

法拉第原子论观点的转变与场概念的起源

阎康年

(中国科学院自然科学史研究所,北京 100010)

本文试图通过系统地考察法拉第提出场概念之前的一系列科学实验、思想和科学界存在的各种有关看法,分析他从相信牛顿原子论和道尔顿原子论转变到相信波斯考维奇原子论的全过程,提出迄今出现的几种关于法拉第场概念起源的看法值得商榷,进而得出这样的论断:法拉第的场概念是将波斯考维奇原子论用于力线条件下做出的推论,没有对传统的或经典的原子论的否定,没有从力场概念向实体场概念的转变,不可能产生现代意义上的场概念。

一、关于法拉第场概念起源的几种看法

由于场概念和场论的意义重大,一个世纪以来它们引起科学界和科学史学家的很大重视,著述甚多,但是至今对于法拉第场概念的起源问题,仍存在深刻的分歧,这些分歧产生的原因在于对场概念的理解上存在着差异。根据这样的认识,我们可以将既有的一些看法分为以下六种:

1. 场概念起源于对磁力线在空间中的变化和分布的认识

丁铎尔(J. Tyndall)在评论法拉第提交给英国皇家学会的有关文章时,提出了法拉第的场概念来自磁力随距离而变化的认识。他在谈到可以把磁力线看作“法拉第的代表思想”时说:“法拉第是由铁屑在磁铁周围的线性排列才提出磁场的”^[1]。这种说法表明,丁铎尔认为法拉第是从磁力或磁力线在空间中的变化和分布的认识才提出场概念的。

2. 磁力线是物质的并因而是场的表现

这种看法与上一种看法的区别在于是否认为磁力线是物质的,因而提出场是物质存在的一种形态。琼斯(B. Jones)在《法拉第的著作和信件》一书中说:“我说的磁曲线,指的是磁

力线,它可以铁屑描绘”,“这就是1831年10月28日在法拉第思想上出现的、有形体的和实实在在的那些物质”^[2]。这里,他提出磁力线是作为物质而存在的,实际上这种物质性的磁力线就是磁场,因此他实际上认为场概念出现于1831年10月。

3. 场概念起源于对物质导磁性和导电性的认识

法拉第在给泰勒的信中,表示支持波斯考维奇原子论之后,拉明(R. Laming)在《哲学杂志》上发表了《关于电传导和物质性质的一篇文章的看法》(1845)。他在此文中说,法拉第在这封信中表示“他宁愿选择与电传导和绝缘性有关的某些事实的想法所得出的结果”^[3],这种说法说明,拉明认为法拉第的力场概念来自对物质和空间的导电性的认识。威廉斯(L. P. Williams)在《科学传记辞典》的《法拉第》条目中指出,法拉第从物体的顺磁性和抗磁性的研究中,认识到磁铁周围的介质起了传递“磁流体”的连接导线作用,它“隐喻地表现出法拉第感到这个现象究竟是什么,并对其潜在的原因给出了一点洞察”^[4],只是这种洞察才导致磁场概念的形成。

4. 场概念来自对磁力脱离物质而存在的认识

阿加西(J. Agassi)在《作为一个自然哲学家的法拉第》一书中提出,法拉第的场概念是在对磁力与磁铁分离的认识中,以及在对静电力的变化在空间中以确定的速度和时间传播的理解中才出现的。他举出法拉第在1832年3月12日密封在给皇家学会保存的信中的条子,这个条子提出磁和电的作用有行进的过程,因而有传递时间,以及法拉第在1832年3月16日的日记中提出与磁曲线相类似的电曲线概念,他说“无论如何,我认为场概念的诞生日是1832年3月26日”。他又说:“当他最后

在 1844 年发表关于磁的这个观点时……以第一个清晰的说明阐述了他的场论”^[4]。

5. 场概念起源于电磁感应的发现

伯克孙 (W. Berkson) 在《力场》(1974)一书中,提出一个有趣的观点,即把法拉第在 1921 年发现电磁回转现象看作场概念的产生,因为他认为“物体对隔一距离的另一物体的作用,总是需要时间,并且该作用是以场的一部分对其周围的邻近部分作用的方式传递的”^[4]。

