

# 微观物质组成理论的发展 与近现代科学（上）

阎康年



即将灭亡，只能留下一件东西，你会选择什么？他的回答是“原子论！”，从中可看出微观物质组成理论的极其重要性！

## 一、研究微观物质组成理论发展的重大意义

物质在自然哲学上属于本体论，它是相互作用和运动的载体，空间、时间和运动是它存在的形式，物质的微观组成是研究物质结构和性质的基本对象和方法。

科学革命史表明，一次新科学革命往往从实验或观测到新的重要微观物质或现象，而对旧标志性传统理论体系发生重大突破时开始，直到标志这次革命成就的综合理论体系出现时结束。近代科学革命起源于太阳系的结构或组成理论的变革，而以牛顿的力学体系形成结束，然后进入近代科学的发展期。现代科学革命起源于19世纪末的三大发现，主要是电子的发现和原子结构模型的提出，但是至今尚未出现一种能够标志现代科学成就的综合科学理论体系，因此一般认为现代科学革命尚在进行中。目前，相比之下，只有标准模型具有除去分子生物学成就（大分子层次）之外，能够起到综合2000年前几乎所有现代科学重要成就的理论体系的作用，因此本文建议把标准模型基本证实之时，看作1895年出现的这次科学革命接近尾声之日，然后进入现代科学发展的新时期，其中包括黑洞理论、暗物质和暗能量及其与物质底蕴的关系。这只是一种探讨性的想法，仅供商榷。

现代科学的主要成就就是以微观物质组成理论的成就为中心，以相对论、量子力学、分子生物学和天体物理新发现等为四翼形成的格局。

由于这些原因，微观物质组成理论发展的研究对于了解人类物质观的变革，对于自然科学和哲学的发展，对于科学革命范式主要要素和科学史分期的研究，都具有重大的意义。

中国科学院研究生院有一位研究生在学期测验试卷中写了这样一段话：有人问美国著名理论物理学家费曼（Richard P. Feynman）（图1），如果世界

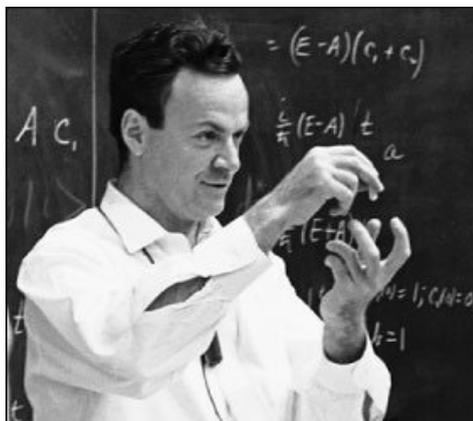


图1 费曼

## 二、古希腊原子论

古希腊的原子论是一种自然哲学的物质观和物质组成理论，它到罗马帝国后失传，到文艺复兴的15世纪中叶才意外地发现、得到重视和恢复，成为近代科学革命物质观的主要基石，伽利略和牛顿的力学体系就是在它的基础上展开的。

### 1. 德谟克利特原子论

德谟克利特（Democritus）原子论相信万物的始基是原子和虚空，原子是最小的实体，万物由原子和虚空组成，原子不可分不可变。原子是带钩和角的，相互之间靠机械的嵌合结合。他认为宇宙间的自然运动是漩涡运动，原子在漩涡运动中分类和碰撞，相互用钩和角嵌合而结合成物体和天体（德谟克利特《道德集》），因此马克思说德谟克利特的原子论是决定论的、机械论的原子论。

### 2. 伊壁鸠鲁原子论

伊壁鸠鲁（Epicurus）原子论是德谟克利特原子论的发展，他认为原子有内部组成但不可分，因为分了就会无限分下去而化为无有；他还认为原子的自然运动是原子在虚空中向宇宙中心落下的直线

