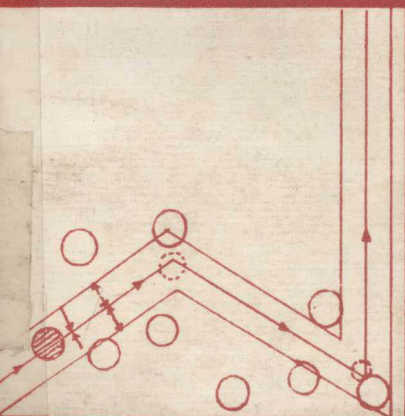


中学教师《专业合格证书》物理教材

热学



河南教育出版社

中学教师《专业合格证书》物理教材

热 学

王启玲 俞雪珍 编

河南教育出版社

中学教师《专业合格证书》物理教材

热 学

编 者

王启玲 俞雪珍

责任编辑

张 玉 林

河南教育出版社出版

河南第二新华印刷厂印刷

河南省新华书店发行

787×1092毫米 32开本 13.5印张 294千字

1987年10月 第1版 1987年10月 第1次印刷

印数 1—(45,040册)

ISBN7-5347-0066-3/O·5

统一书号 13356·6 定价2.65元

说 明

《中共中央关于教育体制改革的决定》提出：“要争取在五年或者更长一点的时间内使绝大多数教师能够胜任教学工作。在此之后，只有具备合格学历或有考核合格证书的，才能担任教师。”为了贯彻落实这一要求，国家教育委员会决定建立中小学教师考核合格证书制度，并于1986年9月颁发了《中小学教师考核合格证书试行办法》。根据该《试创办法》的规定，我们已经组织编写出版了中小学教师《专业合格证书》文化专业知识考试各科教学大纲。现在，我们又按照教学大纲的基本要求，组织编写出版这套教材，供中小学教师参加《专业合格证书》文化专业知识考试用。这套教材包括：中等师范11门课程、高等师范专科14个专业的48门课程、高等师范本科12个专业的40门课程，以及公共教育学、心理学课程用书。

这套教材的编写力求具有科学性、系统性和思想性，并努力体现以下原则和要求：要有鲜明的师范性，紧密联系中小学教学的实际；要符合成人进修的特点，便于教师自学、自检，要使大多数教师经过努力可能达到规定的要求。

考核合格证书制度刚刚试行，尚缺少经验，加之这套教材出版时间仓促，难免存在一些问题。我们准备继续在实践中探索和研究，争取用几年的时间，建设一套适合我国中小学在职教师进修的教材。希望全国师范教育工作者，尤其是

从事在职中小学教师培训工作的同志为此共同努力。

这套教材在编写、出版和发行工作中，得到了各省、自治区、直辖市教育行政部门，许多师范院校、教育学院、教师进修学校和师资培训中心，许多专家和教师，以及有关出版社和教材发行部门的大力支持和帮助，在此一并致谢。

国家教育委员会师范教育司

一九八七年六月一日

目 录

绪论	(1)
§ 1 热学的研究对象和方法	(1)
§ 2 热学发展史简介	(3)
第一章 温度	
§ 1—1 热力学系统的平衡态和状态参量	(7)
§ 1—2 温度和温标	(10)
※§ 1—3 常用温度计	(15)
§ 1—4 理想气体温标和热力学温标	(20)
§ 1—5 理想气体的状态方程	(23)
本章小结	(32)
思考题	(33)
习题	(36)
第二章 热力学第一定律	
§ 2—1 热力学过程	(41)
§ 2—2 功	(45)
§ 2—3 内能	(53)
§ 2—4 热量	(56)
§ 2—5 热力学第一定律	(59)
§ 2—6 理想气体的内能及热容量	(63)
§ 2—7 热力学第一定律对理想气体的应用	(73)