6. 磁场是以某种作用强度为特征的点或地方

古丁 (D. Gooding) 在《重新发现的法拉第》(1985)一书中提出,法拉第后来的磁学观点含有场概念。他说^[4]:“对于法拉第而言,磁场是只以某种作用强度为特征的点或地方”,而磁是在附近具有一种属性的物质相互作用,这样,他终于得出“迈向场论的最后步骤:法拉第研究磁现象(1845—1850)”。

上述六种对场概念起源的看法,同时提出了从 1821 至 1850 年之间的六种场概念产生的时间。它们的共同性都是强调了法拉第对磁力和电力在空间中分布和传递的直观认识,却都忽视了法拉第也作为一个自然哲学家在原子论信仰上的变化对于场概念的起源所产生的重要作用,本文从此观点出发提出一种新的看法。

从法拉第开始到今天,对场的本质认识基本上有三种看法:一种是力场,如磁场、电力场和重力场等;另一种是实体场,如场是物质的一种表现形式;再一种是实在场,即场为实在或万物之本源,如认为物质是场的凝聚或密度大的地方。法拉第对场的认识过程实际上经历了前两个阶段。麦克斯韦认为“电磁场是在电和磁存在时包括物体及其周围的物理空间”,爱因斯坦在后期倾向于连续的场是物理实在。因此从力场和实体场概念是场概念发展过程中头两个阶段的观点,分析和认识法拉第的场概念的起源,可能更符合实际情况。

二、波斯考维奇原子论与道尔顿原子论的差异

牛顿对原子论做出的重要发展和将它应用

物理

到科学上,并使它在科学上长期处于正统地位,造成了后来的原子论向下面所说的两个学派为中心的方向发展。一个学派以波斯考维奇 (R. J. Boscovich) 为代表,另一个学派以道尔顿为代表。前者的代表作为《自然哲学理论》(1758),后者的代表作为《化学哲学新系统》(1808)。他们分别按照牛顿原子论的三个组成部分:原子的概念和属性,物质的粒子组成层次和粒子力,分别提出了自己的原子理论。

原子概念包括原子是否本原和原子是否不可分和不可变,二者的回答都是肯定的。但是,他们对于原子属性的看法却不同,波氏认为原子的特质是有质量而无大小和形状,道氏则沿袭牛顿的看法,有大小、形状和质量。既然都认为原子不可分和不可变并有质量,则原子有惯性和不可入性等属性。波氏原子有质量而无大小和形状,则它是牛顿原子的非原子化和质点的原子化,因而为牛顿原子论和道尔顿原子论的异化(或变种)。道氏原子的特质为正统的,但把原子的重量或原子量看作它的主要特质,并认为原子因元素而不同和化合物的终极粒子为化合物原子,与牛顿的原子论不同。

在物质组成层次方面,牛顿认为物体由原子组成的多层次粒子构成,元素的区别在于它们所含粒子的大小和密度不同。道尔顿在这方面的看法与牛顿的相同,只是原子因元素而不同和化合物原子由元素原子结合而成。波斯考维奇认为稳定的粒子立体结构以正四面体为最简单形式,因此位于正四面角锥体角尖上的四个原子为第一层次的粒子或角锥体(pyramid),由正四面角锥体角尖上的四个第一层次粒子构成第二层次的粒子,以此类推,直至物体。这样,利用正四面角锥体几何结构,使无广延或大小却有质量的原子构成有广延和质量的各层粒子和物体。他写道:“由这些第一级粒子能够构成第二级粒子,其形状是不大稳固的,以此类推……第一级粒子将要保持它的形状,以抵抗来自外部的即使很强的力”^[4]。波氏说,他的这些想法来自牛顿的《光学》的《疑问 31》。他修改了牛顿的有广延原子概念,并用正四面锥体

粒子结构取代了牛顿的堆垒式的和晶格式的粒子结构。高层次粒子之所以易分割和化合物可分解,在于粒子力随距离增加呈周期性衰减的曲线,导致结合力削弱的缘故。

关于粒子力随距离变化的关系方面,波斯考维奇继承并发展了牛顿的理论。他在《自然哲学的理论》中,在谈到他的原子论的来源时说道:

“可是,它也是将莱布尼茨及其追随者们未加扩大的简单单元,与牛顿学派的粒子在某距离上相互趋近并又在其他距离上分开的、通常称为吸力和斥力的未加扩大的简单单元,结合到这个理论之中^[9]”。

这段话不但说明波斯考维奇原子论的来源,而且说明他的粒子力随距离变化的看法也来自牛顿,并把它作为一个特殊情况,容纳到他的普遍理论之中。在未发表的《原理》一书的《结论》手稿中,牛顿认为粒子之间具有吸引力和排斥力:

“假设它们有双重的力,第一种力是吸力并较强,但是它随离粒子的距离减小得很快。第二种力是斥力,它随距离增大而减小得较慢,因而延伸得更广。既然这个距离将会有一定的范围,那么在此范围内吸力大于斥力,超过此范围斥力则将显示出来^[10]”。

因此,牛顿认为二粒子之间只存在一个平衡距离,在这个距离上粒子的双重力的合力为零。道尔顿完全继承了牛顿的粒子力观点,而波斯考维奇则将它发展成近斥远吸,并在二粒子间存在很多个平衡点,于是他绘出了粒子随距离衰变的波浪形曲线。从这个理论和曲线来看,在粒子距离无限小时,斥力为无限大,在很大距离时吸力为无限小。它能够解释化合物中各元素原子为什么不能合而为一并可分解,以及可用以处理分子动力学问题。但是,道尔顿却认为“波斯考维奇对于交变的吸引面和排斥面的看法似乎是不必要的”。

道尔顿的原子论在化学上取得了公认的重

大成就,因而得到众所周知的高度评价。可是,科学界对于波斯考维奇原子论的评价,却几乎被人们遗忘了。在19世纪理论物理和力学的发展中,它产生过很大的影响,并得到很多著名科学家的应用和称赞。在法拉第采纳波斯考维奇原子论并首先把波斯考维奇原子称为“力心”之后,开尔文勋爵在《物质的分子组成》(1889)一文中指出,“胡克用成堆的小球展示的结晶形状,纳维(Navier)和泊松的固体弹性理论,麦克斯韦和克劳修斯在气体动力理论上的工作,和泰特(Tait)最近在同一课题上的工作——全都是波斯考维奇理论的、纯粹的和简单的发展——充分地证明这个说明是有道理的”。麦克斯韦说“这样,我们有了气体分子在某一小距离上相互吸引和更接近时相互排斥的证据,这与波斯考维奇原子论把它看作力的质心很符合”。玻耳兹曼表示“长期以来,值得庆幸的波斯考维奇理论是物理学家的理想”。法拉第甚至说它比道尔顿的原子论更加优越。这些是具有代表性的看法。

在上述的两种原子论的很多差异中,对于法拉第的场概念的形成来说,以无形体却有质量的原子作为力心及力是物质的,最为重要。

三、力场概念的起源

根据上述认识,可以得出发现电磁感应现象不能被认为场概念的产生,因为在那时法拉第尚不了解场的存在。他在一次讲演中曾经说过:“我提出磁力线只不过是磁力的表现而已,却并未教导说它们的物理观念是什么……”^[11]。这些话说明法拉第明确表示过,他没有说过磁力线的物理概念,实际上他也没有明确地说过场的物理概念,而只是在实验上做过描述。事实上,牛顿早在1670年代已经观察到铁屑在磁铁作用下的曲线分布,如他在《论空气和以太》一文手稿(约1674年)中,就谈到过这个现象。他写道:“我相信,每个看到铁屑排成像从磁石的一极至另一极环绕的、磁流质形成的子午线曲线的人,都将会承认磁流质就是这种的”^[12]。