运动，在平行运动过程中，由于偶然发生的偏斜运动而相互碰撞，最终形成漩涡运动、分类和结合。他认为原子的结合不是机械嵌合，而似乎是原子在垂直下落中，因为自我意识而偏斜运动，相互吸引、结合和排斥，而形成万物。所以马克思说，伊壁鸠鲁原子论是辩证法的原子论，“在伊壁鸠鲁那里，原子论及其所有诸矛盾，作为自我意识的自然科学已经实现和完成了”。

马克思的博士论文《德谟克利特的自然哲学与伊壁鸠鲁的自然哲学的差别》提出，两者原子论的区别在于前者是机械论的原子论，后者的是辩证的原子论，并且从中得出了机械唯物论和辩证法的科学方法论，后来将它们用于分析资本主义经济的原子——商品，解剖它的许多矛盾，写了资本论和辩证唯物主义与历史唯物主义等名著。

### 三、古原子论在近代的恢复和科学化

#### 1. 古原子论的恢复

(1) 卢克莱修 (Lucretius) 的《论物性》长诗和伊壁鸠鲁《给希罗多德 (Herodotus) 的信》的发现和简介。

古希腊的原子论曾有大量著作，但是近代只发现了一些残片和小羊皮纸手稿。9 世纪在德国修道院保存有《论物性》小羊皮手抄本，15 世纪初被发现，一意大利学者指导研究，并带回意大利传抄，1473 年印刷，1677 年和 1683 年译成法文和英文，广为流传。

古原子论的基本假设是作为始基的原子和虚空。伊壁鸠鲁的原子论主要在《给希罗多德的信》中有系统的说明。其原子论与德谟克利特原子论的差异在于：原子有内部有组成却不可分，以及在直线平行下落过程中产生偶然的偏斜运动。

(2) 法国哲学家伽桑狄 (Gassendi) 恢复伊壁鸠鲁原子论的重大意义：伽桑狄全面恢复和宣传伊壁鸠鲁原子论。他写了《伊壁鸠鲁的生活和快乐学说》、《伊壁鸠鲁的生平、品格和见解》、《伊壁鸠鲁哲学导论》、《伊壁鸠鲁哲学著作汇编》四本著作，在近代早期的欧洲产生广泛影响。伽桑狄抛弃了伊壁鸠鲁原子论的精华——原子下降中的偏斜运动。

(3) 培根 (F. Bacon) 和玻义耳 (Robert Boyle) 都是德谟克利特原子论的信徒。培根认为：“德谟克利特学派对于自然所成就的，较之其余一切造诣更深”，决心恢复德谟克利特原子论，认为“……也需

求助于始基的原理，才能见到真正的、清晰的光明，那始基原理是能完全驱除一切黑暗和隐晦的”，“研究愈是接近于单纯的性质，一切事物就愈变得容易和浅显”。

(4) 伽利略 (Galileo Galilei) 拥护和采用伊壁鸠鲁的原子论，认为：“我宁愿承认连续的量是由绝对不可分的原子构成，特别是这个方法可能比其他方法更好，能使我们避开许多错综复杂的迷宫……”。他在与伽桑狄的通信中说：“最近我们用实验证明了这一点”，指的就是比萨斜塔落体实验与伊壁鸠鲁不同重量的原子在同速直线下落中的关系，以便批判亚历士多德的落下物体速度与其重量成正比的运动观，这或许是他想做比萨塔自由落体试验的思想起因。例如，伊壁鸠鲁说，当原子在虚空中前进而没有东西与它们冲撞时，“它们一定以相等的速度运动，因为当没有东西与它们相撞时，重的原子并不比小的和轻的原子运动得更快，小的原子也不会比大的原子运动得更快，在它们的整个行程中是等速的”（《给希罗多德的信》）。

伽桑狄说：“伊壁鸠鲁也许从来没有想到这种实验，但在研究原子时他却得出同样的结论，这个结论是我们不久前通过实验方法才得到的，即与现实的事实完全相符，物体从上往下落时不论它们的重量和体积有多大差异，是以同等的速度运动的”。