§ 2—8	理想气体的绝热过程	(86)
§ 2—9	理想气体的多方过程	(96)
§ 2—10	循环过程 卡诺循环	(105)
§ 2—11	技术上的循环	(113)
	本章小结	(119)
	思考题	(123)
	习题	(127)
※第三章 热力学第二定律		
§ 3—1	可逆过程与不可逆过程	(137)
§ 3—2	热力学第二定律	(139)
§ 3—3	卡诺定理	(145)
§ 3—4	热力学第二定律的统计意义	(153)
	本章小结	(156)
	思考题	(158)
	习题	(159)
第四章 气体分子运动论的基本概念		
§ 4—1	分子运动论的基本概念	(160)
§ 4—2	理想气体的压强公式及其统计意义	(164)
§ 4—3	温度的微观意义	(170)
§ 4—4	分子力 范德瓦尔斯方程	(173)
	本章小结	(183)
	思考题	(186)
	习题	(187)
第五章 气体分子运动的统计规律		
§ 5—1	统计初步知识	(189)
§ 5—2	麦克斯韦速率分布定律	(194)

§ 5—3	气体分子速率的实验测定	(211)
§ 5—4	能量按自由度均分定理	(217)
§ 5—5	理想气体热容量的经典理论	(231)
	本章小结	(237)
	思考题	(239)
	习题	(243)

第六章 气体内的输运过程

§ 6—1	分子的平均碰撞次数和平均自由程	(246)
※ § 6—2	粘滞现象的宏观规律及微观解释	(254)
※ § 6—3	热传导现象的宏观规律及微观解释	(261)
※ § 6—4	扩散现象的宏观规律及微观解释	(265)
	本章小结	(270)
	思考题	(273)
	习题	(274)

第七章 固体和液体

§ 7—1	晶体的宏观特征和微观结构	(276)
§ 7—2	晶体中粒子间的结合力和结合能	(286)
§ 7—3	晶体中粒子的热运动	(290)
§ 7—4	液体的微观结构和热学性质	(295)
※ § 7—5	液体的表面张力	(300)
※ § 7—6	弯曲液面下的附加压强	(307)
※ § 7—7	浸润和不浸润 毛细现象	(315)
	本章小结	(323)
	思考题	(326)
	习题	(328)

第八章 相变

§ 8-1	相和相变 单元系一级相变的特征	(330)
§ 8-2	液气相变 饱和蒸汽压	(333)
§ 8-3	湿度 露点	(343)
※ § 8-4	二氧化碳实验等温线 液气二相图	(349)
※ § 8-5	范德瓦尔斯等温线	(354)
※ § 8-6	克拉珀龙方程	(357)
§ 8-7	固液相变 固气相变 三相图	(362)
	本章小结	(369)
	思考题	(371)
	习题	(373)
热学实验		(375)
	前言	(375)
	实验一 用混合法测定固体的比热	(376)
	实验二 金属线胀系数的测定	(382)
	实验三 水的汽化热的测定	(387)
	实验四 沸点与压强的关系	(392)
	实验五 测定金属的导热系数	(398)
习题答案		(405)
本书附录		
	附录一 积分表	(413)
	附录二 常用物理量常数表	(414)
	附录三 本书主要物理量所采用的符号	(415)
	附录四 本书主要物理量的国际单位制(SI)名称和代号	(416)

附录五 本书用到的国际单位制外的单位·····	(417)
参考书目·····	(418)
后记·····	(419)

绪 论

§ 1 热学的研究对象和方法

在自然界的形形色色的物质运动中，许多都是与冷热变化有关的。没有冷热变化的世界是很难想象的。当物体的冷热程度发生变化时，其力学、电学等性质也要发生变化。热胀冷缩、蒸发、凝结、温差发电等这些与物体冷热程度有关的现象称为热现象。

从微观上看，热现象是与组成物体的大量微观粒子杂乱无序运动有关的。大量的微观粒子的无规则运动称为热运动。热现象是微观粒子热运动的宏观表现。在物理学中，把研究热现象及物质热运动规律的这部分内容，称为热学。它是物理学的一个重要组成部分。

