



# 原子论建立过程中科学思维的历史演变

杨帆 冯杰

(上海师范大学数理学院 上海 200234)

(收稿日期:2018-04-06)

**摘要:**原子作为客观物质的一种组成层次,现已被科学界所公认,但原子理论所涉及的思维方法在物理学发展中的演变过程不容忽视并值得深思.本文系统介绍了不同历史时期原子理论的主要内容,以及理论的思想根源、实验基础,并在此基础上简要讨论理论在当时自然科学的发展以及物理学理论体系的完善中的重要价值.最后,在此基础上讨论原子理论建立过程中所反映的科学思维的历史演变过程.

**关键词:**科学思维 原子论 自然哲学 原子模型

原子的数量级约为 $10^{-10}$  m,如此微小的尺度,人类的感官是无法感知它的存在的.直到20世纪初,随着对放射性物质的研究,卢瑟福等人才通过电法计数器证实了氢原子的存在.然而,原子一词早在古希腊时期就作为自然哲学的本体论概念而提出.那么,原子概念为何先于经验而最早被提出?其背后反映了怎样的科学思维的演变过程?与此同时,从一种假设的哲学概念到被证实的物质的一种客观存在形式.

在这一漫长的科学发展历程中,原子理论历经演变并不断被完善.在不同的历史时期,原子理论在物理学研究中分饰不同角色,进而推动物理学的不断发展.因此,如何评价原子论在物理学发展中的作用值得思考.要回答以上问题,不妨先对原子理论的历史发展脉络做一梳理.

## 1 作为哲学本体论的原子论

原子概念最初是由古希腊哲学家德谟克利特提出的.出于对物质世界本源的理性思考,他认为宇宙万物都是由最基本的、不可分的物质单元即原子(Atom)和虚空组成的.每个原子都有一定的大小和形状,在虚空之中占据一定空间.同时,每个原子不断处于涡旋运动之中,进而结合构成世间万物.甚

至认为人的主观感觉也是由原子所构成,例如他认为人之所以能看见客观物质,是因为有原子流摄入人的眼睛.之后,另一位哲学家伊壁鸠鲁进一步继承和扩充了德谟克利特的原子论,提出原子是有质量的,并且认为原子具有惯性运动及偏离直线轨迹的偶发性运动,两种运动的结合使原子相互结合形成物质.他的理论又使得原子论得到进一步发展.

显然,上述理论是希腊哲学家们在其朴素唯物主义哲学观的基础上提出的,所谓原子只是其哲学本体论的一个基本概念,而非科学意义上的、被实验所证实的原子概念.然而,其理论价值不容忽视,正是德谟克利特的原子论奠定了西方近2000年的物质观.这使得17世纪以来多数物理学家甚至化学家们都始终相信物质是由原子组成的.从科学思维意义上而言,原子论诞生于希腊哲学家的理性思辨,而非建立在经验之上.

但正是这种思维方式铸就了西方自然科学思维的基本范式,即摆脱对事物具体感觉及现象,而是去寻求现象背后的本质和内在原因.这一观念一直促使西方的学者们致力于发现事物多样性后的内在统一性.这一点无论是在希腊时期德谟克利特提出原子论还是在近代物理学家们不断探索统一场理论上都有所体现.

## 2 作为自然科学基础的原子论

罗马帝国灭亡以后,欧洲进入了黑暗的中世纪.包括原子论在内的希腊时期灿烂的思想与文明沦为神学的婢女.直到17世纪,西欧迎来了科学的春天,布鲁纳、伽利略等科学先驱们恢复了希腊时期的原子论思想,但他们的原子思想仅仅停留在哲学范畴.真正将原子理论系统地应用于自然科学研究之中当属牛顿.他不仅继承前人的观点,将原子论作为其基本物质观念.同时,他将原子论与物质的基本属性联系起来,极大地促进了经典力学的发展.

