

21th

21世纪科技广场

万物之理

阎康年 著

广东人民出版社



万物之理

阎康年 著

广东人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

万物之理/阎康年著. —广州: 广东人民出版社, 2000. 10

(21 世纪科技广场)

ISBN 7-218-03240-0

I. ①万…②21…

II. 阎…

III. 物理学-普及读物

IV. O4

责任编辑	陈更新 周杰
封面设计	张竹媛
责任技编	孔洁贞
出版发行	广东人民出版社
经 销	广东新华发行集团股份有限公司
印 刷	广东省肇庆新华印刷有限公司
开 本	880 毫米×1230 毫米 1/32
印 张	9.75
插 页	2
字 数	190, 000 字
版 次	2000 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-218-03240-0/O·3
定 价	17.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与承印公司联系调换。




前 言

20 世纪的物理学一般又称为现代物理学，这是由近代和现代物理学革命的发生和发展决定的。

物理学在东方和西方都有长期的发展。在我国和西方的古代都曾出现过对自然界的物理现象进行零碎的和稍有系统的观察和推理，例如我国春秋战国时代的墨家学派，就写了《墨经》这本比较系统地分析力和光及物质组成的著作，堪称中国古代关于物理学方面的代表作。在古希腊，出现过哲学上的原子论学派和以太说学派，但是，最能代表西方古代物理学发展水平的当推亚里士多德（Aristotelēs，公元前 384—前 322）写的《物理学》，这是一本论述物体运动及其推力的著作，虽然现在看来有些看法是不妥当的，甚至有错误，但是在那么古老的年代写出这样一部著作，并首次定名为《物理学》是非常不容易的。

近代物理学是在欧洲文艺复兴运动和近代科学革命出现后，由意大利物理学家伽利略（Galileo Galilei，1564—1642）开始的，他在 1638 年出版了著名的《关于两种新科学的对话》，被普遍认为奠定了近代运动学和实验物理学的基础，有时他还被说成是近代科学的奠基人。1687 年，英国伟大的科学家牛顿（Isaac Newton，1643—1727）发表了《自然哲学的数学原理》，发现了万有引力定律和运动三定律，从而奠定了近代理论物理学和天体力学的基础，并且以他的划时代成就结束了从哥白尼（Nicolaus Copernicus，1473—1543）提出日心地动说的 1543 年开始的近代



科学革命。1895年，德国科学家 W. C. 伦琴（Wilhelm Conrad Röntgen, 1845—1923）发现的 X 射线及后来发现的放射性（1896）和电子（1897），并称为 19 世纪末三大发现，因此各学科的很多著名科学家一致认为，现代物理革命产生于 1895 年。由于物理学在 20 世纪是发展最快和影响最大的学科，所以人们又公认为现代科学革命产生于 1895 年。

由于这样的历史分期，本书将现代物理学的发展情况从 1895 年开始着重加以介绍和说明。由于现代物理学的内容十分丰富，涉及到物质的组成、相互作用、运动性质和规律，以及固体物理和凝聚态物理的机理，而物质组成方面的发现自始至终都处于基础和主导的地位，所以本书也遵循这样的发展线索，从物质组成的实验发现开始，并且以它为主线展开。既考虑到内容的科学性，又考虑发现与发展中的科学的故事性和趣味性，力争以简练通俗的语言，深入浅出地对现代物理学的知识和发展做必要的介绍和说明。

下面按物质的组成、运动、相互作用（力学）和固体物理的顺序分别展开，以便使读者有个清楚的了解。


我们知道，物质是以物体的形式存在的，无论是固体，还是液体和气体，都以粒子及其相互结合的形式存在的。科学界一般以分子和原子为界限，因为无机物的分子内只含有 1 个或几个原子，从尺寸的数量级来看属于同一数量级，所以我们日常看得见和摸得着的颗粒和物体可以称为宏观的物质，它们是由分子和原子组成的。仰望天空，人们看到的星体比宏观的物体大得多，称为天体，天体是位于宇宙空间中的，所以称之为宇观的物质，其中大的比地球要大几万至几亿倍。如果把一块物体粉碎，变成颗粒，颗粒再分割成为粉末，粉末再不断分割，直到人看不到、摸