由于微观粒子数量上的大量性（1摩尔物质中包含有 6.02×10^{23} 个分子）和运动的无规则性，使得粒子间有着极其频繁的碰撞（标准状态下的气体，每秒钟内将发生几十亿次的碰撞）。因而，单个粒子的状态是变化万千的。某一时刻它处于什么状态是完全偶然的。然而，大量分子整体，却有着确定的规律性——统计规律性。这就使得热运动具有其它运动所没有的特性。可是，热运动又不是孤立的，它与其它运动形态，如机械运动、电磁运动……之间存在着广泛而深刻的内在联系并相互转化。如电炉因通电而升温，是电磁

运动向热运动的转化；热机吸收热量而对外做功，是热运动向机械运动的转化。热运动和其它运动形式之间的转化规律有着重要的实际和理论意义。它是热学研究的基本内容之一。热学是以物质的热运动以及热运动与其它运动形态之间转化规律为研究对象的一门学科。

热学的研究方法，因其着眼点不同，可以分为宏观方法和微观方法。宏观方法是从宏观物体（由大量微观粒子组成的系统整体）的总体上来观察考虑问题的，不涉及物质的微观结构；微观方法则是从微观粒子（分子、原子等）的运动和相互作用为出发点来考虑问题的。前者形成热力学理论，而后者构成了统计物理学的理论。尽管它们都是以大量分子和原子所组成的宏观体系为研究对象，探求在宏观体系中所发生的与热现象相联系的规律的，但方法不同。

热力学是以实验定律为基础，用严密的逻辑推理的方法来研究宏观物体热性质的。因而，它具有高度的可靠性。在热力学理论中不涉及物质的微观结构，所以对一切物质都是普遍适用的。可靠性和普适性是热力学理论的优点。但是，它不能深入揭示热现象的本质，对于各种物质的特殊性质，热力学理论是无法解释的。然而，从人们认识客观世界的规律来看，总是先了解事物的外部联系，再认识事物的本质及内部联系。因而，热力学理论是研究物质运动规律的一个必经的阶段。

统计物理学的研究是从物质的微观结构出发，根据单个粒子所遵循的力学规律，用统计的方法来研究宏观物体的热性质的。它从微观状态与宏观状态的联系中揭示热现象的本质。它与热力学是相辅相成的。然而，由于物质微观结构的复杂性，微观理论只能以一定的简化模型为基础。所以，

它的结论是近似的。

分子运动论是统计物理学的一个组成部分。它从分子的简单模型及分子相互作用的规律出发，研究物质的气态、液态、固态的特性以及相变的规律。本书关于热现象微观理论的介绍仅限于分子运动论。

总之，热学是一门对象广泛、内容丰富的学科。热工工程、化学、化工、冶金、气象学、原子核反应堆等领域的研究、生产以及生活中大量与热现象有关问题的解决，都与热学理论密切相关。随着人们对物质结构的认识的逐步深入，热学理论必将越来越广泛地深入到热现象的各个领域以及其它科学技术领域中去。

§ 2 · 热学发展史简介

远在热学发展之前，人们在生产和生活中就接触到了许多热现象。但是，人们对有关热的本质的认识是极模糊的。中国古时候有一种五行说，认为万事万物的根本是金、木、水、火、土。这种学说最初见于书经《洪范篇》。传说它是箕子对周武王所说的话，时间大约是公元前1100年左右。五行说和古希腊的四元素（土、水、火、气）学说都把火当作自然界的一个独立的基本要素。另外，还有一种观点则把火看作物质运动的表现。中国古代的元气说，认为热（火）是物质元气聚散变化的表现。古希腊的柏拉图（Plato，公元前427—347）认为火和热本身就是摩擦和碰撞所引起的。

十七世纪以后，不少人提出热是一种特殊的运动。首先是英国的唯物主义哲学家培根（Francis Bacon，1561—1626）。他在归纳大量经验事实的基础上断言，热的实质就

