



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

热 学

第二版

李 椿 章立源 钱尚武 著
钱尚武 章立源 李 椿 修订



高等教育出版社



0551/12=2

2008

普通高等教育 十一五 国家级规划教材

热学

第二版

李 椿 章立源 钱尚武 著
钱尚武 章立源 李 椿 修订



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在李椿等编写的《热学》基础上,为了适应当前的教学需要,适当反映热学的一些新进展,在保持原书的主要特点和基本框架下,本着少而精的原则修订而成的,主要包括气体分子动理论、热力学和物性学这三部分内容。书中扼要叙述了热学中最基本的事实、概念、规律和重要应用,从现象和实验事实出发,由表及里形成物理图像,突出物理本质,确立物理规律。根据少而精和可接受性原则,使学生切实掌握基本内容并初步领会物理学研究方法。

本书可作为高等学校物理类专业的教材,其他相关专业视需要也可选为热学方面的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

热学/李椿,章立源,钱尚武著. —2版. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978 - 7 - 04 - 023914 - 0

I. 热… II. ①李…②章…③钱… III. 热学 - 高等学校 - 教材 IV. O551

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 056765 号

策划编辑 刘 伟 责任编辑 张海雁 封面设计 张志奇 责任绘图 尹文军
版式设计 余 杨 责任校对 朱惠芳 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京嘉实印刷有限公司

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787 × 960 1/16
印 张 19.5
字 数 360 000

版 次 1979 年 2 月第 1 版
2008 年 6 月第 2 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 22.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23914 - 00

第二版前言

本书第一版出版至今已历经三十春秋,这期间热学有一些新的进展,有必要在书中适当反映。恰逢本书的修订被列入了普通高等教育“十一五”国家级规划,我们本着少而精的原则,维持原书的基本框架和基本内容不变,对全书作了一些必要的修订和增删。对于在修订过程中提过宝贵意见的北京大学潘永祥研究员、兰州大学汪志诚教授和河南大学尹国盛教授,在此表示由衷的感谢。

编 者

2008年1月

第一版前言

本书是根据1977年高等学校理科物理教材会议草拟的《分子物理学和热力学》教材编写大纲编写的,在1978年经教材审稿会议定名为《热学》。编写时,考虑到各院校对这门课程的教学要求不尽相同,所以除编写大纲中规定的基本内容外,还适当地增加了部分参考材料,提供一些略为丰富和深入的知识。这些材料用小字排印、用星号(*)标明或写在附录中,供教学选用或参考。

本书绪论和第七至九章由钱尚武同志执笔;第五、六章由章立源同志执笔;第一至四章由李椿同志执笔,其中第四章§4由郭元恒同志执笔。在编写过程中,这三部分分别经甘子钊、黄韵和包科达同志审阅。本书部分思考题和习题由龚镇雄、陈仲生和李淑娴等同志提供。

本书由北京师范大学物理系主审,参加审稿会的还有武汉大学、云南大学、南开大学、山东大学、山西大学、吉林大学、新疆大学、中国科技大学、湘潭大学和西南师范学院物理系的同志。这些同志认真、细致地审阅了初稿,提出了许多宝贵的意见,编者对此表示感谢。

编 者

1978年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail:dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

绪论	1
§ 1. 热学研究的对象和方法	1
* § 2. 热学发展简述	2
第一章 温度	6
§ 1. 平衡态 状态参量	6
§ 2. 温度	8
§ 3. 气体的物态方程	16
附录 1-1 热力学第零定律与温度	26
附录 1-2 水的三相点管	28
第一章思考题	28
第一章习题	31
第二章 气体分子动理论的基本概念	37
§ 1. 物质的微观模型	37
§ 2. 理想气体的压强	40
§ 3. 温度的微观解释	44
§ 4. 分子力	47
§ 5. 范德瓦耳斯气体的压强	50
第二章思考题	53
第二章习题	54
第三章 气体分子热运动速率和能量的统计分布律	57
§ 1. 气体分子的速率分布律	57
§ 2. 用分子射线实验验证麦克斯韦速度分布律	67
§ 3. 玻耳兹曼分布律 重力场中微粒按高度的分布	71
§ 4. 能量按自由度均分定理	73
附录 3-1 积分表	81
附录 3-2 误差函数简表	81
第三章思考题	82
第三章习题	83
第四章 气体内的输运过程	87
§ 1. 气体分子的平均自由程	87

