

科学图书馆 >>

我们世界中的物理

PHYSICS IN OUR WORLD

原子与材料

ATOMS AND MATERIALS

[美] 凯尔·柯克兰德 著 马博学 译



上海科学技术文献出版社

0562/13

2008

科学图书馆 >>

我们世界中
的物理

原子与材料

[美] 凯尔·柯克兰德 著
马博学 译

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

原子与材料 / (美)凯尔·柯克兰德著;马博学译.
—上海:上海科学技术文献出版社,2008.4
(我们世界中的物理)
ISBN 978-7-5439-3512-9

I. 原… II. ①凯…②马… III. ①原子—普及读物
②材料科学—普及读物 IV. 0562-49 TB3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 032242 号

Physics in Our World: Atoms And Materials

Copyright © 2007 by Kyle Kirkland

Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©
2008 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved
版权所有,翻印必究

图字:09-2008-207

责任编辑:于虹
封面设计:徐利

原子与材料

[美]凯尔·柯克兰德 著

马博学 译

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

江苏昆山市亭林彩印厂印刷

*

开本 740×970 1/16 印张 7 字数 124 000

2008年4月第1版 2008年4月第1次印刷

印数:1-5 000

ISBN 978-7-5439-3512-9

定价:16.00元

<http://www.sstlp.com>

前言

这本书是许多人认为物理学入门书。它是一本基础物理学教材，也是许多大学物理专业的基础教材。本书不仅介绍了物理学的基本概念，还介绍了物理学的发展历史。本书不仅是一本教科书，也是一本参考书。本书不仅是一本教科书，也是一本参考书。本书不仅是一本教科书，也是一本参考书。

谨以此书献给克雷·柯克兰德，
他一生致力于教学，让更多的人走进了这一领域。



内 容 简 介

也许有很多人认为物理既难学又无趣,但是当你翻开这套书就会发现,原来课本上学到的物理知识不仅仅是用来做题或应付考试的。生活中的方方面面都离不开物理原理。也许你还没有意识到,在学习了几年中学物理之后,你已经几乎能够解释生活中遇到的任何状况。《原子与材料》关注的是我们身边各式各样的材料。作者都通过大量生动翔实的例子,一一说明了组成材料的原子和不同材料的性质及应用。本书的独特之处在于作者将看似无关的原子弹、航天飞机、防弹背心甚至科幻小说中的“太空升降机”联系在一起,一步步系统地讲解了材料科学的相关知识。

前言

1945年,两枚核弹终结了第二次世界大战,这是对物理学威力的一次展示,让人惶恐而又令人信服。由世界上最杰出的一些科学头脑酝酿出的这次核爆炸摧毁了广岛和长崎这两座日本城市,迫使日本不得不无条件投降。应该说,物理学和物理学家的身影贯穿于第二次世界大战的始终,而原子弹只是最生动的一个例子。从那些用于炸坝的在水中跳跃前进的炸弹,到那些感应到船体出现便发生爆炸的水下鱼雷,第二次世界大战实际上也是一场科学的较量。

第二次世界大战让所有人,包括那些多疑的军事领导人相信,物理学是一门很重要的科学。然而,物理学的影响远远延伸到了战场之外,物理学原理几乎关系到世界的每个部分,触碰了人们生活的方方面面。飓风、闪电、汽车引擎、眼镜、摩天大厦、足球,甚至包括我们怎么走、怎么跑,所有这一切都要服从科学规律的安排。

在诸如核武器这样的话题或者有关宇宙起源的最新理论面前,物理学和我们日常生活的关系往往显得黯然失色。“我们世界中的物理”这套丛书的目标就是去探究物理学应用的各个方面,描述物理学如何影响科技、影响社会,如何帮助人们理解宇宙及其各个相互联系的组成部分的性质和行为。丛书覆盖了物理学的主要分支,包括如下主题:

- ◆ 力学与动力学
- ◆ 电学与磁学
- ◆ 时间与热力学
- ◆ 光与光学
- ◆ 原子与材料
- ◆ 粒子与宇宙

“我们世界中的物理”丛书的每一册都阐释了有关某个主题的基本概念,然后讨论了这些概念的多种应用。虽然物理学是数学类学科,但这套丛书主要聚焦于思想的表达,而数学知识并不是重点,书中只涉及一些简单的等式。读者并不需要具备专门的数学知识,当然,对于初等代数的理解在有些时候还是很有帮助的。实际上,每一册可

以讨论的话题的数量几乎是无限的,但我们只能选取其中的一部分。令人遗憾的是,不少有趣的东西就这样不得不被省略掉。然而,丛书的每一册都涉猎了非常广泛的材料。

我曾经参加过一个讨论会,会上一位年轻学生问教授们,是否需要备有最新版本的物理教科书。有一位教授回答说,不,因为物理学的原理“多年来一直没有改变”。这个说法大体上是对的,但这只是对物理学的效力的一个证明。物理学的另一个支撑来源于建立在这些原理之上的令人吃惊的诸多应用,这些应用仍在不断扩展和变化,其速度之快非同寻常。蒸汽机已经让位给了用在跑车和战斗机上的强大内燃机,而电话线也正在被光纤、卫星通讯和手机等取代。这套丛书的目标就是鼓励读者去发现物理学在各个方面、各个领域所起的作用,现在的、过去的以及不久的将来的……

鸣 谢

感谢我的老师,是他们尽了自己最大的努力来容忍我的没有素养。感谢乔治·格斯坦(George Gerstein)、拉里·帕姆(Larry Palmer)和斯坦利·斯密特(Stanley Schmidt)博士,是他们在我迷失方向的时候帮助我找到自己的路。我很感激乔迪·罗治(Jodie Rhodes)先生,是他帮助我发起了这个工程,感谢执行编辑弗兰克·达姆斯达(Frank K. Darmstadt)以及其他推动这项工程的编辑和制作人员,感谢许多为本书提供宝贵时间和见解的科学家、教育工作者和作家们。我尤其要感谢伊丽莎白·柯克兰德(Elizabeth Kirkland),她是一位有着非凡力量并能明智地运用这种力量的伟大母亲。

简介

喷气式飞机首次亮相于第二次世界大战(1939—1945)期间,距离美国莱特兄弟(Orville and Wilbur Wright)发明并试飞首架飞机有近 40 年时间。尽管喷气式发动机强劲而高效,却无法用于早期飞机,那些飞机不得不使用类似汽车发动机的活塞引擎来驱动缓慢而笨重的推进器。喷气机推迟问世并非由于知识的匮乏,工程师们早就知道喷射推进的原理,甚至已在自然界中找到可供研究的例子,比如通过喷水在海中横行的鱿鱼。长期以来困扰工程师的是缺乏可用于建造喷气机的材料。

古希腊智者德谟克利特(Democritus)提出,物质由微小颗粒组成。自此人们一直在思考这个问题:物质微粒之间如何相互作用并连接在一起。对物质相互作用的理解,使我们对自然界众多材料有了充分了解,并能制造出新的材料。以喷气式引擎为例,连续燃烧燃料使其在使用过程中温度极高,绝大多数材料都会被这种高温熔化,以致很长时期都无法制造喷气式引擎,直到科学家发现金属混合物可以承受极高温,才使制造喷气式引擎成为可能。这本《原子与材料》不仅是一本关于物质最基本的原子或者物质组成成分的书,也涉及材料在科技和社会生活中的应用。从粒子束到混凝土板,这些形形色色的材料由于各种原因显得十分重要。从小的方面看,医生用机器将细小微粒送入癌症患者体内,期待借此治愈病人;工程师释放出潜藏在原子核中的巨大能量获得电能,或是制造成前所未有的骇人武器。

从更大的方面看,物质存在的形式包括坚硬的固体、流动的液体、稀疏的气体及等离子体(plasma,一种由带电粒子构成的气体)。物质在这 4 种物态之间转换,每种物态都有重要作用。在室温下,氧气是一种用途繁多的气体,尤其是在燃烧和生命维持中不可或缺。可是要把氧气从一个地方搬运到另一个地方并不容易,稀疏的气体需要大量空间故而运输效率低下,一个节省运费的好办法就是将氧气冷却成更为致密的液体货物。

