

物理学的现象学^{*}

廖 玮

(华东理工大学物理学院 200237)

在物理学中有所谓还原论(reductionism)和演生论(emergence)的争论。还原论观点认为,物理问题可以简化成关于物质的基本组成以及基本组成的相互作用的问题,复杂的事物和现象可以最终由简单的基本组成和基本相互作用来解释。还原论是一种以少量原理理解万事万物的思路,被很多人认为是物理学的传统思路。这种思路体现在物理学的许多方面,例如把物质还原为原子分子、把原子还原为原子核和电子、把原子核还原为质子和中子、把质子中子还原为夸克。粒子物理标准模型的建立最终统一了电磁力和弱力,并且使人们认识到电磁力、弱力和强力都是同一种类型的力,即规范相互作用。粒子物理标准模型一般被认作是还原论思路的成功典范。

演生论观点认为,宏观尺度的问题十分复杂,大量原子分子的复杂行为并不总是可以还原论式的由单独原子分子的性质而简单地推导出来。相反地,演生论认为^①:在每一个复杂性的层次之中都需要全新的物理定律、全新的物理概念和全新的普遍化,就其所需的创造性而言,与其他研究相比毫不逊色。著名凝聚态物理学家、诺贝尔物理学奖获得者安德森(P. W. Anderson)在1972年的论述《More is different》被认作是演生论的宣言^①。当代凝聚态物理的基石,朗道(L. D. Landau)的费米液体理论和威尔逊(K. G. Wilson)关于相变的重整化群理论,被认为是演生论思路的成功典范。朗道的费米液体理论认为,可以把具有复杂的相互作用的多

粒子费米系统视为一种自由的多粒子费米系统,这种多粒子费米系统由自由的“准粒子”构成,而且这种“准粒子”只能在多体系统中“存在”,不能单独“存在”。朗道的费米液体理论描述了几乎所有已知金属的低温物理性质,获得了惊人的成功。朗道的费米液体理论中的这种“准粒子”就是安德森所说的在复杂多体系统中出现的全新的物理概念。比起作为物质基本组成的原子分子电子,“准粒子”这样不算基本的概念更加适合于描述多体系统的现象。现代凝聚态物理中有大量这类演生概念和基于这类演生概念的物理规律,例如相变和临界现象的物理^②、描述量子霍尔效应的拓扑规范场论等。

许多人认为物理学中的演生论思想起于20世纪50~60年代,是随着凝聚态物理的发展而来的。例如,著名凝聚态物理学家、诺贝尔物理学奖获得者莱格特(A. J. Leggett)认为朗道费米液体理论的发明标志着凝聚态物理研究的范式转换。他回忆说^③:朗道开创性工作的重要性在于,他没有像大多数前人那样提问,我们如何从微观的哈密顿量计算宏观凝聚态系统的性质,他提出了一个不同的问题:“我们如何将宏观系统的不同物理性质联系起来?”其后,关于相变的重整化群理论的成功以及普适性和破缺对称性思想的发展进一步展现了演生论思路的威力。著名理论物理学家卡达诺夫(Leo Kadanoff)对这一发展有一个评论^③:物理学的实践已经由求解问题改变为寻求问题之间的关系。

^{*} 编者按:廖玮教授的新书《科学思维的价值》以伽利略、牛顿等人的主要科学发现为例,阐述了科学思维的要点、科学思维的乐趣和魅力,并以此说明科学对于我们每个人的价值。作者从该书中摘取了一小节为本刊整理成文。希望本文能激发读者进一步阅读的兴趣和对于科学思维更深入的思考。