不着却仍然实际上存在的东西。如果说天体的大小以万计的千米来衡量，则宏观物体的大小可以毫米、厘米和米来衡量，而尺寸小于分子和原子的物体则是以 10^{-6} 厘米以下的尺度来衡量，如原子的大小为 10^{-8} 厘米、原子核为 10^{-12} 厘米左右，这样小的尺寸是肉眼无法看到的，只能用高倍的电子显微镜才能观察到，所以，人们称之为微观的物质。用一个图来表示宇观的、宏观的和微观的物体之间在尺度上的关系，可如下图所示。

宇观物质	宏观物质	微观物质
天 体——	物体—颗粒—	分子—原子—基本粒子

物质不但以物体三态的形式存在，而且还以各种辐射、电磁波、场和能量的形态存在，所以要说明现代物理发展的状况，还必须扩展到这些过去被忽视的重要领域。为此，本书在比较系统地介绍了物质的各个组成层次的发现和发展之后，又转到能量的量子化、光量子 and 物质波等概念和理论，从而为进一步介绍量子力学作为现代物理学上具有根本革命性的理论体系做必要的准备。只有在说明了相对论的产生之后，本书才算对四大力学有个初步的交代，然后转入四种基本相互作用及其统一理论的发展现状。

按照传统的物理学，四大力学被看成主体。但是，在第二次世界大战之后，固体物理、凝聚态物理和低温物理有了飞速的发展，它们是微电子和光子技术的主要决定因素。信息革命又促使当代大多数物理学家从事这方面的研究和技术工作，因此有必要对低温超导电性、超流体和半导体物理等的产生和发展作初步的



介绍，并且介绍作为当代重大发明的晶体管和激光的发明情况，从而使读者对这些当代最活跃的领域有个初步的了解。最后，本书还特地补充了近两年来获得诺贝尔物理学奖项目的情况，这不仅是为了使读者对当前物理学的热点有所认识，而且还因为这两项重要发现都有华人做出的突出贡献，从而说明在世界民族之林中中华民族的智慧是卓越的，应当给予足够的评价，增强我国科技现代化的信心和勇气，只要有了良好的条件，我们完全能够为世界知识宝库做出堪与西方相比同样重要的贡献。

“科技是第一生产力”，说的是科学技术能够转化为生产力，科研成果只有通过相应的技术才能达到这个目的。贝尔实验室在近两年获得物理诺贝尔奖还表明，在应用的研发组织中，技术研究还可能导致技术的科学化，反过来推动基础科学的发展，所以基础科学和应用科学在实质上是统一的，那种只见分立而不见其统一性的看法是不妥的。在这方面，朱棣文教授和崔琦教授获得的诺贝尔奖应该使我们增长新的见识。

众所周知，物理学的内容广泛而高深，上至宇宙太空，下到物质之微末，研究的温度范围从绝对零度到上万度高温。既有一目了然的简单实验，又有十分高深的数学推理，在短短的小册子中全部说清讲透十分困难。卢瑟福说过，只有当你把一个理论讲得连女仆都懂得的时候你才算真正懂了，所以科普著作对广大读者和科学家同样重要。笔者尽力去做了，深感不易，将这本小册子献给读者，既是希望有助于读者从中了解现代物理学的状况，又是对笔者的督促和理解的检验，只望抛砖引玉，佳作不尽长江滚滚来。