水作为生命最为重要的物质,相变更是必不可少。地球上存在液态水、固态冰雪和气态水蒸气。水的分布对一切生物体都是至关重要的,只有理解这种重要性,才能在保护自然生态的同时获取更多资源,例如如何合理地催化雨云实现人工降雨。

随着对物质了解的增进,材料也变得越来越丰富。金属最初用于制造刀剑、硬币,随后被用来制造飞机。20 世纪见证了若干新材料的诞生:从瓶子到汽车,可以胜任一切场合的塑料;强韧得可以制造防弹背心的纤维;集各组分优点于一体的复合材料。最引人注目的大概要算新材料在建筑业中的应用。木头和石块建造的老房子被钢筋骨架支撑的摩天大厦所取代。人们还计划建造一座 6.2 万英里(10 万千米)的高塔,卫星和宇航员可以通过这台太空升降机直达太空。与这一宏大设想相比,那些高耸入云的摩天大厦也成了“蚁丘”。

现在,太空升降机仍然只是一些工程师脑中的幻想。建造这种超级升降机需要强度高、质量轻的材料。和喷气式发动机迟于其他发动机问世一样,建造升降机的障碍也在于缺乏合适的材料。材料(或者说缺乏材料)是可以筑成何种建筑的决定因素。世界充满了各式材料,每种材料由几种基本元素组成。随着对物质本质理解的深入,更快速的引擎、更雄伟的高塔都将成为现实。

目 录

前言	1
鸣谢	1
简介	1
1 原子物理与分子物理	1
看见原子:扫描隧道显微镜	1
关于元素周期表	3
粒子束	4
原子成分	6
核能	9
分子力	13
纳米技术	16
神奇的旅程	19
2 物质的相	21
物质:原子的集合	21
相变	22
气体:前进,火箭	24
液体:保持车轮转动	26
固体:制造塑像	28
动力、电视、核聚变中的等离子体	29
3 水	32
生命最重要的分子	33
极性分子	34

爬上细管:毛细管作用.....	34
昆虫如何行走在水面之上	36
冰和雪	37
“播种”雨云,收获雨水.....	40
4 材料	43
刀剑、飞机、硬币——文明中的金属	43
测量材料强度	48
玻璃与陶瓷	52
塑料:长链分子.....	54
聚合	56
合成纤维	58
凯芙拉与防弹背心	60
复合材料	63
为航天飞机护航:耐热板.....	67
假体:人造肢体.....	69
未来的材料	70
5 建筑	75
古代“摩天大厦”	76
混凝土与钢	82
现代摩天大厦	85
太空升降机——未来之塔	90
结语.....	94
元素周期表.....	96
化学元素表.....	97
译者感言.....	98

原子物理与分子物理

科学家总是倾向于相信可以看见或体验到的事物。但是,在还没有人见到哪怕一个原子之前,科学家就已经确信它存在。

尽管不能直接看到原子,人们还是能从其他方面意识到它的存在。化合物由一些元素结合形成,物质从根源上说由微小粒子构成。英国化学家约翰·道尔顿(John Dalton, 1766—1844)以及其他研究物质的化学家、物理学家提出,每种基本化学元素对应一种特定粒子。看起来这些物质微粒是可能存在的最小物体,不可再分,故称其为原子(atoms),源自希腊语 atomos 一词,意为不可分的(中文“原子”一词即本原之意,相应的可以再分的称为分子)。

证实原子的确存在之后,仪器和检测手段的改进,使科学家很快发现了更多关于原子的知识,包括原子并非真的不可再分。物理带领人们在原子王国中进行奇妙旅行:原子是由更小的粒子构成的,这些粒子可以形成非常有用的粒子束;原子可以被劈开,同时释放出巨大能量,这些能量既用于创造,也用于毁灭。原子和分子的微观模型仍非彻底清楚,在人类的生产实践深入到微观物质领域后,微观模型的重要性日显突出,现在物理学家根据已有知识可以创作出原子的图像。

