
物理 基本概念的演变

董春雨 著



山西教育出版社



物理基本概念的演变

董春雨 著

山西教育出版社

物理基本概念的演变

董春雨 著

*

山西教育出版社出版发行 (太原并州北路 69 号)

新华书店经销 太原千峰科技印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.25 字数: 195 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月山西第 1 次印刷

印数: 1--3000 册

*

ISBN 7-5440-1052-X

G · 1053 定价: 9.90 元

前 言

科学的最高成果是概念。

任何一门科学，都有自己一系列相互联系相互隶属的基本概念，它们构成了科学理论的基础。从人类认识的角度讲，科学的发展就是其基本概念的产生和发展过程，也就是说，概念作为科学理论成长的实际核心，它的变革往往意味着科学理论的发展。总之，科学进步的标志之一就是概念的形成和深化。因此，对一门科学的学习，首先应该是对它的基本概念的准确把握和深刻理解；同样，对一门科学的历史的了解，很重要的一部分内容就是对其概念历史发展的了解。

无论如何，单纯追溯一门科学的概念的历史发展的研究往往开展得不是很充分。拿物理学来说，人们对物理学史的研究，大多为对物理学发展过程的“全景式”研究，不仅包含着对科学思想即概念的研究，更多地是较为客观地介绍当时的一般总体情况，包括事件、人物及社会背景等。当然，这方面的工作做得很细，史料也较翔实。但是这种从整体上对物理学历史的把握，往往采取横向的叙述方式，首先是进行分期、分阶段，然后对这一时期各门学科的发展情况进行介绍，但它常常会打断对某一问题的探讨的继续。这种做法的另一个缺点是，虽然它也包含着对科学思想发展的分析和研究，但由于其他一些因素的存在，往往冲淡了这一主题。

而概念作为对事物本质及其关系的反映，作为人们对客观世界进行高度抽象、概括的思维形式和认识成果，实际上最具思想性，其发展最能反映人类的理性精神。因此研究概念发展的历史脉络，可以给人们提供更多的思考和发现的方法。然而如上所述，在传统的物理学研究中，对概念本身的研究是很不够的。加之现在的物理学教学中一般只介绍概念的现代意义而无暇顾及概念的历史变迁。所以，概念本身在认识论、方法论方面所具有的启发价值并没有被人们充分挖掘出来。当然，也有许多人对物理学中的某些基本概念如时间和空间、质量和能量等的历史发展作过深入的研究，但内容较单一，不能很好地反映物理学的全貌。

基于上述考虑，笔者遴选了物理学中一些最为基本的概念，试图按照它们的历史和内在逻辑线索，在有限的篇幅内简洁、清晰地勾勒出物理学发展的脉络，并力图通过在对物理学概念的每一次艰难而深化的叙述中，反映出人类理性的执着。另外，尽管物理学至今已发展为内容丰富、结构严谨、臻于完善的一门科学，但它仍然面临着许多困难，包括概念方面的困难，其中有许多问题尚存很大争议。笔者在对上述情况作简单介绍的同时，也谈及了自己一些不很成熟的想法。由于学识所限，掌握的资料亦有限，加之时间仓促，疏漏之处，在所难免，望读者不吝赐教。

本书的写作，自始至终得到了张嘉同先生的关心和指导，谨致谢意。

董春雨

1996年5月于北师大

目 录

前 言	(1)
一、原子与粒子	(1)
1. 古代自然哲学的原子概念	(1)
2. 近代科学中的原子概念	(7)
3. 现代科学的原子模型	(15)
4. 关于物质的可分性	(24)
二、场	(29)
1. 从真空谈起	(29)
2. 科学的场的概念的建立	(33)
3. 场概念的进一步发展	(53)
三、时间和空间	(64)
1. 科学的时空概念的形成	(65)
2. 相对论的时空概念	(74)
3. 微观世界中的时间与空间	(88)
4. 系统与内部时间概念	(96)
四、物质和能量	(105)
1. 质量概念的形成	(105)
2. 能量概念的形成	(114)
3. 质量与能量概念发展	(127)