玻义耳在《怀疑的哲学家》(1981)中指出，“我们或者选择伊壁鸠鲁提出的始基和聚合。或者选择 Moss 提出的有关说法。如您所知，不仅假设所有混合物，而且假设所有其他物体，都在广阔无垠的或极其无限的虚空中，按照内在固有的原理往复运动的原子，以各种的和偶然的原因所产生的”。他用原子论定义元素，从而开创了近代化学的先河。他定义元素为“某种初始的和简单的或完全不混合的物体……这种物体是结合成那些所谓的完全混合物的，以及这种混合物最终分解的成分”。也就是今天所说的最终分解为纯“单质”成分，单质的物质就是元素的物质。

#### 2. 牛顿的原子论与科学的粒子说

从德谟克利特到牛顿，原子论基本上都属于自然哲学范畴，原子只是他们说明宇宙万物及其运动的哲学设想，到了牛顿时代，由于反对神创论和建立科学的物质观的需要，才将原子概念用到力学上，看作力的载体——最小粒子或质点，然后画出受力

图和建立方程, 进入科学的粒子——力说阶段, 因而成为牛顿理论和理论物理的基础。

(1) 牛顿原子论思想的来源: 牛顿的老师 Isaac Barrow 和 Henry More 相信原子论, 对牛顿有深刻影响。牛顿上大学时仔细阅读了伽桑狄恢复伊壁鸠鲁原子论的著作和 W.Charleton 的书《伊壁鸠鲁-伽桑狄-Charleton 的生理学 and 建立在原子论基础上的自然科学结构》, 在物质观上深受其影响, 开始相信原子论。在他早期写的《三一学院笔记》的《初始物质问题》(Of First Matter) 和《原子问题》(Of Atom) 二节中表现十分鲜明, 初始物质就是原子, 他将这两节放在首位说明, 牛顿早年将原子论视为信条。

在《光学·疑问 28》中他反对笛卡儿 (Descartes) 的以太说时说: “要否定这样一种介质, 我们有古希腊和腓尼基的一些最古老的著名权威的支持, 他们把真空和原子及原子的重力看作他们哲学的基本要素”。

(2) 牛顿科学思想的核心: 通过对粒子间的力与距离关系(图 2)的研究, 得出“只要能证明这种力存在, 则几乎一切自然现象将取决于粒子的力”。在《原理》第 III 卷中写道: “整体的广延、硬度、不可入性、可动性和惯性, 是由部分的广延、硬度、不可入性、可动性和惯性引起的, 因此我们得出一切物体的最小的粒子也都是……, 这就是全部哲学的基础”。这些说法表明, 牛顿的科学思想的核心是原子论和粒子与力。

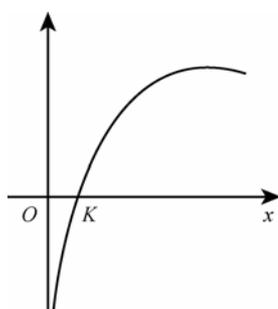


图 2 牛顿的粒子间力随距离变化曲线

(3) 牛顿物质组成思想发展三阶段: 早期原子论阶段 (1664~1673)、向以太说妥协阶段 (1673~1683), 坚定的原子论阶段 (1684~1727), 这是因为 1672 年他的关于光的颜色理论向以太说妥协阶段的论文受到主张以太说的胡克 (Robert Hooke) 的批评而动摇, 在 1684 年发现运动基本定律和万有引力定律, 以及建立宇宙系统论时, 他发现以太说对此没有用处, 而完全皈依到原子论及科学的粒子学说上。

(4) 将原子论引用到科学概念和科学推理中:

定义了质量 牛顿在《原理》中将质量定义为: “物质之量”。他说: “物质之量是由物质的密度和大小共同产生的同一量度” (《原理》第一章《定义》)。他和伊壁鸠鲁都认为, 原子是最小的和最基本的同一量度单位。