看见原子:扫描隧道显微镜

想在普通光线照明下看见一个物体,这个物体要么能够自己发光,要么能够反射其他发光物体发出的光线,除此之外别无他法。原子太小,不能发出足够光线,即使使用最强大的光学显微镜也无法聚集这些微弱的光。通常,原子的尺寸以纳米(nanometer,缩写为 nm)为单位,1 纳米是 1 米的 10 亿分之一。一个碳原子的直径约为 0.15

纳米,它是如此之小,一支铅笔的尖端就包含数百万个碳原子,尽管这么多原子聚在一起反射的光使我们可以看见铅笔尖端,但是我们仍然无法看到单个原子。原子据其核中含有的一类粒子的数量分类,这种粒子称为质子(proton)。每类原子为一种元素。更多关于元素的知识可以在知识窗“关于元素周期表”中找到。

有一种叫做扫描隧道显微镜(scanning tunneling microscope,简称 STM)的装置可以检测单个原子。STM不是光学显微镜,它有一个针状探针,这个探针极小,放置在几乎接触被研究物体表面的地方,如下图所示。探针的末端既小又尖,尖端只由一两个原子构成。探针可以导电,导电性是STM使用的重要部分。随着探针在物体表面移动,在探针上加一个小电压,电子即在物体表面和探针之间跳动。电子是带负电的粒子,是原子的组成部分。电子运动形成电流,不管是在铜线里(比如我们家里的电线)还是在探针与物体表面间都一样。这个电流的大小可以精确地测定。

既然探针和物体表面没有接触,电子又是如何跃过其中的空隙,在探针和物体表面之间跳动的呢?这个空隙相当小,10万个空隙加在一起才抵得上一张纸的厚度,即使如此,空隙仍是电子运动的障碍。当外加电压足够大时,电子被拉过空隙,形成瞬间电流火花,这和汽车中的火花塞加上2万伏高压的情况类似。可是这样做会损害脆弱样品,故STM中使用的电压很小,没有火花出现,这时仍有电子跃过空隙,这种反常现象称为“隧道效应”。研究微观粒子运动规律的物理学分支学科的量子力学可以解释这种效应。量子力学认为,电子没有确定位置,并且可以隧穿空隙,即有如借助隧道一般穿过本来无法穿过的空隙。这正是STM中的情况,探针从物体表面滑过,最终实现对全部表面的扫描。

隧穿电流大小对探针尖端与物体表面的距离极为敏感。理论上说,STM可以测量扫描过程中的电流变化,间接得到距离变化。实际应用中也可通过上下移动针尖保持电流大小不变,此时空隙大小也是恒定的,针尖移动距离对应于物体表面凹凸。针尖移动比电流变化容易测量。扫描并绘制物体表面,可以得到原子水平的细节特征。这种仪器十分灵敏,足以辨别出每一个原子。

表面是物体最重要的部分,一种固体材料与气体、液体或其他固体接触的地方是其表面,许多反应发生在这里。利用扫描隧道显微镜,物理学家可以研究物体表面以及这种表面是如何形成的,物体与其他物体反应过程中会发生哪些变化。这些知识对制造微型电路和微型芯片的电子工业来说(比如生产笔记本和手机)至关重要。第一台扫描隧道显微镜诞生于20世纪80年代初,两位主要发明者葛·宾尼(Gerd Binnig, 1947—)和海因里希·罗雷尔(Heinrich Rohrer, 1933—)也因此贡献分享了1986