1. 现象运作的模式与现象背后的原因

然而,如果仔细考察物理学的历史,我们可以发现演生论的思路实质上是现象学的思路。这种现象学的思路并不是新生的思路,而是早已存在于物理学的血脉之中的思路,可以说是自诞生之日起物理学就具有的最典型的研究思路,也是广泛存在于物理学众多分支和历史中的思路。对比伽利略、开普勒和牛顿的贡献,我们可以很清楚地发现伽利略和开普勒的发现可以说是发现“现象运作的模式”,而牛顿建立力学的综合体系以及发现万有引力可以说是发现“现象背后的原因”,而这两者是现象学思路的两个方面。演生论所讨论的研究思路实际上就是发现“现象运作的模式”的思路,是现象学思路的一个方面。

牛顿的综合力学体系和引力的平方反比律把从天上到地上的许多运动现象都归结为少数几条原理。特别是质量概念的引入使人们可以对比不同物体在不同力的作用下的不同运动,使它们被联系在一起,并且被归结于相同的运动学原理。在这个意义上,牛顿的综合确实是找到了“事物背后的原因”。世人把牛顿力学当作科学的典范,正是因为牛顿力学成功展现了这样一种把许多现象归结于少数原理的可能。牛顿的综合可以说成是通过原因建立起现象与现象之间的关联,即

现象 $\Leftarrow \Rightarrow$ 现象背后的原因 $\Leftarrow \Rightarrow$ 现象

在这个意义上,我们也可以说牛顿的力学体系是还原论的一个最初成功典范。

与牛顿形成对比的是,伽利略和开普勒的主要贡献是在现象的层面揭示现象的运作模式。他们做的是通过现象与现象的关联揭示现象运作的模式,又通过现象运作的模式建立更多的现象与现象之间的关联。开普勒发现的行星运行的三大定律很明显是行星运行的模式,开普勒只是从观测数据中揭示了这个模式。当然揭示这个模式需要很多的思考和想象,但是这些规律并不是行星运动的

“背后的原因”。开普勒确实想要把行星轨道归因于他的几何模型,但是没有获得成功^④。

在《关于两门新科学的对谈》一书第一天的对话中,伽利略通过比较不同物体在水银、水和空气等不同媒质中的运动重建起对运动的直觉,再得出结论任何物体在真空中的下落都是一样的。伽利略注意到具有不同比重的物体在不同媒质中表现出不同的运动,他借萨尔维亚蒂之口总结相关的实验和观察并做出了猜想^⑤:

萨尔维亚蒂:……我们已经看到,不同比重的物体之间的速率差,在那些阻滞性最强的媒质中最为显著;例如,在水银这种媒质中,金不仅比铅更快地沉到底下,而且还是能够下沉的唯一物质,所有别的金属,以及石头,都将上升而浮在表面。另一方面,在空气中,金球、铅球、铜球、石球以及其他重材料所做之球的速率之差都是那样的小,以致在一次100腕尺的下落中,一个金球不会超前于一个铜球到4指的距离。既已观察到这一点,我就得到结论说,在一种完全没有阻力的媒质中,各物质将以相同速率下落……

伽利略认为在自然界中不存在真空,所以实际上无法做实验观测和检验在真空中的运动。但是,他认为物体在真空中的运动可以通过思考和比较物体在不同媒质中的运动而推理出来。其理由是,在密度较大的媒质中(例如水银、水)不同物体表现出不同的运动,而在稀薄的空气具有不同比重的金球、铅球、木球等表现出几乎相同的下落。因此可以判断,密度较大的媒质对物体运动的影响较大,而稀薄的空气对物体运动的影响较小,在真空中没有媒质的阻碍,物体在真空中的运动应该更加接近于金球、铅球、木球等在空气中运动的情况。根据这个推理,在真空中羊毛和铅块将以相同的速度下落,虽然人们在空气中看到的情况是羊毛很缓慢地下落。这是以外推的方法思考这个问题,是典型的以实验和观测矫正对物理问题的直觉,再以直觉推论到真空中的情况。如果仅仅考虑在空气中物体的运动,人们实际上无法或很难建立起对运动