提出了物质组成粒子说 粒子间距近了吸引和远了排斥, 他认为最小粒子构成多层次颗粒, 直至物体, 达七层次之多。

提出了光的微粒说 在 1669 年就做了光的七色颗粒混合与分解实验, 1672 年提出光的微粒说。物质组成粒子说和光微粒说, 都是他将原子论用于科学上的产物, 其副产品是质点和质点系概念, 它们是近代牛顿力学的本体和力的载体。

质点和质点系 按照力学的需要, 将原子提炼成只有重心而无大小和形状的力学载体, 用质点和质点系对万物进行力学处理。

他在《原理》中认为, 原子是上帝用物质创造的, 而物质、时间和空间是上帝创世之前就有的, 因而是绝对的, 以反对神创论。这也说明牛顿的绝对时空观和物质观在当时具有反对神创论的意义。

牛顿用粒子和力说明混合、化合、分解、蒸发和物质三态的转化, 及云、雾、霜、雪等的形成。

他运用粒子和质点概念与数学和动力学相结合, 发明了微积分、万有引力定律和运动三定律。没有原子概念、物理和几何学的知识交叉, 发明微积分是不可能的。

(5) 牛顿原子论对于后来几种原子论有着重要影响, 粒子说成为原子论在科学上应用的发端, 后来直接导致电子的发现、量子论和原子物理与核物理的产生; 影响了爱因斯坦前期的物质观和哥本哈根学派。

(6) 1684 年牛顿在历史上第一次抛弃了以太说 (另两次: 法拉第在 1844 年, 爱因斯坦在 1905~1909 年), 提出了物质组成的粒子说, 因为以太假设对于他论证他发现的物理定律和研究天体力学没有什么用处。

### 3. 波斯考维奇原子论及其历史意义

波斯考维奇 (Boscovich) 是南斯拉夫人, 后到巴黎等地游学, 由于他将原子论和牛顿力学结合, 提出了距离与相互作用力的关系学说, 而闻名欧洲。

(1) 波斯考维奇原子论来源: 取牛顿的粒子和力、莱布尼茨的单子论的长处, 而去其缺点, 形成

离子键的力随距离而交变的变化关系——近斥和远吸的周期性波动关系（图3）。

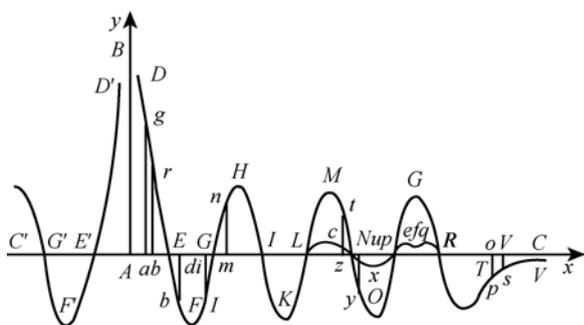


图3 波斯考维奇的粒子距离与吸引力和排斥力随距离交互转变的关系曲线

(2) 波斯考维奇原子特征和属性：作用力  $f$  的表示式为： $f = Z^m + az^{m-1} + bz^{m-2} + cz^{m-3} + \dots$ ， $f$  随距离  $Z$  而交变，其中  $a$ 、 $b$ 、 $c$  是常数。

(3) 波斯考维奇物质组成思想：以质点作为原子，形成最简单和稳定的立体结构——质点的四面晶体为第一层结构，进而形成多层次晶体粒子结构，直至物体（图4）。

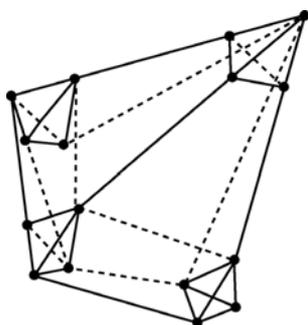


图4

(4) 影响和应用：波斯考维奇原子论在英、法、德等国被广泛采用，特别是在理论物理学家和哲学家之间。麦克斯韦说：“气体分子……这与波斯考维奇把原子看作质心、力是距离的函数、距离减小时从引力变为斥力，并多次反复的理论，完全一致”。法拉第接受此原子论，并开始反对道尔顿原子论。