阎康年



目 录

一 阴极射线——打开微观世界的钥匙	1
二 X射线——一种性质奇异的穿透性辐射	11
三 X射线的发现揭开了现代科学革命的序幕	24
四 电子的发现吹响了揭示原子世界的号角	32
五 α 、 β 和 γ 射线的发现及其意义	41
六 居里夫人和镭的发现	50
七 分子和原子是怎样被发现的	61
八 电子电荷的测定	71
九 卢瑟福与原子内微观结构的揭示	80
十 元素的人工转变是怎样实现的	87
十一 伯乐善识千里马的又一范例	95
十二 中子的发现与科学预见的作用	104
十三 加速器、研究的机器化和大科学时代	114
十四 慢中子核嬗变和核裂变反应	123
十五 中微子——从预言到发现的故事	133
十六 奇异原子的首次发现与张文裕教授	142
十七 狭义相对论产生的背景	151

十八 爱因斯坦与狭义相对论	159
十九 广义相对论的产生与检验	168
二十 普朗克与量子论的产生	179
二十一 光电效应与光子说	187
二十二 N. 玻尔与原子结构量子论	195
二十三 波粒二象性和物质波概念是怎样提出的	204
二十四 量子力学——一种新力学的产生	213
二十五 引力相互作用	221
二十六 电磁相互作用	228
二十七 弱相互作用与弱-电相互作用统一理论	237
二十八 强相互作用和“大统一相互作用理论”	244
二十九 超导电性的发现与超导体的发展	251
三十 液氦 II 的奇异特性和超流体的发现	259
三十一 半导体和 P、N 结概念	268
三十二 晶体管是怎样发明的	275
三十三 微波激射和激光的发明	284
三十四 捕获原子和分数电荷的发现	292
参考书目	300

一 阴极射线——打开 微观世界的钥匙

古代和近代科学发展的历史告诉我们，人类对自然的了解是首先从生产和生活中接触到的事物开始的，但是除去衣食住行之外人有着追求和了解宇宙万物变幻原因的求知本性。常见的土、石、木和用具是可以看得见和摸得着的，但是天空中的星辰、雷、雨和闪电及其给人带来的意外灾害，却使人既无能为力又企图了解它们产生的原因，而这些原因又是一环扣一环的，要用当时人的感觉去了解、去追查有着不可逾越的困难。因此，各种神话应运而生。那时的确有那么一些勤于思考和敢于探索的先哲们，他们根据自己多方面的观察和联想，认识到这些千奇百怪的事物及其变化归根结底应当由最根本的东西及其运动产生的。

到了公元前五六世纪，几个文明古国几乎都出现了这样两种看法，一种是认为万物都是由粒子组成的，因为一块泥土打碎后变成土块，土块再破碎成为颗粒，颗粒被磨细化成粉末，如果一次次地将粉末研碎，就会变成肉眼分不清的小粒子。于是，有的哲学家认为物质最终是由微小的不可分的粒子组成的，如公元前

四五世纪古希腊就出现了原子论学派，他们的代表人物是德谟克里特（Democritus，约公元前460—前370），这个学派认为物质不能无限分割下去，因为如果能无限分割下去就会变成什么都没有了，有会变成无，这是他们无法理解和接受的。另外还有一个学派，他们认为物质可以无限分割下去，一直分到有大小和形状的粒子不存在了，变成了充满一切空间的、连续分布的以太。人们看得见的物体和天体就分别是由原子或以太在旋涡运动中聚合而成。我国古代的墨家学派是主张有原子存在的，而元气说则主张有与以太相类似的元气存在，不过在我国原子论未能形成和发展，而元气说则从战国时代以后有了很大发展。我们可以说在中国元气说居于统治地位，而在西方则是原子论占绝对优势。

（一）从近代物质组成粒子说到阴极射线的发现

近代科学产生于欧洲，产生的原因是多方面的，但是原子论传统起了重要作用。在欧洲文艺复兴运动之后，出现了近代科学革命，在这次科学革命中起主要作用的绝大部分科学家，如伽利略、开普勒（Johannes Kepler，1571—1630）、波义耳（Robert Boyle，1627—1691）和牛顿（Isaac Newton，1643—1727）都主张原子论，只有笛卡儿（René Descartes，1596—1650）和惠更斯（Christiaan Huygens，1629—1695）等主张以太说。我们知道，牛顿以发现万有引力定律、运动三定律和微积分闻名于世，但是他为什么能发现这样重要的东西呢？原因之一在于他的物质组成思想是原子论。他认为物体是由一系列层次的各种大小的粒子组成，而其中最小的是原子，他又称之为最小的或终极粒子，甚至认为光也是由微粒组成的。牛顿在物质观念上的最大贡献，应该