具体而言,牛顿认为质量是物体密度与体积所共同产生的同一的量度,而所谓“同一”及组成物质的原子,那么,密度和体积越大物质所含原子数越多,物质的质量也就越大.质点概念的提出也源于原子论,牛顿认为原子是一个趋近于无限小的有质量的客观实体,再考虑到力学研究中只关心物体的力学性质,因此,为研究的简捷,牛顿便将物体抽象为质量集中于没有大小的点,即质点.同时,他受德漠克利特思想的影响在关于光的本质问题上始终坚持微粒说.另一方面,牛顿在继承原子论的同时,也对原子理论的发展做出巨大贡献,再解释原子之间的契合问题上,他认为原子之间存在相互作用的引力和斥力,由于两种力随原子之间距离增大而减小的速度不同,则当原子之间距离较小时表现为排斥作用,而距离较远时表现为相互吸引作用.

正是由于牛顿将原子理论系统引入自然科学之中,才建立了经典力学中质量、惯性、质点等基本概念,从而使物理学得到长足的发展.然而,我们不得不承认牛顿的原子论也仅仅停留在假说层面,他并没有通过实验验证原子的存在.同时,牛顿本人认为原子具有不可分性,因此对原子结构模型的研究并没有实质性的进展.但在这一时期,原子论所表现出的方法论意义值得斟酌.笔者认为有两点:其一,原子论构成了这一时期基本的物质观,包括光的微粒说;其二,原子理论启发了科学家的思维,正是受原子论极限思想的影响牛顿发明了微积分.

## 3 作为科学研究方法的原子论

牛顿是把原子论中作为他自然哲学的理论基础,这难免使得他的原子论带有一定思辨性.但牛顿始终致力于将原子理论与科学相融合,使原子摆脱作为哲学思辨产物的尴尬境地,真正成为科学的概念.而真正做到这一点的,当属19世纪英国化学家道尔顿.他通过将原子论应用于化学研究之中,使得原子论实现真正意义的科学化.

道尔顿原子模型的形成来源于他对气体膨胀现象的解释,他认为膨胀之所以取决于物质的热量,原因在于组成物质的原子周围存在热氛从而导致了热膨胀.于是他提出自己的原子模型,即由热素包围的实物粒子.同时他提出用元素符号来表示不同元素,如图1所示.

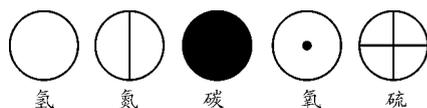


图1 道尔顿的元素符号

之所以说他的原子论是科学的原子论原因在于他通过对气体溶解度的研究,提出不同元素原子具有不同的相对重量,即元素的原子量,这使得它能够定量地研究组成不同物质元素的化合关系.这使他的原子论建立在科学实验的基础之上,符合科学过程的内在逻辑.同时他最重要的贡献就是为之后原子论研究提供了科学的思维方式,即通过对物质宏观现象进行观察和定量分析,进而构建其微观结构.这一思维的转变也反映了人类对微观世界认知方式的转变,人类对客观世界的认识范围不再仅仅停留在自身感官所能感知得到的尺度上,而是借助于这种科学的思维方式来认知感知以外的世界.

## 4 作为物质存在形式之一的原子论

进入19世纪后,经典物理学理论体系不断完善.理论上所取得的重大成就某种程度上归功于当时众多物理学巨匠们坚信原子论,并以此作为前提构建各自的理论.例如,克劳修斯的分子动理论、麦