问题的正确直觉,而通过实验观察和比较不同物体在不同媒质中的运动之后,人们就有机会重建对运动问题的直觉,发现运动的规律。

我们看到伽利略对自由落体运动的研究就是通过现象与现象之间的关联发现运动的模式。伽利略还建立起沿斜坡上的运动与垂直自由落体运动之间的关联,通过研究沿斜坡的运动来研究重力导致的运动,进而研究抛射体的运动。这些对物体运动问题的研究,最终形成了一个整体图像,关联到更多现象,变成了对日心说和地动说的支持。这种模式可以简单表述为

现象 $\longleftrightarrow$ 现象运作的模式 $\longleftrightarrow$ 现象

伽利略还揭示了地球表面的重力导致的运动是匀加速运动。他不满足于实验观测的结果,即运动距离正比于时间的平方,而是通过复杂的推理和想象,最终把这种运动归结于重力产生匀加速运动。这是把经验规律抽象化为一个具有更普遍意义的抽象规律^④。但是这个规律距离经验规律并不遥远,可以说仍然是描述性的,是描述运动现象的本来面目的规律。伽利略所做的是通过实验以及复杂的推理和想象揭示日常所见的现象的本来面目,并且找到合适的语言描述现象。在《关于两门新科学的对话》一书第三天对话中,伽利略表达了这种看法。他说^⑤:

……在这一信念中,我们主要是得到了一种想法的支持,那就是,我们看到实验结果和我们一个接一个地证明了的这些性质相符合和确切地对应。最后,在自然地加速的运动的探索中,我们就仿佛被亲手领着那样去追随大自然本身的习惯和方式,按照它的各种其他过程来只应用那些最平常、最简单和最容易的手段。

2. 现象与现象的关联

应该注意到的是,伽利略和开普勒的成就是牛顿能够获得成功的基础。正是因为前人对运动现象的本来面目的揭示以及合适的语言的发明才使牛顿的综合力学体系成为可能。所以,发现“现象

运作的模式”是发现“现象背后的原因”的基础。物理学在更加深广的意义上是研究“现象与现象的关联”。这个词包含了两层意思,即研究现象层面的“现象运作的模式”以及超越现象层面的“现象背后的原因”。这个词既表明了物理学研究的目标,即发现“现象背后的原因”,也表明了发现的途径,即发现“现象运作的模式”。

这一要点非常鲜明地反映了物理学思维的特色以及物理学反形而上学的实质^④。例如,量子场论的重整化理论非常鲜明地反映了这一思维特色。重整化理论的要点是重新定义量子场论理论中的参数,消除理论中对无法测量的“裸量”的依赖,建立关于可观测的物理量和物理量之间的关系,最终以对一部分物理量的测量预言另外一些物理量。虽然这个理论有所谓无穷大发散的问题,在数学上难以被人理解,但是其在可观测的物理量层次上的关联却是有限的、可以明确计算的。这个理论具有非常强大的预言能力,实验证实了重整化理论的许多预言,这一理论取得了难以想象的辉煌成功。

量子电动力学的建立者之一、诺贝尔物理学奖获得者施温格(J. Schwinger)回忆自己在二战期间研究波导问题和后来发明重整化理论之间的联系时说^⑥:“在战争期间,我还研究了微波和波导的电磁问题。我也从物理学家的方法开始,包括使用散射矩阵。但早在这三年结束之前,我就开始用工程师的语言说话了。我想,对我和朝永振一郎来说,这些年的分心并非没有有益的教训。波导研究显示了重组理论来分离那些在给定的实验条件下无法探测的内部结构的成效。这个教训不久就被应用于核力的有效范围的描述之中,也正是这个观点导致了量子电动力学的自洽减除或重整化的观念。”

施温格和量子电动力学的另一位建立者朝永振一郎(S. Tomonaga)都在二战期间从事过微波和波导的研究。他们都发现,对于波导问题而言麦克斯韦方程包含了过多的信息,直接使用麦克斯韦方程到波导问题之中使该问题变得十分复杂而难以解决,因为实验只关心少量的宏观信息,实际上可