五、温度	(139)
1. 温度与温标概念的形成	(140)
2. 温度与热量的区分	(147)
3. 热质说与热动说之争	(153)
4. 温度概念的深化	(161)
六、熵	(171)
1. 熵概念的引入	(171)
2. 熵概念的微观解释	(182)
3. 熵与自然的进化	(202)
4. 熵的概念的推广	(210)
七、电和磁	(218)
1. 关于静电、静磁概念	(218)
2. 电和磁的内在统一性的发现	(223)
3. 电磁场概念的建立	(230)
4. 电磁场概念的进一步完善	(245)
附录： 因果性	(251)
1. 因果性原则的确立	(253)
2. 随机性在自然规律中的介入	(256)
3. 内在随机性的发现	(258)
4. 决定论观点的根本动摇	(269)
5. 科学规律与因果性	(278)
主要参考书目	(284)

一、原子与粒子

当人类的自我意识刚刚从周围环境中分化出来的时候，自然就会产生这样的问题：外部万花筒般的世界是由什么构成的？它们有没有共同的本源？这一问题无论是作为哲学的世界观，还是作为物理学的基本问题之一，从古至今一直吸引着天性勤于思考的人们。对它的回答也逐渐演变为有关“原子”的 3000 年兴衰历史。我们在这里首先回顾一下人们对这一问题的认识历史，将有助于我们把握人类认识自然的整个历史进程，或者更准确地讲，我们在这里找到了一个起点。

1. 古代自然哲学的原子概念

严格意义上的物理学是从伽利略开始的，但物理学作为对自然界最基本、最简单运动的描述，作为人们关于社会生产实践和日常生活经验的概括和总结，它的某些基本概念有着非常悠久的历史。“原子”这一概念，作为人们对组成物体的微粒的抽象就是如此，它已有 3000 年的历史了。

毫无例外地，我们今天所习惯的描述自然的一切概念都是逐步形成的。而人类对自然界的早期认识，由于受到当时低下的生产力的限制，主要是以那些令当代人感到不可思议的神话联系在一起的。例如对于司空见惯的暴风雨，在我国古代先人看来是不同寻常的，和雷公电母风婆联系在一

起。无论如何，神话思维是古代人们认识世界和解释世界的一种尝试，它总是在努力回答“是什么”和“为什么”的问题，虽然这种回答在我们今天看来是那样荒诞不经和随心所欲，几乎不受任何限制。这样，神话作为人们最初对自然的观察、思考、描绘、解释，代表着我们今天的思维的早期形式，其特点是人们还不能够把周围世界与自己的主观体验和感觉的世界分别开来，周围世界在一定程度上成为人的自身世界的延伸。例如在所有的神话中，原本客观存在的外部世界都被拟人化为虚幻的神的世界。理性的科学思维，在历史上是随着唯物主义哲学的产生开始的，从那时起，随着认识的主体与客体的逐渐分离，人们才开始试图用自然的原因而不是用神去描述和解释外部的客观世界。

日常经验告诉人们，物体是有大小的，而且可以分解为更小的部分。例如一块石头可以被打碎而得到许多与这块石头相似的碎块，这些石块还可以被进一步打碎，只要用的力足够大，我们可以把石块粉碎成为肉眼几乎不能分辨的粉末，那么人们原则上能够把物体粉碎到多小的程度呢？如果人们有足够大的力量或更准确地说是能量，自然界里存在着这种可分性的限度吗？或者更进一步，世界的存在有没有统一的基础？如果说前面的问题仍属于日常生活范围，大多数人只是略加考虑而不关心是否得到正确的答案，而后面的问题则是古代哲人们关注的焦点问题之一，属于抽象的哲学世界观问题。

早在公元前9世纪，在口头流传的古印度文献中就可以见到诸如存在、原始实物等概念，到公元前7~5世纪，已明确提出物质组成的四种基本元素为土、火、水 and 气。而在

古代中国，朴素唯物主义的发展比印度达到了更高的水平，公元前 11 ~ 10 世纪，中国古代的思想家就提出了“五行说”，认为物质的始源是水、火、木、金、土。其后，成书于公元前 9 ~ 8 世纪的卓越文献《易经》，则认为万物是由“气”构成：“气”有聚散，聚则成万物，散则归于太虚。而到了公元前 6 ~ 5 世纪的老子，对标志着宇宙的绝对始源的作为哲学范畴的“道”提供了全面的论证。在老子看来，“道”是“天地之始”，“万物之母”，而且作为万物最深刻基础的“道”是自在存在着，它自身不取决于任何外部的东西包括人的意识和意志，故有道生一，一生二、二生三、三生万物之说。另外中国古代哲学中还提出了“至小无内”，“不可破”及“端”等概念。尽管东方的自然哲学曾经达到了很高的水平，但是由于它本身没能孕育出纯粹的自然科学，没能同具体的社会生产实践和科学实践紧密结合在一起，因此一直停留在猜测和思辩的水平上，没能达到更高的发展阶段。