§ 2. 输运过程的宏观规律	91
§ 3. 输运过程的微观解释	94
附录 4-1 分子通过 dS 面前最后一次受碰处与 dS 间的平均距离	102
第四章思考题	102
第四章习题	104
第五章 热力学第一定律	107
§ 1. 热力学过程	107
§ 2. 功	108
§ 3. 热量	112
§ 4. 热力学第一定律	114
§ 5. 热容 焓	118
§ 6. 气体的内能 焦耳 - 汤姆孙实验	120
§ 7. 热力学第一定律对理想气体的应用	126
§ 8. 循环过程和卡诺循环	134
第五章思考题	141
第五章习题	143
第六章 热力学第二定律	151
§ 1. 热力学第二定律	151
§ 2. 热现象过程的不可逆性	154
§ 3. 热力学第二定律的统计意义	158
§ 4. 卡诺定理	161
§ 5. 热力学温标	163
§ 6. 应用卡诺定理的例子	165
* § 7. 熵	168
* § 8. 熵增加原理	176
* § 9. 熵与热力学概率	179
* § 10. 熵流与熵产生概念	183
附录 6-1 卡诺用热质说对卡诺定理的证明	185
附录 6-2 熵增加原理的证明	186
* 附录 6-3 绝对零度不能达到原理——热力学第三定律	188
* 附录 6-4 负热力学温度	190
第六章思考题	193
第六章习题	195
第七章 固体	201
§ 1. 晶体	201

§ 2. 晶体中粒子的结合力和结合能	209
§ 3. 晶体中粒子的热运动	219
* § 4. 晶体的范性形变和位错	229
第七章思考题	234
第七章习题	235
第八章 液体	237
§ 1. 液体的微观结构 液晶	237
§ 2. 液体的物态性质	240
§ 3. 液体的表面性质	244
第八章思考题	260
第八章习题	261
第九章 相变	263
§ 1. 单元系一级相变的普遍特征	263
§ 2. 气液相变	266
§ 3. 克拉珀龙方程	274
* § 4. 临界温度很低的气体的液化 低温的获得	278
§ 5. 范德瓦耳斯等温线 对比物态方程	281
§ 6. 固液相变	285
§ 7. 固气相变 三相图	288
* § 8. 同素异晶转变	291
第九章思考题	292
第九章习题	293
常用物理学常量表	296
物理量的单位	297
参考书目	299

绪 论

§ 1. 热学研究的对象和方法

热学是物理学的一个重要部分,是研究热现象的理论.

通常用温度来表示物体的冷热程度.当物体的温度发生变化时,物体的许多性质也将发生变化.例如,物体受热以后,温度升高,体积膨胀;水被加热到 100°C ,再继续加热,就变成水蒸气;软的钢件经过淬火(烧热后放入水中或油中迅速冷却),可提高硬度;硬的钢件经过退火(烧热后缓慢降温冷却),可以变软;……这些与温度有关的物理性质的变化,统称为热现象.由观察和实验总结出来的热现象规律,构成热现象的宏观理论,叫做热力学.微观理论则是从物质的微观结构出发,即从分子、原子的运动及它们之间的相互作用出发,去研究热现象的规律.热现象的微观理论叫做统计物理学.

从微观上看,热现象是组成物体的粒子(分子、原子)热运动的结果.热运动是宏观物体内部诸微观粒子一种永不停息的无规则运动,它是由大量的微观粒子(分子、原子、电子等)所构成的宏观物体的基本运动形式.就单个粒子来看,由于它受到其他粒子的复杂作用,其具体运动过程变化万端,具有很大的偶然性,但在总体上,运动却遵循确定的规律.以气体为例,就单个分子来看,由于它极频繁地与其他分子碰撞(例如,在 0°C 和一大气压下每秒约碰撞几十亿次),速度时大时小,其轨迹是一条无规则的复杂折线.但是,就总体来看,气体的温度越高,分子运动就越剧烈,平均平动动能就越大.而且,在一定的温度下,分子速度虽然有大有小,但在某一速度区间内分子数目占总数的百分比,却是确定的,并且由温度所决定.因此,虽然每一微观粒子的运动具有极大的偶然性,但在总体上却存在确定的规律性.正是这种特点,使热运动成为区别于其他运动形式的一种基本运动形式.