说是将他的力学和运动理论运用到原子上，说原子间有引力和斥力作用、原子有惯性等，甚至为了使原子纳入他的力学体系的载体中，他把原子既看成没有大小和形状的点，又赋予它以质量和惯性，称之为质点，所以质点不过是原子的几何学抽象，或是几何点和力学上最小粒子两个概念相结合的产物，整个力学或理论物理学就建立在质点概念上。所以，牛顿将古代哲学上的原子论科学化了，化成为力学上的粒子和质点，因此牛顿的粒子说就是科学化了的原子论。

著名的化学原子论是英国化学家道尔顿（John Dalton，1766—1844）在1803年提出的，他就是采纳了牛顿的粒子说，并用到化学上。但是，他从化合和分解出发，认为各种元素各有自己最小的和不可变化的粒子，这就是元素的原子，然后又提出了元素的原子量概念。1811年，意大利化学家阿伏伽德罗（Amedeo Avogadro，1776—1856）提出了分子—原子说，也就是在道尔顿的化学原子之外又提出原子组成分子，分子才是构成物体的单位。这就是今天我们知道的原子和分子的来历。

历来的原子论都是以原子为物质的最小的或基本的组成单位，它们是没有内部组成的、不可分和不可变的，牛顿说得十分形象，他说：“连上帝也打不破原子。”


与原子是不可分和不可变的最小物质组成单位的看法不同，还不断有些科学家认为元素和原子应该由更基本的物质组成，因此元素及其原子应当是可以变化的或改变的。欧洲古代和近代出现的炼金术就是这样，炼金术士们试图将廉价的元素变成黄金，以便发财致富。尽管他们试验了上千年，却没有真正炼成黄金，可是他们追求元素可变的思想却并没有死亡。到了19世纪早期，法国有些著名科学家就仍认为原子不一定是最小的物质粒子，英





国著名科学家法拉第 (Michael Faraday, 1791—1867) 一生一直主张元素和原子应该能够分割, 有比它们更小的物质存在。例如, 他在 1818 年就提出比原子还基本的辐射物质, 1846 年他公开反对道尔顿的原子观点, 提出了原子由力心和力心周围的力线组成。1856 年, 他在伦敦皇家学院讲学时号召化学家去分解元素, 寻找组成的元素的物质。根据英国著名化学家克鲁克斯 (William Crookes, 1832—1919) 的回顾, 法拉第曾经向他说过, 要分解元素然后看看它们是由什么组成的。法拉第是一位被认为在牛顿之后科学成就最大的科学家, 他发明过电动机原理和发电机原理, 并且制作过第一个发电机模型, 他是电解定律和电磁感应的发现者, 还提出过离子 (带电荷的原子) 概念, 为电磁理论的发明做出过基础性的贡献。这样一位科学成就卓著和威望很高的科学家主张和提出分解元素和元素应该由更基本的物质组成的意见, 对克鲁克斯等一代年轻科学家自然有着很大的影响, 克鲁克斯不久后在阴极射线研究上发现了它由带电的粒子组成, 并且提出组成一切原子的更基本的物质存在和稀土元素由许多元素组成的预言, 与法拉第的提示和启迪有着重要的关系。

回顾人类在认识物质微观组成上的上述漫长发展过程, 可以使读者了解到那么多 19 世纪的科学家大力研究阴极射线的原因究竟为了什么? 可以了解在实验手段低下和科学理论水平不高的时期内, 人类对于看不到和摸不着却只能用推理和推测去分析物质组成而付出了 2 000 多年的不懈努力。仅仅从这个角度来看待从阴极射线的组成和性质的研究才揭开原子组成的奥秘, 以及打破原子不可分和不可变框架的束缚, 付出了多么艰巨的辛劳和努力。