1675年12月7日，牛顿在给奥登伯格的信中，也谈到类似的说法，并将它的起因归之于以太风。那么，我们是否能够说牛顿早在1670年代就发现了场呢？显然不能。同理，我们也不能说法拉第在1831年发现电磁感应时，就形成了场概念。只是在随后他用在空间中传递和分布的磁力线观点解释这种现象时，才形成与牛顿的力概念不同的新观点，即力可以脱离发射它的物体而独立地存在于空间，并有传递的时间和过程。只是到这时，才能形成力场的概念。法拉第在1832年3月12日交给皇家学会存档的密封条子是这样写的，（这个条子到1938年才启封而公开）：

“……它包含着我来后的研究所产生的电和磁观点，我特别地相信它是我自己的。我希望从实验上得出来，但却需要时间，因此我渴望将我的见解的记录放在这个地方，以便如果证明它们是重要的，留下一个日期作为参考，可以证明那是我自己的。收入到名为《电的实验研究》的两篇论文中的某些研究结果，我在后来向皇家学会宣读过。由此产生的与其他的观点和实验有关的看法，导致我相信磁作用是行进的过程并需要时间，也就是相信一块磁铁作用在隔一距离的磁铁或铁块上，影响的原因（有时可称之为磁性）从磁体开始逐渐行进，并且需要它所传递的时间，将来有可能发现这个传递时间是很容易被人们感知的。

我也认为我了解电感应（张力的）是以类似的行进方式形成的这个假设的理由的^[1]”。

这种思想在他于1832年3月26日写的日记中，发展成二带电体之间的相互作用以电曲线（即电力线）的方式进行。因此，我们可以得出法拉第的力场概念的雏形是在1832年3月出现的。但是，他既未形成系统的理论，未公开发表，当时也未提出“磁场”这个词汇，只处于力场概念的萌发状态。

物理

四、实体场概念的起源

实体场概念意味着场是一种实体，它的产生应具备以下四个条件：

1. 认识并发现力与其载体或原子分离，并分布在它们周围的空间中。
2. 认识并证明力的传递具有一个过程和时间。
3. 力作为一种实体独立存在。
4. 将磁力场概念推广到电力场和其他力场，而形成普遍的实体场概念，并取得必要的证明。

前两个是力场概念产生的条件，只有在后两个条件也得到满足时，才能产生实体场的概念，因为力本身不是实体，更不是场。但是，对于笃信传统原子论的人，没有观点上的根本变化，不可能提出场概念。法拉第在前半生中相信牛顿和道尔顿的原子论。早在1816年1月，他向伦敦市哲学学会发表的第四次讲演《论辐射物质》中，就明确地说过：“应该假定已知物体由终极原子的各种排列产生的，只要它们的复合性质存在，就属于实体”^[4]。这些话证明，早年的法拉第相信传统的原子论，并希望它将有光辉的未来。此外，他应用了道尔顿说的“终极原子”一词，从这个侧面也反应出他相信道尔顿的原子论，这在他于1833年11月写的《电的实验研究》的有关部分中，得到进一步的证实。他在那里说“象道尔顿指出的，一个气体的粒子的弹性力并不反抗其他气体粒子的弹性力”。稍后不久，在电学研究初期，他仍相信原子论，如他在《电的实验研究》中写道：

“虽然我们一点也不知道原子是什么，可是却不能阻止在脑海中形成某种小粒子的思想……有大量的可供我们作依据的事实，使我们相信物质的原子被以某种方式赋与了电力或与电力相结合，它们的最显著性质就由此产生，其中就有相互作用的化学亲和力和^[5]”。

这些话表明，法拉第在1834年1月头几天仍然相信道尔顿原子论。可是，几天后，他的看法发

生了急剧的变化,如他在同一书中又写道:“但是,我必须承认,我讨厌原子这个术语,因为谈论原子虽然容易,却难以形成一个清晰的原子性质概念,特别在考虑化合物时”^[6]。通过电化学研究,法拉第感到离子的结合和化合物的解离,都与它们的带电量有关,这一切用传统的原子概念是难以解释的,因此他对道尔顿原子论的信仰发生了动摇和怀疑。自1837年起,法拉第陷入病痛之中,直至1844年很少工作。在此期间,他反复考虑过道尔顿原子论,并阅读了与波斯考维奇原子论有关的著作。因此,在1844年1月25日给理查德·泰勒的信中,他明确地反对道尔顿的和牛顿的原子论,而支持波斯考维奇的原子论。没有这个思想转变,他就不可能认识到原子具有非原子性,并以力心取代原子。这就是对传统原子论的变革,只有这种变革才能使法拉第从相信道尔顿原子论开始,转而从力场概念转向实体场概念。观念上的转变必须以实验事实为依据,为此,在下面列出场概念产生之前法拉第做的实验概况,是必要的。