以在此问题中使用与观测量直接联系的、更加唯象的语言简化问题。这实际上是类似于引文中施温格提及的散射矩阵的思路,即放弃从基本相互作用开始的想法,而直接在可观测的物理量的层次上建立关联。这些研究经验最终启发施温格在量子电动力学的重整化理论上做出了重要贡献。当然散射矩阵理论在这条道路上走得更远,而量子电动力学或者量子场论的重整化理论没有像散射矩阵理论那样把这种思想推向极端。

我们可以看到,这样一种在现象的层面研究现象与现象的关联的思路在物理学中不仅具有悠久的历史,而且在卡达诺夫所说的由凝聚态物理导致的转变发生之前仍然具有巨大的影响,散射矩阵理论和重整化理论都反映了这种思路的影响。实际上,这种影响深植于物理学发展的土壤之中,这体现在科学发现的主要路径实际上是先发现“现象运作的模式”再进而发现“现象背后的原因”。

3. 现象学:从现象运作的模式到现象背后的原因

需要注意的是,发现“现象运作的模式”和发现“现象背后的原因”这两个层次上的区别并不是可有可无的语言游戏。物理学历史上有许多例子说明这两者的区别,这些例子同时也说明了发现的主要路径是先发现“现象运作的模式”,再发现“现象背后的原因”,这是许多科学发现所经过的路径,这也就是本文强调的现象学的思路。

一个典型的例子是热力学与统计力学的对比。热力学使用热、温度、压强、体积、做功、能量、平衡态等概念描述系统的热学以及力学行为。虽然热力学是以抽象的方式以及数学化的方式讨论问题,但是热力学使用的概念是停留在现象层面的,是对现象的直接抽象。热力学的内容是对宏观现象抽象研究的结果,完全不依赖于物质的组成是什么。热力学的内容是典型的揭示“现象运作的模式”。统计力学是以大量看不见的原子分子的运动和关于微观世界的原理来解释宏观系统的热学性

质和力学性质,是典型的以“现象背后的原因”来解释现象。例如,理想气体状态方程是典型的对气体的现象的运作模式的表述,而克劳修斯基于原子分子假说对理想气体状态方程的解释是寻求现象背后的原因来解释这一运作模式,并以此为证据支持原子分子假说。热力学和统计力学遵循的是不同的思路,热力学和统计力学发展的历史很清楚地告诉我们,发现“现象运作的模式”的热力学是发现“现象背后的原因”的统计力学的基础。

粒子物理与核物理研究的是物质的基本组成和基本的力,粗看起来粒子物理与核物理是典型的研究“现象背后的原因”。这是一种非常典型的误解,这种误解把目标与手段和路径混为一谈。实际上,在粒子物理与核物理的研究中有非常多的纯粹基于现象的研究,这些研究揭示基本粒子的构成和相互作用的模式。在被揭示的模式的基础之上,人们进一步提出更加基本的原理,从而构建关于基本粒子的理论。一个非常好的例子是同位旋对称性。

20世纪初,人们认识到原子由原子核与核外电子组成,而原子核由质子(p)和中子(n)两种核子组成。实验发现质子和中子的质量差非常小,例如现代的测量表明中子质量(m_n)与质子质量(m_p)之比是

$$m_n/m_p \approx 1.001378。$$

中子和质子都是强相互作用粒子,而这两者的质量又相差这么小。海森堡意识到,在强相互作用中实际上很难分辨出质子和中子的区别,虽然质子带电而中子不带电。换句话说,在强相互作用的现象中,质子和中子就像是长得很像的双胞胎,人们很难区分。具体一些说,如果在强相互作用中交换质子和中子,除了因为电荷导致的效应外,应该看不出区别。如果把一个物理过程中的中子代换成质子、质子代换成中子,即

$$p \longleftrightarrow n,$$

则通过代换得到的新物理过程与老物理过程具有几乎相同的散射截面等物理性质。用专业语言说,在强相互作用中交换质子和中子是对称的,这种对称性被称作同位旋对称性。更进一步,质子和中子