(5) 波斯考维奇原子论优点：能合理地说明最紧密的化合物为什么能完全分开，以及最小的各种元素粒子能化合和混合，因为小粒子靠的越近其斥力越大，不能合二为一；能说明混合粒子易于分开的原因在于作用力大小随间距呈正负波动的关系。

#### 4. 道尔顿化学原子论

(1) 来源：道尔顿（Dalton）在学生时代受老师的影响，天天作观察气象现象的笔记，经过长期记载和分析，从对气象学的研究起，开始了他的科研究生涯。在1793年写的《气象观察和论述》，《混合气体的组成》论文手稿中提出分压定律。

他说的终极粒子（ultimate particle）就是原子，

来自牛顿。1803年9月6日，他写出《关于物体的终极粒子及其结合的观察》，提出“终极粒子的重量、定比定律和化学原子论”。“ultimate particle”一词是牛顿在光学《疑问31》中提出的，道尔顿研究化学原子论是从牛顿原子论开始并承继和发展的。

道尔顿是掩蔽剂的发现者和传记作者——罗斯科（Roscoe）说：“道尔顿彻底地渗透着牛顿的原子学说”，“将牛顿原子论用于大气的气体组成，才将道尔顿引向他的原子论”。

道尔顿说过：“为了使这个大气化学理论与牛顿的排斥原子或粒子学说相协调，或者说相适合，我在论文中着手将它与我的工作结合”（1810年1月27日在皇家研究所讲演）。在皇家研究所讲稿中丰富地和系统地提出了他的原子论，其中写了8点，有4点后面注有：“见牛顿……”（1810年1月17日）。

(2) 道尔顿化学原子论的主要内容：物质由小的终极粒子即原子组成；原子是不可分和不能创造与消灭的；既定元素的原子相同，有恒定的原子量；不同元素有不同的原子量；化合物粒子的重量是其成分元素原子重量的总合；已知元素有一种以上的化合物，则这些化合物的粒子中各元素的原子数量之间成比例。

道尔顿通过气压测量和分压定律，发现气体在液体中的吸收系数与气体元素的重量成比例，在1903年提出了元素原子量概念。9月6日的实验笔记《物体由终极粒子组成的新理论》中首次提出他的化学原子论，并于10月在曼彻斯特文化和科学联合会议上发表。

(3) 根据道尔顿的实验笔记，过去流传他先提出倍比定律后提出化学原子论的说法是错误的，而是先有原子论后有倍比定律。

(4) 道尔顿-亚佛加德罗的原子-分子说的产生：道尔顿把元素和化合物的基本组成单位都叫做原子，产生混淆。亚佛加德罗（Amedeo Avogadro）把元素和化合物的基本组成单位都叫分子。两种说法在当时欧洲化学界造成混乱和争论。康尼扎罗（Stanislao Canizzaro）在1858年提出，并于1960年在卡尔斯鲁厄召开的国际化学会议上散发的小册子《化学哲学教程概要》中，提出巧妙的见解：“不但化合物的分子可以含有不同数目的各种原子，而且某种单质元素的分子也可以含有一个以上的相同原子。这些问题就可以迎刃而解了”。用元素的原子取

代亚佛加德罗的元素分子，用化合物的分子取代道尔顿的化合物原子，终于取得与会者的公认，使这场争论合理地得到解决。

### 5. 法拉第的力心原子模型与场概念的起源

(1) 缘起：1832年法拉第对“离子”的发现，动摇了他对道尔顿原子论的信仰，认为他说的原子不是最基本的物质单位，他说：“我想得越多，我的原子和离子观念变得越不清楚”。1845年11月8日法拉第根据磁铁周围任何位置的铁粉都感受磁铁的影响（图5），说明磁体周围分布着磁力线，因此提出“磁场”概念，首次提出了场的概念。后来提出“电场”和“重力场”以及一般的“场”概念。