在1837年,法拉第开始做光与磁的关系实验,并无结果。此后几年,由于病他只做了几个实验。道尔顿在1840年7月和9月,给他写了两封信,没有提到他们对原子论的看法有什么分歧,我们可以认为在这时法拉第尚未反对道尔顿原子论。1843年1月和2月,他做了很多与多种材质的导电性和导磁性有关的实验,在1844年之前还做了些电化学实验。这些情况表明,他在思想上开始反对道尔顿原子论应当发生在1841年之后,而与此有关的导电性和导磁性实验是在1843年2月之前做的。考虑到他给泰勒的信的时间,他对原子论信仰的决定性转变,应发生在1843年2月至年底之间。他给泰勒的信的内容宣读于1844年1月19日,正式写成于25日,发表在11月,他企图用波斯考维奇原子论解释物质的导电性和导磁性的机理。在1844年1月至8月,他做了很多化学实验,12月上旬做了电化学实验。此后,他又做了多种材料的大量电磁感应和偏振光实验,直至1845年底。这些实验不但使他进一步相信

波斯考维奇原子论,而且应用它分析电力和磁力传递的机理。因此,他在1845年11月7日的日记中,首次提出“磁场”一词。这个过程表明,法拉第抛弃传统的原子论,在观念和实验上为场概念的形成创造了条件。它也说明,致泰勒的信《关于电传导和物质性质的猜测》是法拉第背离传统的原子论并转向实体场概念的关键性环节,应着重予以说明。

在这封信中,法拉第说:“波斯考维奇的原子向我显示出它有超过很通常看法的很大优点”。他认为波斯考维奇的原子仅仅是“力或动力的中心,而不是物质的粒子,力就存留在力心上”。接着,他说道:

“在通常的原子论中,如果我们把脱开力的物质的粒子称为 a ,并把它之中或它周围的力或动力系统称为 m ,那么在波斯考维奇的原子论中, a 消失了,或者只是一个数学点,而在通常的看法中,它是一个不变的、不可入的小物质块体, m 则是包围它的一簇力气(atmosphere of force)^[7]”。

他进一步说:“ a 或核消失了,实体(substance)由力或 m 组成,我们对独立于力的核能确实地形成什么样的看法呢?我们对原子的感觉和知识,甚至我们的想象,只限定在它的力的观念上”。于是,他进一步阐述了这种力与原子的性质和质量的关系,他写道:

“中心周围的力赋予这些中心以物质的原子的属性。当许多中心被连接它们的力组成一个块体时,这些力再次赋予这个块体的每一部分以物质的属性。按照这个观点,由于考虑电的绝缘和传导所产生的矛盾全都消失了^[8]”。

由于法拉第主张原子之间是力气构成的空间,如果这个空间“必定是导体”,就可解释不相接触的粒子构成的物体具有导电性和导磁性的原因。但是,不由力气构成的空间却是绝缘的,它可以解释绝缘现象。这样,当时用道尔顿原子论无法解释的导电性和绝缘性问题,得到解决。于是,他认为传统的原子概念只是一个假设,并

变成一种偏见,与明晰的判断不可避免地发生抵触。他又说,它如果没有纯假设的意义就永远无法应用。此外,用力心取代原子,将传统的原子论变革,则它们通过“力气”可以形成一种连续的实体力分布的空间,这就是实体场概念的雏形。可见,没有对传统原子论的变革,不可能产生场概念。