这样的核子是通过 π 介子发生强相互作用,如果同位旋对称性是对的,在 π 介子那里也应该有类似的对称性质。 π 介子有三种,分别带有正电荷、负电荷和零电荷,即 π^+ 、 π^- 和 π^0 。实验发现这三种 π 介子的质量非常也接近,例如现代的测量表明带电 π 介子的质量($m_{\pi^\pm}$)与不带电的 π 介子的质量(m_{π^0})之比是

$$m_{\pi^\pm}/m_{\pi^0} \approx 1.03403。$$

这说明,在强相互作用中 π 介子也是很难分辨的三胞胎。海森堡认识到,应该在强相互作用中把质子和中子当作“一个东西”(N)的两个分量来看待,就如同平面上的一个矢量有两个分量,即表示成

$$N = \begin{pmatrix} p \\ n \end{pmatrix}。$$

这被称作是同位旋的二重态,即质子和中子是N的两个分量,而三个 π 介子应该被类似地写在一起,成为同位旋的三重态。海森堡的建议是一个思想的飞跃,他实际上建议了当人们写出质子和中子的强相互作用理论的时候应该遵守一个规则,即使用同位旋二重态N。同位旋对称性在粒子物理与核物理的发展中曾经起到非常重要的作用。直到今天,这一对称性仍然是核物理和强子物理研究的基本概念和基本研究手段之一。

我们可以看到,海森堡的同位旋是典型的现象学研究的结果。他提出的规则基于现象,是对现象的抽象。这个规则并不是“现象背后的原因”,而仅仅是对“现象运作的模式”的一个抽象表达。杨振宁对同位旋对称性的成功印象深刻,他试图找到能够理解强相互作用的原理,他把电磁相互作用中的规范对称性推广到同位旋,在20世纪50年代提出了基于同位旋对称性的非阿贝尔规范理论,即杨-米尔斯理论。这个理论虽然用错了地方,没有立即获得成功,但是在后来的发展中,人们认识到粒子物理的大厦可以建筑在杨-米尔斯规范理论的原理之上,杨-米尔斯理论成为物理学的一个基本原理。

我们可以看到的另一个典型例子是,盖尔曼(M. Gell-Mann)和奈曼(Y. Ne'eman)基于对强子的质量和量子数的实验结果分别提出了对强子分类

的方法。盖尔曼将其称为八重法,即由八个强子组成具有近似特性的一个八重态,形成八胞胎。这是一个类似于同位旋的对称性,但是是一个更大的对称性。盖尔曼用这个对称性预言了一个新的粒子,并且被实验所证实。盖尔曼也因为对强子分类的贡献而获得了1969年度的诺贝尔物理学奖。八重法使用的是这个对称性的八重态,从数学上可以很清楚地看到这个对称性还可以有三重态。在八重法的成功的基础之上,也因为受到其他人的启发,盖尔曼与他的学生茨威格(G. Zweig)分别提出了现在所说的夸克模型,即由上夸克、下夸克和奇异夸克组成当时已知的强子,这三个夸克形成了这个对称性的三重态(注:当时有一些中国物理学家认为强子应该由更小的基本粒子组成,提出了层子模型)。我们可以看到,从强子分类到夸克模型也是一个典型的由发现“现象运作的模式”到发现“现象背后的原因”的过程。此外,强子物理中在现象层次描述现象的重要语言还有比约肯(J. Bjorken)提出的比约肯标度性、费曼(R. Feynman)提出的部分子模型。这些对现象的研究打开了对强子内部结构的认识,基于杨-米尔斯规范理论的量子色动力学才能得以建立。