古代东方思想家的唯物主义物质观，在产生于公元前 6 世纪的古希腊哲学中获得了进一步发展，他们尝试着给大自然以统一的合乎理性的解释。

古希腊哲学中最早的唯物主义学派米利都学派（公元前 6 世纪）是从对现实的感性直观研究所获得的材料中去寻求某种基础的，因为在认识的第一个阶段，对象只能被反映为具体的感性的东西。例如，泰勒斯（Thales，约公元前 624 ~ 前 547）认为，各种事物之间的区别大部分是由于我们的感官所认识到的不同，本质上并无区别，只不过是同一种物质——作为万物本源的水的各种不同的变化形式而已。这

样，泰勒斯在西方首开把世界视为某种物质实体之先河，这对于摆脱神话中超自然的鬼神观念并用物质的方法去认识自然具有十分重要的意义。泰勒斯之后，又相继出现了类似的观点，阿那克西米尼（Anaximenes，约公元前 585 ~ 前 526）把空气当成是万物的本原，因为空气比水具有更大的流动性；赫拉克利特（Herakleitos，约公元前 540 ~ 前 480）则把火作为万物的典型形象。总之，在这一时期的古希腊唯物主义哲学家中，其主要倾向是承认物质本源具有个别的感性具体物的形式；同时他们又注意到了物质的状态、特性变化的特点，因此把水、空气、火这些流动的变化无常的东西作为世界的本源。尽管这些观点由于知识水平所限有着明显的缺陷，但它们毕竟认为物质是在自己的运动中产生了世界上的一切物和过程，而且物及过程都可以相互转化，从而表达了辩证的唯物的自然观的萌芽。

到了公元前 5 世纪，人们在自然观、物质观方面又向前跨了一大步，它突出地表现在人们关于物质的上述感性直观的观念开始向物质的构成与种类问题过渡和深化。唯物主义者阿那克萨哥拉（Anaxagoras，约公元前 500 ~ 前 428）用“万物的种子”的概念来表达组成物质的微粒，解释世界的多样性。在他看来，一切存在物都是由与自身同质的“同素体”结合而形成的。骨头是由小骨片形成的，肌肉是由碎肉末形成的，血是由小血滴形成的，等等。又由于这些原始的物质微粒是不活跃的、被动的，阿那克萨哥拉还引入了“力”的概念即“奴斯”，用以解释物质由于微粒的结合和分离而产生着和毁灭着。这在本质上不同于前人对物质发展的理解。在赫拉克利特等人看来，物质的发展是一物向他物的

变化，而这里则是具有一定质的微粒的存在以及它们的增加或减少即结合与分离了。与阿那克萨哥拉同时代的唯物主义的另一个代表人物恩培多克勒（Empedocles，约公元前495～前435）则试图概括人们有关物质的直观感性的观点。他在泰勒斯、阿那克西曼德和赫拉克利特各自提出的水、空气、火元素之外，又加上了数量较多的土，形成了四元素说。他认为一切物质的生灭都是由于这4种元素的相互作用。物质的多样性，是由于这4种元素以不同的比例混合所致。与前人不同的是，他也认为运动的原因不在于这些元素自身，而在于它们的外部。他用“爱”和“恨”表达同一种物质之间的吸引和不同物质间的排斥力，这些都代表了近代科学认识的先声：它们都表达了一种后来仍被经常使用的思想——一切事物都是由一定数量的基本元素组成的，而且“力”的概念的强调，对原因的探索考虑，说明认识的深入。

人们所跨出的从具体的感性的物质观到科学抽象的物质观的关键一步，是“原子”概念的提出，同时它也使元素学说更加简单化了。

古希腊原子论的奠基人留基伯（Leukippus，约公元前500～前400）最早提出了原子论的观点，他的学说最后由他的学生德谟克利特（Demokritos，约公元前460～前370）完成。他们认为，宇宙中所有的存在物都是由微粒——原子组成的。原子在质上是不可分割、不可入和同质的，但是这些微粒的形状却是无限多样的。有些原子是粗糙的，有的是光滑的，有的是圆形的，有的是有棱角的或钩形的。原子是永恒的存在物，它们既不能创造，也不会毁灭，在无限的“非存在”——虚空中的各个方向上运动着，其相互结合或分