知识窗

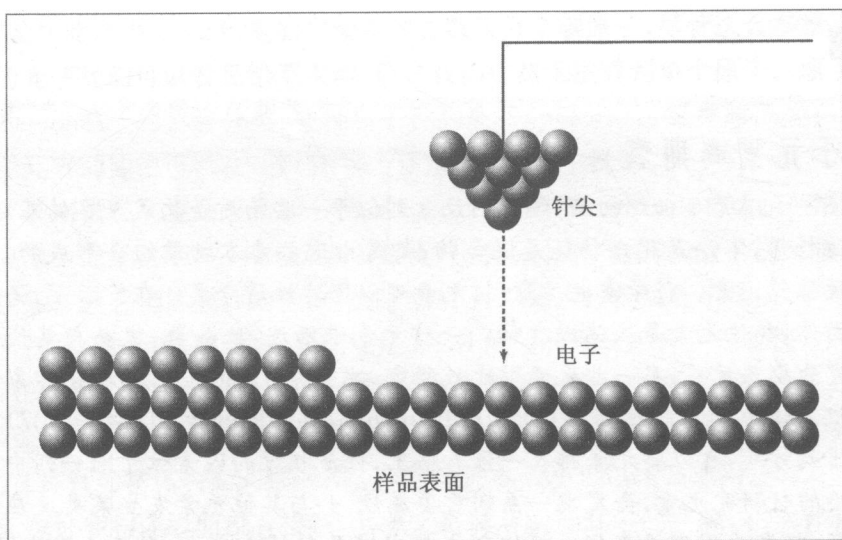
关于元素周期表

18 世纪末、19 世纪初,科学家们注意到似乎一些物质是构成世界的基础,所有其他物质,不论是化合物还是混合物,都是由这些基本物质组合形成的,这些物质被称作元素。科学家也注意到,元素可以据其性质分类。在室温下,一些元素是固体,其他元素是液体或气体。一些元素很活泼,比如氢,极易与其他化学物质发生剧烈反应,另一些元素则比较稳定,比如氮。1868 年,苏联化学家迪米特·伊万诺维奇·门捷列夫(Dmitri Ivanovich Mendeleev, 1834—1907)发现一种排列方式,可以将元素排入一张表格里,性质相近的因素位于同一列中。沿着表格的行研究元素,会发现一系列重要属性,如与其他元素发生某类反应的难易程度,将发生周期性变化。门捷列夫将当时已知的全部 62 种元素做成表格,这就是元素周期表(见附录“元素周期表”)。

构成世界的各种元素,从其他角度看似乎没有规律,在门捷列夫的元素周期表中它们找到了秩序。元素周期表也使门捷列夫可以做出重要预言。在表中有一些空格,门捷列夫指出,这些地方应该存在一些当时尚未发现的元素,其性质与相邻元素近似。事实证明门捷列夫是正确的,例如他预言存在的元素锗,于 1886 年被发现。

现在,元素周期表中的元素数目已经增至 116 个。其中 90 个是天然存在的,其余只能在实验室中或超新星中(在天体演化过程中,一些大质量恒星步入老年后,中心在巨大引力作用下向内收缩形成坚硬的核,外层物质在塌陷过程中被坚硬的核反弹引起爆炸,爆炸中的星体称为超新星)反应制得,且寿命极短。在门捷列夫的时代,科学家们认为原子是坚硬的、不可再分的球体,直到 20 世纪初叶,人们才意识到,从 1 号氢元素开始的原子序数,对应于原子内部一种被称为质子的粒子的数目。

门捷列夫的元素周期表是物质研究的一次飞跃,从中可以推测原子的诸多特征和性质。本书附录中列出了最新版本元素周期表(原子的寿命随着原子序数的增加而减少,因此尽管元素是周期性变化的,但元素数目并不会无限增加。近来已有科学家制造出含 118 个质子的第 118 号原子,但是尚未将其添加到元素周期表中)。尽管书中讨论的大部分章节内容与元素周期表没有直接关系,但是门捷列夫绝对是原子分子研究的先驱。