需要注意的一点是,寻找“现象运作的模式”并不是不创造概念。实际上,人们常常不得不创造全新的、合适的概念来描述现象,例如伽利略引入加速度的概念、海森堡引入同位旋的概念。但是这些概念表达的并不是“现象背后的原因”,而只是现象层面的规律,是对现象的直接抽象。这种概念甚至不一定具有必然性,例如同位旋的概念。粒子物理标准模型认为同位旋对称性起源于上夸克和下夸克的质量很小,实际上与基本相互作用无关。从基本相互作用的观点看来同位旋是一个偶然的对称性,如果上夸克和下夸克的质量比较大,就不会有这种对称性。但是这种偶然的对称性却在历史上发挥了重要的作用,甚至在今天仍然是核物理和强子物理研究中的基本概念之一。这是因为强子的性质十分复杂,从基本原理出发直接理解强子的性

质实质上非常困难,而使用同位旋这样的现象学语言却可以得到很多很有价值的信息。这是同位旋、部分子这类现象学概念之所以被广泛使用的根本原因。在这个意义上,前文谈及的所谓还原论与演生论的争议没有多大意义。我们看到,使用同位旋的语言实际上就是类似于以演生论的方式研究问题,即以演生的语言而不是从基本原理出发研究问题。研究现象与现象的关联需要人们去创造合适的概念描述现象,实际上已经包含了可以用演生的语言描述现象。粒子物理与核物理虽然很想以还原论的方式从最基本层次建造起物理学大厦,但是在实际中同样需要很多这类演生的概念。演生论接近于以现象层面的“现象运作的模式”来描述现象和理解现象,而还原论接近于以“现象背后的原因”来理解现象,这两种研究思路都是科学研究需要的思路,都是研究现象与现象的关联的一个方面。当然不可否认的是,在物理学中还有完全放弃以“现象背后的原因”解释现象的思路,例如前文提及的海森堡的量子散射理论。量子散射理论试图完全抛弃量子力学的波函数等隐藏于现象背后的语言和相关理论,完全在现象的层面直接建立物理可观测量之间的关联。这是一种完全以“现象运作的模式”来理解自然现象的努力,到目前为止这种理论获得了一些很有益的结果,但是距离成功还有很大距离。

如果不局限在物理学的历史,我们可以很清楚地更广大的范围内看到这种两种思路的重要作用及其相互关系。例如,门捷列夫发现了元素的周期性排列性质,制作了元素周期表。几十年之后,原子核、质子和中子等的发现以及原子理论的发明才使人们认识到元素的周期性源于质子和中子形成了原子核。又例如,达尔文根据对生物现象的广泛观察提出了进化论、孟德尔发现了生物的遗传特性,差不多一百年之后人们才寻找到携带遗传信息的基因的分子物质。这些重大发现都遵循了由发现“现象运作的模式”到发现“现象背后的原因”的过程。对“现象运作的模式”的发现设立了路标,给

出了具体的线索,启发后人沿着正确的方向不断做出思考,进而最终发现了“现象背后的原因”。

4. 结语

发现“现象运作的模式”是发现“现象背后的原因”的基础,这两种思路都不可偏废。如果人们不能认识到这两种思路的不同,特别是不能认识到在现象的层次发现“现象运作的模式”的重要性,科学研究就很可能陷入空想之中。古希腊哲学家探讨本性和本质问题,专注于讨论“现象背后的原因”,不知道需要首先发现“现象运作的模式”,也就很难取得实质的进步。现代有些学科受到物理学的成功的启发,想要像牛顿那样建立起由少数原理解释众多现象的宏大理论,但是却很难获得成功。这些研究在很大程度上是略过了发现“现象运作的模式”的阶段,而想要直接到达发现“现象背后的原因”,实质上是接近于古希腊哲人的空想。这种努力实际上是想要略过伽利略的阶段,而直接到达牛顿的阶段。根据从物理学研究历史中得到的教训,不论使用了多么高深的数学,不论使用看起来多么合理、多么自明的原理,这样的研究都是很难获得成功的。

近代科学之所以取得成功,最根本的一条是放弃臆测的幻想,踏踏实实地去研究现象与现象的关联,在这个研究中发现现象运作的模式、发明和创造描述现象的合适概念和语言,最终才达到以少数的原理解释众多的现象。发现“现象运作的模式”是科学之所以可能的基石。我们可以更进一步说,是否学会了基于发现“现象运作的模式”开展探索实质上说明了一门学科是否是一门科学。