克斯韦对气体分子速率分布律研究;玻尔兹曼对熵的统计解释,这些理论无一不是以原子论作为理论基础的。

原子论似乎成为物理学界主流的物质观,事实上,关于物质的其他存在形式的争论在物理学史上一直存在,如波粒之争。但是最为颠覆人们物质观念的是法拉第提出的“场”的概念,并认为场是物质存在的一种形式,它具有物质性。值得注意的是,法拉第早期是相信原子论的,但为什么后来会提出与原子论背道而驰的观点呢?有必要来梳理一下他思想的转变过程。这一概念的提出源于他对电磁感应定律的研究,他反对超距作用的观点认为电磁相互作用的传递需要介质,于是他提出磁体周围存在着力场分布于空间之中,磁力作用正是通过力场而传递的,在这里,法拉第眼中的力场是脱离物质而独立存在的实体。当然,从现代物理观念角度来讲,承认力是一种客观存在的物质是很荒谬的。那么法拉第这样一个原本相信原子论的科学家为何会认为力场是一种实物场呢?这一观念的转变源于法拉第对波斯考维奇原子论的借鉴。波斯考维奇认为原子有质量但没有广延性,在原子的周围存在着力氛。在此基础上,法拉第认为物质是由力心和力氛组成的,这些力的存在给予中心以物质性。换言之,物质是由力组成的,因此,力场便是一种实物场。

法拉第场的概念提出后,经麦克斯韦的继承与发展进而建立了十分自洽的电磁场理论。之后,赫兹通过实验证实了电磁波的存在,从而,使物理学家们相信“场”的确是一种客观存在的物质。它不同于原子,是物质另一种存在方式。同时,电磁场理论的建立打破传统的原子论的物质观念,然而,这一新的理论并没有动摇物理学家们对原子论的坚定信仰。对原子世界的探索仍旧持续着。

## 5 从原子论到原子模型

19世纪后半叶以前,物理学界一直认为原子是组成物质的最小单元,它具有不可分性。因此,物理学家对微观世界的探索仅仅停留在原子层面。首先

在观念层面突破原子不可分思想限制的首先是法拉第,为克服原子论在点原子和带电粒子问题上的困难,他提出原子是可分的,为构建原子模型提供观念上的支撑。在技术层面提供支撑的是阴极射线的发现。那么,在当时对阴极射线全然无知的情况下,是如何确定他就是带电的微粒,并且认为是组成原子的一部分?

对阴极射线的本质做出实质性研究的是克鲁克斯,他为了直观验证阴极射线是由微粒组成的,于是在1875年发明了辐射计,如图2所示。当阴极发出射线时中间的飞轮就会转动,从粒子假说出发可以解释为当射线照射飞轮时,相当于大量微观粒子打到飞轮上,此时飞轮则受到类似于光压作用,从而转动。这便有力地证明了阴极射线是运动的微观粒子。同时,阴极射线在磁场中的偏转运动又说明粒子带负电。那这些微观粒子又是如何被确定为电子呢?在前人研究的基础上,J·J·汤姆孙研究了穿过不同气体的阴极射线,得到微粒的荷质比与气体种类无关,无论哪种原子发出的微粒质量都相同,可见这种微粒是所有原子所共同具有的。并且经计算微粒的质量只是氢原子质量的千分之一。基于以上几点J·J·汤姆孙将这种微粒命名为电子。

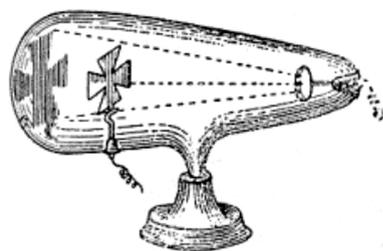


图2 克鲁克斯辐射计

在电子被发现之后,汤姆孙就开始构思电子是如何构成原子的,这标志着物理学向着原子内部世界进军。当时,许多科学家都提出了自己的原子模型。其中最具代表性的当属汤姆孙的枣糕模型,即原子是由一个带正电的球体和分布于球体中的电子构成的,电子在正电球体内按照环状排列,正负电荷相互抵消从而使得原子承电中性。并且汤姆孙经过计算还得到了电子环绕轨道半径与电子数的关系。汤