在各种实际变化过程中,热运动与机械的、电磁的等其他基本运动形式之间存在着极为广泛和深刻的内在联系.尤为重要的是,在实际过程中经常发生着各种运动形式之间的转化.如蒸汽机中,用加热的方法产生蒸汽,靠蒸汽膨胀对外做功而发生机械运动,从而实现了由热运动向机械运动的转化.又如在电灯中,电流通过灯丝使灯丝加热到炽热状态而发光,从而实现了由电磁运动向热运动,并进一步由热运动向光转化的双重转化过程.热运动和其他运动形式之间的相

互转化具有十分重大的理论和实际意义,是热学所研究的一部分基本内容。

虽然热力学和统计物理学的研究对象是一致的,都是热现象,也就是说,都是物体内部热运动的规律性以及热运动对物体性质的影响,但是研究方法却截然不同。热力学不涉及物质的微观结构,只是根据由观察和实验所总结出来的热力学定律,用严密的逻辑推理方法,研究宏观物体的热的性质。统计物理学则是从物质的微观结构出发,依据每个粒子所遵循的力学规律,用统计的方法研究宏观物体的热的性质。热力学和统计物理学,在对热现象的研究上,起到了相辅相成的作用。热力学对热现象给出普遍而可靠的结果,可以用来验证微观理论的正确性;统计物理学则可深入热现象的本质,使热力学的理论获得更深刻的意义,并可求出宏观测量的微观决定因素,从而为控制材料性质在理论上起指导作用。

气体分子动理论是统计物理学的一个方面,它从气体微观结构的一些简化模型出发,不仅可以研究气体的平衡态,而且可以研究气体中由不平衡态向平衡态的转变过程。本课程不全面讨论统计物理学,只限于讨论其中的分子动理论部分。

热力学与统计物理学的理论,曾有力地推动过产业革命,并在实践中获得广泛的应用。热机、制冷机的发展,化学、化工、冶金工业、气象学的研究,以及原子核反应堆的设计等,都与这些理论有极其密切的关系。

* §2. 热学发展简述

虽然人们在远古时代就用火,在古代还用火制造出陶器、铜器和铁器,在生产和生活上接触到许多热现象,但是,由于古代和中世纪的生产发展比较缓慢,积累的知识还不够丰富,因而,从远古到18世纪初这个时期,热学还不能作为一门系统的科学建立起来,人们对于热的本质只有一些不成熟的想法。在古希腊,对于热的本质曾产生过两种不同的看法。一种看法是毕达哥拉斯(Pythagoras,公元前584?—前497?)在大约公元前500年提出的四元素(土、水、火、气)学说,他把火当作自然界的一个独立的基本要素。这种学说与我国古代的五行学说很相似,五行学说认为万事万物的根本是五样东西,即水、火、木、金、土,称为五行。另一种看法认为火是一种运动的表现形式,这是根据摩擦生热的现象由古希腊的柏拉图(Plato,公元前427—前347)提出来的。

16—17世纪以后,欧洲的航海和对外贸易发展迅速,手工工场逐渐转化为机器工业,蒸汽机成了工业生产的主要动力。从此,热现象的探讨就不仅是哲学上的思考,更成为社会实践的需要。18世纪初,产生了计温学和量热学,为热现象的研究开拓了实验科学的途程。但是,热究竟是什么这个问题依然困扰着

人们。

持原子论观点的法国学者伽桑迪(P. Gassendi, 1592—1655)认为,冷热现象是“热原子”和“冷原子”这两种非常细小的、能够渗透到一切物体中的原子所造成的,从此开了“热质说”的思路。其后荷兰学者波尔哈夫(H. Boerhaave, 1668—1738)在实验中得出冷热不同的物体混合时热既不会增加也不会减少的结论,使他深信热质说的正确,他说的热质是一种非常细小的、没有质量的、可以穿越任何物体的、相互排斥的微粒。法国科学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 1743—1794)在研究燃烧现象时,虽然认识到火是物质氧化的一种表现,但他还是把热看作是自然界中的一种元素。热质说能够解释当时所知的大部分热现象,如:物体的温度变化是吸收或释出热质所引起的;热传导是热质在物体间的流动;热辐射是热质的向外散播;物体受热膨胀是热质相互排斥所致;摩擦或碰撞生热是潜藏的热质被挤压出来的缘故等等,因而令许多学者深信不疑。