大家知道，牛顿发现了万有引力定律、运动三定律，发明了微积分和提出了科学的粒子说，这些成就使他成为近代科学革命的完成者，奠定了近代科学理论的基础。他在科学史上的无比地位，不但使他的粒子说在英国占统治地位达二三百年，而且也使英国的科学家形成了以理论研究为最高尚而轻视实验和技术的倾向。但是，在法国和德国为了赶超英国的科学技术，从18世纪末以后逐渐兴起了重视实验和从实验出发做学问的潮流，特别是德国在1850年之后在实验研究上有很大发展，发现的东西也越来越多，研究的视野也由眼睛看得见的向看不到的细微物质扩展，如研究热辐射、红外线和阴极射线等，构成了科研的重要方面。

德国波恩大学有个仪器制造和吹玻璃管工盖斯勒（Heinrich Geissler, 1815—1879），他在1855年根据托里拆利管原理制造了一台真空泵，1858年他用这个泵将玻璃管抽成高度真空，他想看看如果在管中放上阴极和阳极，用电池通上电，管中很稀薄的气体通电后会产生什么反应。这个管就是以他的名字命名的“盖斯勒管”。在实验中他发现气体放电现象，在阴极和阳极之间出现了放电现象和光，但是作为一个工人他没有认真研究的能力和兴趣。可是当时的物理教授普吕克（Julius Plücker, 1801—1868）却注意到，这种辉光是由阴极放出来的，而且它随着磁场的力线走向，在阴极附近的玻璃管壁上产生了荧光，荧光因磁场强度大小而移动，但是，因为是新的现象，这位教授也没有认真研究下去，倒是他当时的助手希托夫（Johann Wilhelm Hittorf, 1824—

1914) 在 1869 年开始做了认真的实验和研究, 希托夫不但证实了磁场对于放电的辉光产生了影响, 而且对玻璃管本身发的荧光也有影响。为了搞清楚辉光的来历, 他特意把玻璃管做成带拐角的 L 形, 两端分别放上阴极和阳极, 结果他发现辉光是由阴极点上发出的, 并且是以直线方向射出的。由于当时知之甚少, 条件又有限, 他未能做出更深入的研究。当时德国科学家都信仰以太说, 他认为或许是电与稀有气体分子作用产生了以太才造成的。那时, 他万万没有想到他的实验却引起了英国化学家的注意, 结果却有了很大的进展, 并得到了重要的发现。

三

阴极射线是由小于原子的带电粒子构成的

克鲁克斯在听取了法拉第的意见后, 认真地思考着元素及其原子如果真的可以分解, 那么用什么办法去将它们分解呢? 分解之后会是什么物质呢? 虽然他相信这个看法有道理, 但是在当时要实现确是太难了, 何况他又是一个化学家, 对电、气体和物理实验知道得很少。他苦苦地思索着。有一天, 他从德国著名的杂志《物理和化学年鉴》的 1869 年第 1 期中看到希托夫发表的文章《论气体放电》, 对于文中放电使气体分子放出辉光发生了兴趣, 他想这种辉光是不是气体的分子或原子被电力击穿所放出来的? 如果是, 那么原子有可能被打破了而放出某种发光的物质, 这也许对于他探索法拉第分解元素及其原子的意见有所帮助。这一点曙光使他的眼光发亮了, 他经过几年考虑和学习电气知识与实验技术后, 从 1875 年开始动作起来。

克鲁克斯是英国著名的化学家, 他毕业于伦敦大学化学学院, 当过大学教师和创建与担任《化学新闻》杂志的编辑, 因为

发现元素铊而获得过诺贝尔化学奖。他是达尔文进化论的信仰者，并积极将它用于无机物和元素上，成为元素发生理论和原子由更小的物质组成的主要倡导者之一。他在 1913—1915 年担任过英国皇家学会的主席。他之所以能够如此闻名，原因是多方面的，但主要是发现了阴极射线由带电的微粒组成，这个发现导致 X 射线、放射性和电子的发现。

