还原论范式之外，还有演生论范式的存在并做基本的介绍，使之保持开放的心态，避免形成排他的认知体系，这将为更多人更深入地了解物理提供有利的条件。

## 参考文献

- [1] 张广铭. 物理, 2010, 39(8): 543
- [2] 费曼. 费曼物理学讲义. 上海: 上海科学技术出版社, 2013
- [3] Anderson P W. Science, 1972, 177: 393
- [4] 文小刚. 量子多体理论——从声子的起源到光子和电子的起源. 北京: 高等教育出版社, 2004

### Single Bellows Manipulation



### Omniax Manipulator



### Dual Bellow Manipulators



### Z-Axis Manipulators



## VACGEN 位移台

一站式真空低温设备  
及应用方案

合作厂商:



电话 0551-63637062 网址 [www.zlvacuum.com](http://www.zlvacuum.com)  
手机 15375344777 邮箱 [liuxin@zlvacuum.com](mailto:liuxin@zlvacuum.com)  
合肥办公室 合肥市经开区东湖高新合肥创新中心13-2栋403  
上海办公室 上海市浦东新区华佗路68号张江源北区11号楼105



联系人 刘鑫

《《 想了解更多  
产品可咨询