姆孙的原子模型很快就被学界所接受,但是该模型却有一个致命的缺陷,即不能合理地解释 $\alpha$ 射线的大角度散射现象。

汤姆孙的学生卢瑟福,在考虑这个问题时否认汤姆孙提出的用多次散射解释 $\alpha$ 射线的大角度散射现象,他联想到 $\alpha$ 射线被散射后延双曲线折返的现象与彗星受万有引力绕太阳做双曲线运动类似,于是认为原子中心有负电中心,周围有绕核运动的电子。后来在实验的基础上,卢瑟福对模型进行了修正认为正电中心比负电中心对实验现象的解释更合理,进而完善了他的核实模型。

但是,卢瑟福模型的先天不足就是与经典电动力学的矛盾。按照经典电动力学理论,当电子绕核做圆周运动时会向外辐射电磁波,因此,电子的动能就会减小,这样持续下去电子会最终向原子核塌陷。于是,波尔在此基础上提出定态假设认为当电子处在某一轨道上时,既不吸收也不辐射能量,只有当原子吸收的能量等于两不同轨道能级之差时,电子才会跃迁到另一个轨道上。

## 6 从哲学假设到客观存在

到20世纪初,原子模型基本建立。科学家们通过对实验结果的分析,再提出相应的理论模型,再通过新的模型去解释实验现象进而检验模型的正确性。通过这种科学的方法物理学家们给我们展现出一幅幅原子世界的画面。然而,到1907年以前,科学界却并没有直接证据证实原子的存在。而原子的核式模型建立时间却早于原子被证实的时间。这主要受限于当时科技水平。

证实原子存在的直接证据是在鉴别 $\alpha$ 粒子为带正电的氦原子。之后卢瑟福和盖革等人利用 $\alpha$ 粒子会在荧光屏上产生闪烁现象的原理,制作出了闪烁计数器,这种计数器配上显微镜,便能够使当观察者在暗室中直接观察到射到荧光屏上的 $\alpha$ 粒子。

从原子概念的提出到最终的证实,其理论的演

变过程中伴随着科学思维的转变。古希腊时期,天才的哲学家们通过其带有浓厚的直观、思辨及猜测性质的思维方式去认知和解释万物之本源,这是一种朴素唯物辩证思维的直接体现。到17,18世纪原子论本身并没有得到科学性的发展,主要受这一时期形而上学的思维方式的禁锢。这一时期的物理学家习惯于用静止的、孤立的方式观察外界事物,习惯于把复杂抽象的事物归结为简单的东西。反映到物质观上就是原子论。然而,在当时的历史时期,这种思维方式则是自然科学发展的必要条件,正从这一假设出发,在科学物理学建立了最基本的诸如质量、惯性、力这些基本概念,进而建立了经典力学理论。从而推动了科学技术的长足发展。

到了19世纪,唯物辩证的思维方式逐步形成,科学家们不再以孤立的、静止的视角去看待客观世界,而取之以互相联系、互相制约、互相影响的世界观。于是有了法拉第对超距作用的颠覆,并在此基础上建立了场的概念,突破了人们传统的原子论的物质观。正是这一突破加速了电磁理论的发展,进而使得科技取得了巨大的进步。于是到了19世纪末20世纪初,科学的理论、方法以及手段已全部具备,这为物理学家们打开原子世界这扇大门提供了先决条件。这一时期的科学家们借助于先进的实验设备,通过间接观察与逻辑思维相结合的思维方式使原子这个被视为不可分的物质单元找到了自身的内在结构。于是,历经2000多年的原子从朴素的哲学观念摇身一变为科学的物理概念。原子理论的演变史值得仔细研读。

## 参 考 文 献

- 1 阎康年. 原子论与近现代科学. 北京: 高等教育出版社, 1993. 1 ~ 5
- 2 孙世雄. 科学方法论的理论和历史. 北京: 科技出版社, 1989. 55 ~ 56
- 3 冯杰. 中学物理课程与教学论. 北京: 北京大学出版社, 2011. 56 ~ 57