正当热质说形成以至盛行之时,一些学者也有另外的想法。法国学者笛卡尔(R. Descartes, 1596—1650)从他的自然哲学出发猜想热是物质粒子的一种机械运动的表现。英国科学家玻意耳(R. Boyle, 1627—1691)看到铁钉被敲打时产生热,认为应当是敲打使铁钉内部物质激烈运动所致。英国物理学家胡克(R. Hooke, 1635—1703)提出热是物体内部物质的激烈运动的想法。俄国科学家罗蒙诺索夫(М. В. Ломоносов, 1711—1765)明确地提出了热是分子运动的表现的想法。不过这些都只属猜测,还不可能动摇热质说的根基,而后来的一些实验研究则令热质说难以自圆其说了。美国物理学家伦福德(C. Rumford, 原名 B. Thompson, 1753—1814)于1789年在英国皇家学会宣读了他的论文,他说他在兵工厂督导钻制大炮炮筒工作的时候,发现铜炮筒在钻了很短的时间后就会产生大量热,钻削下来的铜屑温度更高。依照热质说的观点,物体中的热质不会自行增加,而钻削所产生的热似乎是无穷无尽的。由此他断定这些热是由钻头与炮筒的激烈摩擦产生的。其后,1799年英国科学家戴维(H. Davy, 1778—1829)的实验更具说服力。他把两小块冰置于真空的玻璃容器内,利用钟表机械使它们相互摩擦,冰块很快就融化成水。真空容器已经阻隔了外界热质的传导,使冰块熔化的热源自机械运动。虽然伦福德和戴维的工作为许多学者所关注和认同,但热质说并没有就此终结。

19世纪以后,英国学者焦耳(J. P. Joule, 1818—1889)从1843年到1878年间做过400多次实验,用不同的方法测定了热功当量。他的工作得到学术界的承认走过了艰难的历程。1843年他首次发表实验结果时就遭到许多学者的怀疑,次年他在英国皇家学会上宣读论文的要求被拒绝,1847年他在英国科学促进协会宣读论文的要求再次被拒绝。1850年焦耳终于被吸收为英国皇家学会会员,表明他的成就直到此时才为较多的英国科学家接受。他的实验技术与测

量结果的可靠性在他持续不断的工作中使众多科学家信服。他的实验涉及电能、机械能和热能的转化,这就使能量守恒与转化定律即热力学第一定律建立在牢固的实验基础之上,机械能转化为热能有了定量的结果,成为定论。与焦耳不懈努力的同时,德国学者迈耶(J. R. Mayer, 1814—1878)和亥姆霍兹(H. von Helmholtz, 1821—1904)也为能量守恒与转化定律的建立做出了贡献。迈尔还是最早提出这个定律的学者,不过他们两人主要依靠的是推理,远不及焦耳的实验工作那样具有无可辩驳的说服力。

在焦耳奋力研究热功当量之前,着意研究热机效率的法国学者卡诺(S. Carnot, 1796—1832)在1824年发表的论文中从热质说的观点出发提出了卡诺定理,这是热力学第二定律的先导。值得一说的是,我们从1878年才发表的他的遗稿里知道,他生前也得出了机械能与热能转化的数值关系,不过此时热力学第一定律早已确立了。热力学第二定律的建立除了卡诺的贡献之外,更应归功于德国物理学家克劳修斯(R. Clausius, 1822—1888)和英国物理学家开尔文(Kelvin, 原名 W. Thomson, 1824—1907)的努力,1850—1851年间他们略有先后分别完成了这项工作。热力学第二定律所说明的是热过程的不可逆性,它在实用上的重要意义在于寻求可能获得的热机效率的最大值。

热力学两个基本定律建立之后,热力学的进一步发展主要在于把它们应用到各种具体问题中去,在应用中找到反映物质各种性质的热力学函数,其中直接反映热力学第二定律的是熵,这是克劳修斯提出来的,它所表征的事实是,一个绝热过程总是朝着熵增加的方向进行的。

虽然热力学定律的发现表明人们已经找到了热现象的一般规律,但关于热的本质还是没有公认的答案。后来,分子动理论有了飞速的进展,许多学者都为此做出贡献,其中最重要的是克劳修斯、英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)和奥地利物理学家玻耳兹曼(L. Boltzmann, 1844—1906),他们是分子动理论的主要奠基者。克劳修斯第一次清楚地说明统计的概念,以分子动理论的观点正确地导出了玻意耳定律,并首先引进分子运动自由程的概念。麦克斯韦是第一位认识到分子的速度不相同而得到速度分布律的学者。玻耳兹曼则最初在速度分布律中引进重力场,又给予熵以统计意义。这样,气体分子动理论就从一些定性的论据发展成定量的理论。在1870年以后的几年里,玻耳兹曼和麦克斯韦都提出了研究宏观平衡性质的概率统计法,为统计力学奠定了基础。19世纪末到20世纪初,美国物理学家吉布斯(J. W. Gibbs, 1839—1903)发表了一系列论文和著作,把玻耳兹曼和麦克斯韦所创立的统计方法加以推广,发展成为系统的理论即统计力学(也叫做统计物理学)。统计力学的理论是很普遍的,它适用于任何微观粒子的体系,对于固体、液体和气体都同样适用,从而普遍地解决了热学上很多与平衡态相关的问题。至此,人们知道热现象不过是分子运