1845年12月,拉明在《哲学杂志》上发表了前述的论文,批评法拉第把波斯考维奇的力心看得比牛顿的原子更好的想法,以及他对导电和绝缘的解释,然后提出了电包围原子形成的电球模型,用电球是否破缺说明导电与绝缘现象。次年5月,法拉第发表致菲利普斯(R. Phillips)的信,回答拉明的批评。他坚持力心观点,反驳电球模型,否定以太的存在,以力心和力线分布的空间或场作为辐射传递的载体。他提醒人们说,莫索蒂(Mossoti)曾经指出:“引力、聚合力、电力和电学作用,都有一个共同的关系或起源”。“磁场”一词首先是法拉第在1845年11月7日的日记中提出的,此后他频繁地运用这个术语描述磁作用,并在1847年1月19日的日记中独立地提出“场”一词^[1]。

大量的事实表明,法拉第的实体场概念是沿着这样的研究顺序提出来的:磁力线—电学—光的偏振性—导磁性和导电性—批判道尔顿的原子概念转而相信波氏的力心原子—磁场—场。这个顺序对于了解场概念的起源是重要的。离子的发现在他对传统原子论的信仰上投下阴影,光的偏振性实验促使他发现顺磁性和抗磁性及研究材料的导电性,并试图以力心和力取代替原子进行解释。但是,磁力线是循环的,并以磁铁为居留所,空间导电无法解释绝缘现象,空间不导电又难以说明导电现象。这就使他寻求一种更合理的解释,因而迫使他以力心取代原子,构成力心与力线结合并分布于空间的想法,并进而把力实体化,视物质为力和力心结合而成的。通过原子的非原子化和力分布空间的实体化,法拉第相信无数的力和力心结合体既可密集成有形体和质量的物体,又可形成分布于空间的实体,这就是场。按照这个思路,我们可以把

丁铎尔说的“磁力线是法拉第的代表思想”,引伸为场是法拉第的代表思想之一,并且是阿加西和卢瑟福分别所说的作为“自然哲学家”和“伟大的自然哲学家”的法拉第的主要标志之一。

应该指出,本文将法拉第的场概念的形成过程分为力场和实体场两个阶段,有着原则性的意义。阿加西只把法拉第的场概念限定在力场上,但是用力场是力分布和传递的空间概念无法说明场的本质和来源,此外它也不可能反应出法拉第的实体场概念,因而在场论的起源和提出的时间方面,做出了可能是不能令人满意的判断。但是,它与其他的这种看法相比,却前进了一步。本文提出“两阶段”看法,可使法拉第-麦克斯韦的实体场概念与爱因斯坦的实在场概念相衔接,在逻辑上具有系统性,从而使过去局限在力场概念起源的场论溯源讨论,进入更广泛的领域。爱因斯坦说过,法拉第和麦克斯韦的电场理论大概是牛顿时代以来物理学的基础所经历的最深刻的变化。他又说,借助于这些新的场概念,法拉第就成功地对他的先辈们所发现的全部电磁现象,形成定性的概念。法拉第在数学上无能力将它表述成一套严密的定量公式,象不久后麦克斯韦所做的那样,可是他在观念的根本变革上迈出了这关键性的(甚至决定性的)一步,对于一个半多世纪以来的科学发展,产生了极其深远的影响。

本文系英国科学院王宽诚基金资助作者在剑桥大学研究的课题之一,特向该基金会表示谢意。

- [1] B. Jones, *The Life and Letters of Faraday*, Vol. 2, London, (1870), 279, 275.
- [2] B. Jones, *The Life and Letters of Faraday*, Vol. 2, London, (1870), 2.
- [3] R. Laming, *Phil. Mag.*, 27-182(1845), 420.
- [4] L. P. Williams, *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. 4, New York, (1971), 109.
- [5] J. Agassi, *Faraday as a Natural Philosopher*, Chicago, (1971), 539, 140.
- [6] W. Berkson, *Field of Force: The Development of a World View From Faraday to Einstein*, London, (1974), 49.
- [7] D. Gooding and F. A. J. L. James, *Faraday Rediscovered*, New York, (1985), 175.
- [8] R. J. Boscovich, *A Theory of Natural Philosophy*,
(下转第 736 页)