离，以及排列的次序和位置的多样性，导致了事物存在形式的多样性。

古代关于物质的原子构成的天才猜测对于论证世界的物质性是一个重大的贡献。特别是作为始终一贯的原子论者，德谟克利特把非生物界和生物界的一切现象都解释为原子的结合过程，例如对苦、甜、冷、热等感觉以原子的形状如圆形、方形等进行说明；他甚至还试图把精神过程如思维、心理、感情等解释为是一些特殊的、光滑的、微小的和球形的原子的活动。尽管这些想法在我们今天看来显得很幼稚肤浅，但它却是古代贤哲在极度缺乏直接经验的情况下，仅仅通过思辩和依靠与人的周围空间上彼此很受限制的宏观物体的类比中得到的关于世界本源问题的回答，在很大的程度上带有感性直观和机械的性质，但它已经自发地达到了世界的物质统一性这样的唯物与辩证思维的高度，在反对唯心主义和宗教的斗争中，起到了显著的积极的作用。

德谟克利特之后的唯物主义者和原子论的卓越继承人是古希腊哲学家伊壁鸠鲁（Epikouros，公元前 341 ~ 前 270）他给留基伯和德谟克利特的原子论赋予了新的形式。在伊壁鸠鲁看来，重量是原子的最重要的特性，即“伊壁鸠鲁就已经赋予各种原子不仅有大小上和形态上的差异，而且在重量上也有差异，就是说，他早就已经按照自己的方式知道原子量和原子体积了。”^① 因而，他比德谟克利特更接近于现代的原子论。伊壁鸠鲁还坚持事物是独立于人的意识之外的客观

① 恩格斯：《自然辩证法》，于光远等译编，人民出版社 1984 年，P.47。

存在的唯物主义原理，坚持把感觉当作是客观世界的物体作用于我们的感官而引起的结果的唯物主义认识路线。这些在客观上都丰富和发展了古代原子论和唯物主义。而古罗马时代的唯物主义者和无神论者提图斯·卢克莱修·卡尔（Lucretius Carus，约公元前 99 ~ 前 55）则把留基伯、德谟克利特和伊壁鸠鲁的原子论观点系统化了，并试图用更多的例子来论证这些观点。他在哲学和自然科学史上的功绩还在于，古代原子论的思想主要是通过其诗篇《论物性》一直传到伽利略和牛顿时代的。这在漫长的黑暗的中世纪犹如宝贵的星星之火。对文艺复兴和近代唯物主义的发展，起到了承前启后的作用。

当然，古代人们对于事物存在的认识是不尽相同的，特别是原子论本身的局限性使人们对存在的解释并不十分满意，有关这方面的情况，我们后面还会谈到一些。但无论如何，古代思想家们已经凭借自己天才的直觉，提出了原子论的基本思想和观点，为原子论以后的发展奠定了基础。

2. 近代科学中的原子概念

在经历了伟大的文艺复兴时代之后，被中断了近 1000 年的古希腊自然哲学的优秀的科学传统冲破了宗教神学的束缚而大放异彩。它首先表现在唯物的自然观的复兴上。在这一历史过程中，古希腊思想家们关于世界存在本原的思考特别是原子论思想受到了人们的普遍重视而得到坚持和发展。例如文艺复兴时期伟大的思想家奥纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci，1452 ~ 1519）就是试图通过恢复原子论的权威以捍卫宇宙的物质统一性的。而唯物主义世界观的复苏，科学研究和传统的发展最终将导致宗教神学自然观的破

产。因为两者在根本上是对立的。这一点是显而易见的，如果宗教最初只允许为上帝的智慧证明的科学，其后便不再允许了。奥古斯丁（A. Augustinus, 354 ~ 430）就认为人只有根本不从事自然研究，才能更好地为信仰服务。

科学对宗教所取得的决定性胜利，由波兰天文学家哥白尼（Copernicus, 1473 ~ 1543）拉开了序幕。1543年，他的巨著《天体运行论》发表了，以日心说的创立，宣告自然科学从宗教神学的枷锁中挣脱出来了。之后这一学说经过德国的开普勒（Kepler, 1571 ~ 1630）、意大利的伽利略（G. Galilei, 1564 ~ 1642）等人的进一步论证和发展，取得了最终的胜利。从哥白尼的发现出发，自然科学就能排除天地之间的神秘主义的界限，从而把超自然的力量——神从它的隐匿处赶出去。这一点对于科学走出神学的阴影是至关重要的。