动的宏观表现,热质说完全退出了历史舞台。

后来,人们将统计力学的理论应用到热辐射现象的研究,发现了微观领域的前所未知的规律性,即量子性。1900年德国物理学家普朗克(M. Planck, 1858—1947)从热辐射的规律中发现,振动的能量不能连续变化,它只能是一个最小单位的整数倍。能量的量子化正确地解释了气体比热容和固体比热容随温度变化的规律。随后的一系列研究证明,量子性是微观世界的普遍规律,终于在1926年发展成为量子力学。与此相应,统计物理学就由经典统计物理学发展成为量子统计物理学。量子统计物理学对固体、液体(统称为凝聚态)和等离子体中各种物理现象的研究起到了主导作用,像航空和航天技术所需要的高强度金属材料,原子能技术所需要的特殊材料等等,都逐渐由过去的盲目摸索状态走向在理论指导下有计划地研制的阶段了。

第一章 温 度

§ 1. 平衡态 状态参量

一、平衡态

前面说过,热力学和气体动理论研究的是由大量分子、原子组成的物体或物体系(在热力学中称为热力学系统)的热运动形式.具体地讲,一般归结为研究热力学系统的宏观状态及其变化规律.我们首先研究宏观状态的一种较重要的特殊情形——平衡态.

设有一封闭容器,用隔板分成 A 和 B 两部分, A 部贮有气体, B 部为真空(图 1-1).当把隔板抽去后, A 部的气体就会向 B 部运动.在这个过程中,气体内各处的状况是不均匀的,而且随时间改变,一直到最后达到各处均匀一致的状态为止.在这以后,如果没有外界影响,则容器中的气体将始终保持这一状态,不再发生宏观变化.

又如,当两个冷热程度不同的物体互相接触时,热的物体变冷,冷的物体变热,直到最后两物体达到各处冷热程度均匀一致的状态为止.这时,如果没有外界影响,则两物体将始终保持这一状态,不再发生宏观变化.

再如,将水装在开口的容器中,则水将不断蒸发.但如果把容器封闭(图 1-2),则经过一段时间,蒸发现象将停止,即水和蒸汽达到饱和状态.这时,如果没有外界影响,也不再发生宏观变化.

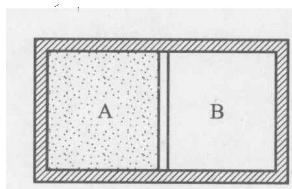


图 1-1

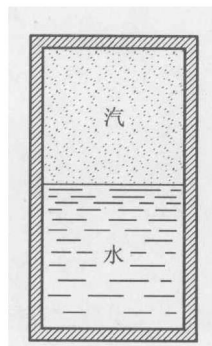


图 1-2

类似的现象还可举出许多. 从这类现象中可以总结出一条结论, 即处在没有外界影响条件下的热力学系统, 经过一定时间后, 将达到一个确定的状态, 而不再有任何宏观变化. 这种在不受外界影响的条件下, 宏观性质不随时间变化的状态叫做平衡态. 这里所说的没有外界影响, 是指外界对系统既不做功又不传热. 如果系统通过做功或传热的方式与外界交换能量, 则它就不可能达到并保持在平衡态.

当然, 在实际中并不存在完全不受外界影响, 而且宏观性质绝对保持不变的系统, 所以平衡态只是一个理想的概念, 它是在一定条件下对实际情况的概括和抽象. 以后将看到, 在许多实际问题中, 可以把实际状态近似地当作平衡态来处理.

应当指出, 平衡态是指系统的宏观性质不随时间变化. 从微观角度看, 在平衡态下, 组成系统的分子仍在不停地运动着, 只不过分子运动的平均效果不随时间改变, 而这种平均效果的不变在宏观上就表现为系统达到了平衡态. 因此, 热力学中的平衡是动态平衡, 通常特别把这种平衡叫做热动平衡.