在得知普吕克和希托夫用盖斯勒真空管实验的结果，以及他们发现从阴极发出的辉光与磁场强度的关系之后，克鲁克斯将它们与法拉第提出的分解元素及其原子的想法联系起来，他想这或许可以提供一些新的证据。1875 年，他开始自己制作了带有阴极和阳极的真空管，在实验过程中他证实了普吕克和希托夫发现的现象。这位勤于思考和颇有实验才能的化学家，居然敢闯入当时只有实验物理学家才进入的领地，就着手深入了解真空管放电后究竟从阴极发射的东西是什么？它们的性质又如何？

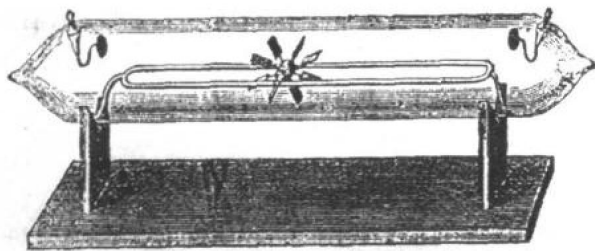


图 1 阴极射线使叶轮旋转实验

他制作了各种结构的真空管，有的像希托夫的 L 形，有的是直的，有的管中间做成大肚子并在其中放上小叶轮，有的在叶片一边涂上炭黑，还有的放在磁场中，看看它们会发生什么现象。在辉光通过的途径中放上小叶轮，为的是看看从阴极放出的物质

能不能将叶轮转动，如果转动了就说明放出的物质有质量，因而证明它们是微粒，而不是质量为零的以太，这在当时是十分重要的。因为德国科学家主张阴极射线是由以太组成的，如果是以太，就不可能导致电子的发现。叶片的一面涂黑，可检验阴

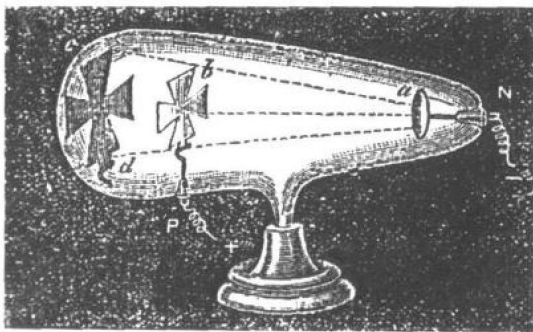


图2 阴极射线使叶片投影实验

极射线射上后能量是否被黑色吸收，吸收了就会生热而由温度计测出来。吸收能量的向一个方向旋转，而未涂黑的白面遇到阴极射线发生排斥作用而向另一个方向旋转，从这个实验可了解阴极射线带的能量。将上述实验的真空管放在磁场中，看看阴极射线

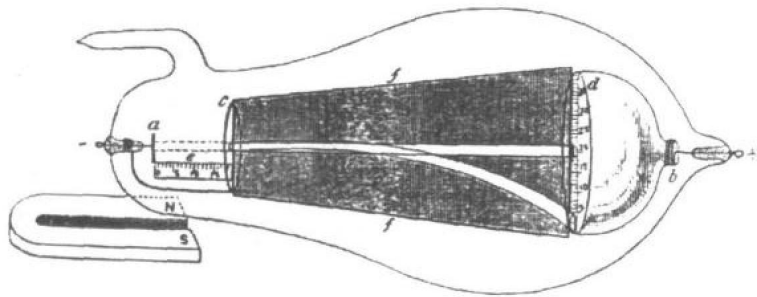


图3 阴极射线在磁场中径迹发生弯曲的实验

在进行过程中径迹是直线前进还是发生了弯曲？如果仍是直线