与这一时代潮流相适应，由英国哲学家培根（F. Bacon, 1561 ~ 1626）首倡的经验主义哲学应运而生了。他认为，知识来源于客观的外在的物质世界，检验知识的唯一正确的标准就是看它是否与人们的经验相一致，而不是脱离实际经验的某种权威如宗教。而伽利略把经验主义的原则最早贯彻在自己的科学研究之中。他把实验方法和数学方法结合起来，运用于对物体运动的研究，在许多方面取得了成功，并成为力学和近代科学方法的主要奠基人。

在这一时期，除了科学与宗教神学的关系的革命性变革之外，科学与哲学的关系也发生了巨大的变化。古代哲人对知识的追求是全面的穷根究底式的，他们试图回答有关世界的所有问题，这样形成的自然哲学实际上是包罗万象的。在

这样的情况下，实际上没有真正意义的自然科学，除了一些实用技术之外，只有一种形式的总的知识体系，那就是哲学。从伽利略开始，科学主要是物理学才从哲学母体中分离开来并走上了独立发展的道路，因而知识的发展也由一般的朴素的自然哲学过渡到对世界的个别领域的认识，并形成了以客观现实的某一相对窄小的领域的规律为研究对象的具体科学。这样的具体分析和研究对于经验材料相对集中和丰富之后，引导认识进一步深化是非常必要的。

上述这几方面的变化，对于唯物主义的世界观的进一步发展是很有意义的。

前面我们已经谈到，伽利略从定量的角度去研究物体及其运动。对物体结构与运动的思考，使他认识到自然界中一切现象的基础在于组成物质的元素或原子，物体状态变化的实质意味着在不破坏任何东西、也没有任何新的东西产生的情况下，组成物体的各部分的排列次序发生了变化。他还试图把他研究得出的力学规律应用于原子的运动。这实际上把原子论引上了新的发展阶段。而法国哲学家和科学家伽桑狄（P. Gassendi, 1592 ~ 1655）则给原子赋予了惯性质量与运动的性质，还试图依据伽利略与笛卡尔（R. Descartes, 1596 ~ 1650）的动力学原理说明这种粒子的运动，进而描述均匀空间中的物质运动。这样，原子不再完全是古代哲学思辩中的碰撞与旋涡运动的粒子，它已是机械力学中可以定量描述的粒子了。这种思想几乎被 50 年后的牛顿（I. Newton, 1642 ~ 1727）全面接受了。

使原子论真正成功进入物理学的是牛顿。他在伽利略关于地上物体的运动和开普勒关于天上物体的运动的研究的基

础上，创立了经典力学体系。作为一种公理化体系，经典力学首先是从基本概念的定义开始阐述。在这些概念之中，除了时间和空间，最重要的就是“质点”概念，它是牛顿力学的各种关系式得以展开的重要前提。但实际上，质点作为没有广延仅具质量的数学点，本是原子概念的进一步抽象。牛顿在他的里程碑式的著作《自然哲学的数学原理》中就明确表达了自己的原子论思想，他认为物质是由“结实、沉重、坚硬、不可入而易于运动”的原始粒子通过很强的吸引力相聚在一起的。^① 这一观点代表了牛顿看待物体乃至宇宙构成的根本态度。在牛顿看来，组成物体的质点即实际的原子还应该具有一种近距离作用的排斥力，这种排斥力在许多原子的相互作用中确立了“虚空”存在的正当性；除了排斥力之外，任何原子都应当具有一种远距离作用的吸引力，即重力或者万有引力。至于力的存在的原因，牛顿并未做太深的探索。这种大胆的假设，以牛顿力学在各个方面卓有成效的运用而为人们信服并接受。借助于这种“抽象”的理论，人们还可以十分容易地解释物体的硬度这样的问题：物体的自然状态，代表了原子之间的距离正好大到使排斥力和吸引力相等。假如人们想要压缩一个物体，那么由于粒子之距离的缩小使斥力增加，将受到方向相反的越来越大的阻力；反之，拉伸或破碎某个物体时将会受到增加的吸引力的阻碍。当然对这一假设的最好证明莫过于天文学上海王星的发现了。

由于经典力学的成功和牛顿本人在科学上所赢得的崇高

① 参见 H·S·塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海人民出版社，1974 年，PP. 200~213。