二、状态参量

经验告诉我们, 系统处在平衡态时具有一些可以用确定的物理量来表征的属性. 这样, 我们就可以选择其中几个量作为描述系统状态的变量, 称之为状态参量. 下面举几个例子来说明怎样用状态参量描述系统的平衡态.

假设我们所研究的系统是贮在汽缸中的一定质量的化学纯的气体. 如果使气体的压强保持恒定, 并对气体加热, 则可发现气体的体积将膨胀. 反之, 若加热时使气体的体积保持不变, 则气体的压强就会增大. 由此可见, 气体的体积和压强是可以独立改变的, 所以需要用这两个参量才能完全描述系统的状态. 这两个参量属于两种不同的类型, 体积是几何参量, 压强是力学参量. 同样, 对于液体和各向同性固体, 也可以用体积和压强来描述它们的状态.

假设我们所研究的是混合气体(例如氧和氮的混合物), 则要对系统的状态作完全的描述, 除了上述的体积和压强外, 还需要用到反映系统化学成分的参量. 这是因为在一定的体积和压强下, 各种化学组分的含量不同, 系统仍处在不同的状态. 每种组分的含量可用它的质量或物质的量^①来表示. 这些量表征系统的化学成分, 是化学参量.

① 物质的量的单位叫摩尔(mol). 一物系中所包含的结构粒子数, 例如分子、原子、离子、电子或其他粒子与 $12 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 碳-12(^{12}C)的原子数相同, 则称该物质的量为1 mol. 例如, 已知氢的相对分子质量为2.02, 即 $2.02 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 氢所含的分子数与 $12 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ^{12}C 的原子数相同, 所以 $2.02 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 氢为1 mol; $4.04 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 氢为2 mol. 而 $2.02 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ 则称为氢的摩尔质量.

当有电磁现象出现时,除了上述三类参量外,还必须加上一些电磁参量,才能对系统的状态描述完全.例如,在研究电场中电介质的性质时,还需用电场强度和电极化强度来描述它的电状态;对于磁场中的磁介质,可用磁感应强度和磁化强度来描述它的磁状态.

总起来说,在一般情况下,我们需用几何参量、力学参量、化学参量和电磁参量等四类参量来描述热力学系统的平衡态.究竟用哪几个参量才能对系统的状态描述完全,是由系统本身的性质决定的.以后我们将结合实例具体说明.

§ 2. 温 度

上节中提到的四类参量都不是热学所特有的,它们都不能直接表征系统的冷热程度.因此,在热学中还必须引进一个新的物理量来担当这个任务,这个物理量就是温度.

在生活中,通常用温度来表示物体的冷热程度;热的物体温度高,冷的物体温度低.这对我们每个人都是很清楚的.但是要分析和解决实际中提出的各种热学问题,对温度的概念只有这种建立在主观感觉基础上的、定性的了解是不够的,还必须进一步为它建立起严格的、科学的定义.

一、热力学第零定律

假设有两个热力学系统,原来各处在一一定的平衡态,现使这两个系统互相接触,使它们之间能发生传热(这种接触叫做热接触).实验证明,一般说来,热接触后两个系统的状态都将发生变化,但经过一段时间后,两个系统的状态便不再变化,这反映出两个系统最后达到一个共同的平衡态.由于这种平衡态是两个系统在发生传热的条件下达到的,所以叫做热平衡.

一种特殊的情形是热接触后两个系统的状态都不发生变化,这说明两个系统在刚接触时就已达到了热平衡.根据这个事实,还可把热平衡的概念用于两个相互间不发生热接触的系统.这时是指,如果使这两个系统热接触,则它们在原来状态都不发生变化的情况下就可达到热平衡.

现在进一步取三个热力学系统 A、B、C 做实验.将 B 和 C 互相隔绝开,但使它们同时与 A 热接触,经过一段时间后, A 和 B 以及 A 和 C 都将达到热平衡.这时,如果再使 B 和 C 热接触,则可发现 B 和 C 的状态都不发生变化.这说明, B 和 C 也是处于热平衡的.由此可以得到结论:如果两个热力学系统中的每一个都与第三个热力学系统处于热平衡,则它们彼此也必定处于热平衡.这个结论通常叫做热平衡定律.

热平衡定律为建立温度概念提供了实验基础.这个定律反映出,处在同一热