总之,“现象运作的模式”和“现象背后的原因”是物理学的现象学研究的两个方面,一个代表了物理学研究的路径和方法,一个代表了物理学研究的目标和动力,人们不应该把这两个方面对立起来。关于物理学的现象学的更多论述,可见于本文作者的著作《科学思维的价值——物理学的兴起、科学方法与现代社会》(图1)。

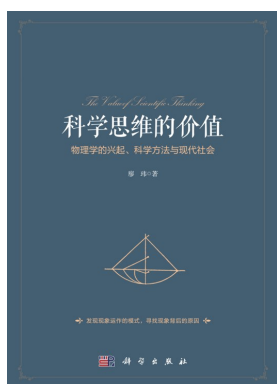


图1 《科学思维的价值》封面,科学出版社,2021年8月出版

参考文献

- ① P. W. Anderson, Science 177: 393, 1972。
- ② 于渌,郝柏林,陈晓松,《相变和临界现象》,科学出版社,2005年。
- ③ A. J. Leggett, Science Bulletin 63(2018)1019。
- ④ 廖玮,《科学思维的价值-物理学的兴起、科学方法与现代社会》,科学出版社,2021年。
- ⑤ 伽利略,《关于两门新科学的对话》,戈革译,北京大学出版社,2016年。
- ⑥ J. Schwinger, Address presented as the Nishina Memorial Lecture at the Maison Franco-Japanese (Tokyo), on July 8, 1980, Lect. Notes Phys. 746, 27-42 (2008)。

科苑快讯

为什么一些彗星会发出绿色辉光

彗星是由太阳系形成之时遗留的冰块和尘埃聚集而成,它们偶尔会从太阳系冰冷的外缘路过地球。一组化学家最近揭开了彗星发出绿光之谜,这一问题已困扰研究人员几十年。

早在20世纪30年代,格哈德·赫茨伯格(Gerhard Herzberg,后来因关于自由基和其他分子方面的研究成果而荣获诺贝尔奖)就猜测,彗星绿色辉光的过程可能与被称为双原子碳(dicarbon)的分子有关,它是由两个碳原子结合在一起而形成的分子。发表在《美国国家科学院院刊》(*Proceedings of the National Academy of Sciences*)期刊上的一项新研究,验证了赫茨伯格的理论。

澳大利亚悉尼市新南威尔士大学(University of New South Wales)这项研究的负责人、化学家蒂姆·施密特(Tim Schmidt)说,双原子碳存在于太空中的恒星、星云和彗星中,其活性非常强,暴露在地球大气层的氧气中时,将快速反应并“燃烧起来”。

施密特说,这是科学家们首次精确检测出这种分子在强紫外线照射下是如何分裂的。在实验室里,研究组必须利用真空室和三种不同的紫外激光器来模

拟近地空间的环境。双原子碳反应非常之快,他们不得不通过激光切割一个较大的分子来当场合成双原子碳。

当阳光加热彗星中的冰块时,双原子碳就形成了,其中一些可能是由乙炔构成。彗星中更复杂的有机分子在太空分解时,就会产生乙炔。氢原子从乙炔分子中挣脱出来之后,碳原子之间的化学键再次收紧,形成双原子碳。

彗星内部的双原子碳在被太阳加热时,会获得能量并发光,但其到达彗尾之前就会分解成单个碳原子。这就解释了为什么绿色辉光只存在于彗星周围,而不是彗尾。当足够的阳光照射到彗星上,就会不断产生新的发光双原子碳。在地球距离太阳较远的地方,双原子碳的寿命约为2天。

在太阳系的更远处,可能存在着数量惊人的彗星,正是这些绿光雪球,使科学家们得以一窥太阳系的远古历史。

(高凌云编译自2021年12月24日 Popular Science 网站)