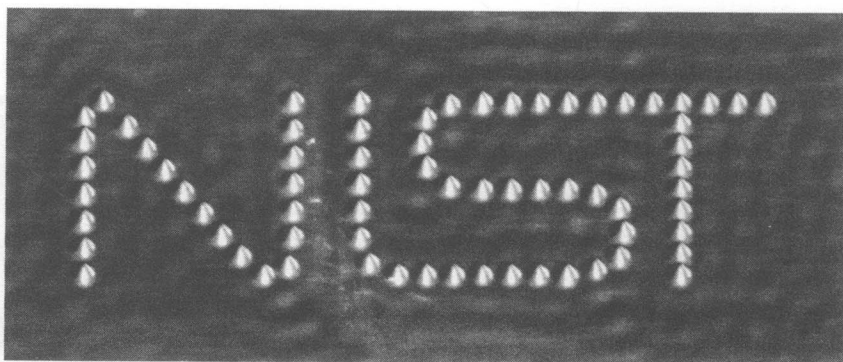
电子由扫描隧道显微镜探针针尖处的原子穿出进入样品表面原子。电流大小取决于距离,随着探针在材料表面移动,可以得到分辨率达原子水平的图像。

年的诺贝尔物理学奖。

扫描隧道不仅可以观察原子的位置,而且当探针非常靠近物体表面时,表面上的一个原子可能吸附到针尖的原子之上,这时,这个原子就会随着针尖在物体表面移动,撤回针尖时,原子又会脱离并回到物体表面。于是可以拖动一个原子到任何地方,搭建出精准的原子作品。一个物体往往由数以百万的原子构成,一个原子一个原子地搭建出来不是十分可行,但是可以使用这种方式建造一些极小的物体,事实上这已经实现。电子学的研究对象越来越微小,终有一天微型电路将需要一个原子一个原子地制造。此外,目前很多扫描隧道显微镜完成的原子作品都被视为艺术品,当然,欣赏这些艺术品需要借助扫描隧道显微镜的帮助。

粒子束

在最初原子及其成分影响社会的众多方式中,有一种方式至今仍十分重要。一个粒子太小,所能产生的影响也不大,一束粒子束是一串流动的粒子,故能产生极大影响。粒子束在发现原子成分的过程中发挥了巨大作用,并继续在今日的物理研究和工业生产中扮演着重要的角色。



美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)的科学家在铜表面重排钴原子,摆出研究院的首字母缩写,大小仅为0.000 001 6英寸(0.000 004 厘米)。

原子由3种粒子组成。在原子中心的是原子核,含有带正电荷的质子和不带电的中子,紧密的原子核外稀疏地包围着带负电的电子。原子中含有相同数量的电子和质子,每个电子和质子所带的电荷数相同,于是带负电的电子中和了质子所带的正电。在知识窗“原子成分”中有关于原子成分的更详细介绍。

电子束是物理学家最早研究的粒子束之一,目前广泛用于社会生活的各个方面。从焊接到生产微型电路都会用到电子束,但是众所周知的应用要属一种叫做阴极射线管(cathode-ray tube, CRT)的设备,几乎所有老式电视机和计算机显示器的核心部件都是阴极射线管,至今现代视频显示设备仍在继续使用这种元件。

在阴极射线管中,电子从阴极表面射出。阴极位于管子狭窄的末端,加热时发射电子。最初研究这一现象的物理学家并不知道阴极射出的是电子,于是称其为射线,并将这个发出射线的装置称为阴极射线管(汤姆生是第一个意识到这种射线是电子的人,详见知识窗“原子成分”)。

高电压能够加速阴极射出的电子,电压是两点间的电势差,会对两点间的带电荷产生力的作用。电荷有两种,带正电或带负电。电子带负电,被其他带负电的粒子排斥,被带正电的粒子吸引。正电压,比如说由大量正电荷产生的,会强烈吸引阴极发出的电子,在阴极射线管中,电子加速向屏幕移动,最终撞击到屏幕上。屏幕上覆盖着一层荧光物质,接受能量后会发光,电子撞击将能量传递到荧光物质上使其发光。要得到足够能量的电子束(电子速度足够大),需要1.5万伏甚至更高的电压,是手电筒电池的1万倍,电压如此之高,使得使用阴极射线管的电视机和显示器对那些粗心的修理工来说是相当危险的。