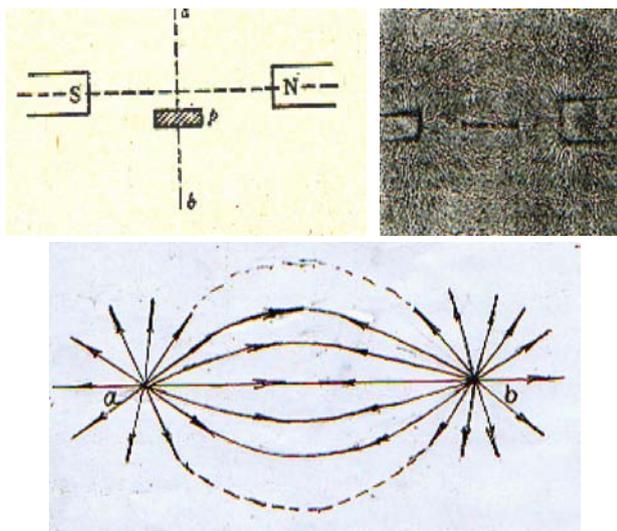


图5

### (2) 力心原子模型

1844年1月25日法拉第在给泰勒（Richard Taylor）的信中提出：原子由力心与力线构成，力心是有质量而无广延的几何点。他将力心非物质化，将力线物质化，构成他的原子模型（图6）。他在信中说：“我抛弃了以太并用力线取代（It dismissed aether and replaced by lines of force）。”

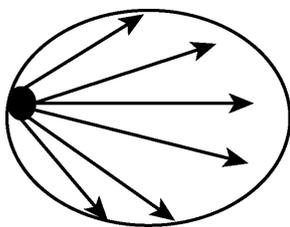


图6 力心原子模型

麦克斯韦定义磁场是磁体周围的物理空间，物理空间就是非纯真空的具有物理性质的空间，也就是说这个空间是由力线分布的空间，如果按照法拉第说的力线是物质的，就是磁力场。这里，法拉第是继牛顿之后再次提出否定以太存在而推动科学发展的重

要科学家。

波粒二象性思想萌发：与爱因斯坦在1909年发表的《我们的关于辐射的性质和组成观点的发展》论文中提出的说法相比，这个说法是“我把每个这样的奇点想象为由力场包围，力场在实质上具有平面波的特性……力波场与通常的电磁场所定义的波场只稍有不同”，法拉第、爱因斯坦和德布罗意对于波与粒子关系的看法可以表1表示。

法拉第的上述力心原子模型中，二力心的磁力线相互干扰所产生的磁力线的横向振动，与爱因斯坦的二奇点周围的场因相互干扰产生的横向振动，实质上是一样的，似有模拟之嫌。

### 6. 原子论与以太说的论战与结果

在近代物理史上，以太波动说曾经四次遭到原子论学派的激烈反对而逐渐消沉下来。一次是牛顿在1684年后对以太波动说的批判，使粒子说盛行百多年。一次是1844年法拉第对以太说的抛弃而提出磁力线和场论。另一次是1895年在德国发生的，以玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann）为代表的原子论学派与奥斯特瓦尔德（Wilhelm Ostwald）为代表并得到马赫（Ernest Mach）支持的唯能论学派的大规模论战，结果以唯能论失利结束。再一次是爱因斯坦在1905年否定了绝对静止坐标系——以太的存在，而提出狭义相对论，这次论战得到原子和原子内有核结构的实验发现的支持，而最终得出波粒二象性成为微观世界底蕴的解答。原子论或粒子说学派在后来得到哥本哈根学派的支持，发生了以玻尔（Niels Bohr）为代表的哥本哈根学派（主张粒子为本原）与爱因斯坦（主张场为本原）的论战，这场论战使爱因斯坦晚年对场为本原产生犹疑，最后以爱因斯坦在1955年去世而结束。总之原子论及其在科学上的粒子说学派与以太波动说、唯能论和为场论的系列论战，大大推动了科学的发展。

### 7. 作为方法论的量子化和量子理论

(1) 量子理论：1900年普朗克（Max Planck）提出量子论：量子就是能量的粒子化——能量基元，后来推广到所有基本粒子、辐射和能量的粒子化。为什么要粒子化？因为牛顿力学的基础是粒子与力，粒子化了，便于用牛顿力学方程求解。

(2) 作为方法论的粒子化：后人为了能用牛顿力学处理非粒子形态的物理问题，将貌似连续的物质和能量粒子化，提出不连续的声子、声包、振子、

# 她用物理的情趣，引我们科苑揽胜； 她用知识的力量，助我们奋起攀登！

欢迎投稿，欢迎订阅

《现代物理知识》杂志隶属于中国物理学会，由中国科学院高能物理研究所主办，是我国物理学领域的中、高级科普性期刊。其前身是创刊于1976年的《高能物理》杂志。该刊以生动活泼的语言介绍现代物理知识、传递科技前沿动态，以深入浅出的形式做到科学性和趣味性并重。适合广大的科学工作者、教育工作者、科学管理干部、大学生、中学生以及其他物理学爱好者阅读。

为进一步提高《现代物理知识》刊物的学术水平，欢迎物理学界的各位专家、学者以及研究生为本刊撰写更多优秀的科普文章。投稿时请将稿件的Word文档发送至本刊电子邮箱mp@mail.ihep.ac.cn。投稿时请将联系人姓名、详细地址、邮政编码，以及电话、电子信箱等联系方式附于文章末尾。

《现代物理知识》设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学

随笔和科苑快讯等栏目，并于2009年开始增加了彩色中心插页。2011年《现代物理知识》，每期定价8元，全年6期48元，欢迎新老读者订阅。

邮局订阅 邮发代号：2-824。

汇款到编辑部 地址：北京市玉泉路19号乙高能物理所《现代物理知识》编辑部；邮编：100049。

需要过去杂志的读者，请按下列价格汇款到编辑部。1992年合订本，18元；1993年合订本，18元；1994年合订本，22元；1994年增刊，8元；1994年附加增刊合订本，36元；1995年合订本，22元；1996年合订本，26元；1996年增刊，15元；1997年合订本，30元；2000年附加增刊合订本，38元；2000年增刊，10元；2001年合订本，48元；2002年合订本，48元；2003年合订本，48元；2004年合订本，48元；2006年仅剩4、5、6期，每期7元；2007~2010年单行本每期8元；2007~2009年合订本每本50元。



表 1

项目 姓名	原子	场	相互作用	波粒二象性	波	对以太的看法	理论结合	性质	波粒关系
法拉第	力心	力线	多力线合成	力心+力线	振动	抛弃	发射+波动	思想先驱	波粒共存
爱因斯坦	奇点	非连续场	多电磁场合成	奇点+场	振动	否定	发射理论+波动理论	科学思想	波粒共存
德布罗意	粒子	物质波	物质波场	粒子+波	波动	废弃	物质或波	科学理论	两者之一

算子、光子、因子、细胞、基因等概念，这些概念对于用牛顿机械观和牛顿力学方法进行科学处理，能得到很好的效果，在近代科学方法论上影响很大。

(3) 普朗克在1900年为了用粒子说处理能量问题，提出将原子论观点用于能量束的粒子化上，以便应用牛顿力学处理非粒子组成的问题，物理史上称其为量子化，并提出了量子理论，它的发展结果就是量子力学的出现。量子力学的出现是20世纪

重大成就，使各个基础学科几乎都发生了革命性的变革。

(4) 1906年爱因斯坦提出光量子说：他早年主张原子论观点，将光量子化，并对光电效应做出合理的解释，因此获得诺贝尔奖。能量子、光量子、引力子和基本粒子等概念的出现，在现代科学方法论上有重要意义。

(中国科学院自然科学史研究所 100190)