是物质内部微粒的运动。这种观点影响了许多哲学家和自然科学家。玻意耳 (Robert Boyle, 1627—1691) 认为热是物体各部分发生的强烈而杂乱的运动；笛卡尔 (Dene Descartes, 1596—1650) 把热看作是物质粒子的一种旋转运动；胡克 (Robert Hooke, 1635—1703) 用显微镜观察了火花，提出热是一个物体的各个部分的非常活跃和极其猛烈的运动；牛顿 (Isaac Newton, 1642—1727) 也曾指出，物体的粒子因运动而发热。到了十八世纪四十年代，罗蒙诺索夫 (Ломоносов, 1711—1765) 在“论热与冷的原因”这篇论文中，断言热是分子运动的表现。

另一方面，随着测温学和量热学的建立，使热现象的研究走上了实验科学的道路。当时，为了深入研究物质的热的性质，有人对热的本质提出一定的假设，认为热是一种特殊的流质，叫做热质。它没有质量，不能凭空产生和消灭，可以进入一切物质，物体的冷热取决于所含热质的多少。这种学说虽然可以说明热传导和量热学的一些实验结果，但却解释不了摩擦生热现象。1798年和1799年伦福特 (Count Rumford, 1753—1814) 和戴维 (H. Davy, 1778—1829) 先后用金属钻削实验和两块冰摩擦融化的实验，对热质说进行了反驳。他认为热只能是一种运动。

也正是在这个时期，由于航海和海外贸易的巨大发展，钢铁和各种工业品需要的大大增加，促进了人们对于物质热性质的研究。焦耳 (James Presott Joule, 1818—1889) 前后用了20多年的时间，做了多种多样的实验，最后准确地测定了热功当量。他于1843年写了关于伽伐尼电流的热效应的论文，1845年又发表了用机械生热方法测定热功当量的结果，从而为能量守恒定律奠定了坚实的实验基础。

包括热现象在内的能量守恒和转换定律，就是热力学第一定律。它的建立凝聚了许多科学家的辛勤劳动。德国医生迈尔（Robert Von Mayer, 1814—1878），德国物理学家和生理学家亥姆霍兹（H·Helmholtz, 1821—1894）等人先后通过不同途径确立了热力学第一定律。这个定律明确指出：热不是一种物质，热量的传递和作功都是能量转换的过程。机械功必须由能量的转变来获取。要想制造一种不供给能量，而能不断作功，或者少供给能量而多作功的永动机是不可能的。这个定律在物理学各个部门中的广泛应用，推进了整个物理学的发展。

最早得出热功当量的，实际上是法国工程师卡诺（Sadi Carnot, 1796—1832）。但是，他的论文直到1878年才被作为遗著发表。卡诺不仅测定了热功当量，还研究了理想热机的效率问题，提出了卡诺定理。由于当时他受到错误的热质说的影响，他的理论是用热质说证明的，因而，没有获得应有的重视。以后，德国物理学家克劳休斯（R·E·Clausius, 1822—1888）和英国物理学家开尔文（Kelvin即W·Thomson, 1824—1907）在卡诺工作的基础上，各自独立地提出了热力学第二定律。热力学第二定律是有关热现象的另一条普遍规律。它的基本内容是：与热现象有关的宏观过程都是不可逆的。这两条定律构成了整个热力学的基础。

人们对于热的本质认识的不断完善，也促进了分子运动论的飞跃发展。许多学者先后在分子运动论方面作了大量的工作，除了前面曾提到的培根、玻意耳、笛卡尔、胡克和罗蒙诺索夫之外，还有植物学家布朗（Robert Brown 1773—1858）。他为分子运动论奠定了实验基础。1827年，他在显微镜下观察到了悬浮在液体中的花粉的持续无规则的运动。

1904、1905年斯莫卢霍夫斯基(Smoluchowski, 1872—1917)和爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)提出和完成了关于布朗运动的统计理论。它明确指出,布朗运动是由于粒子受到液体分子碰撞的不平衡而引起的。它为热现象的分子运动理论提供了无可辩驳的实验根据。克劳休斯运用统计方法导出了气体压强和分子的平均平动动能成正比,而分子的平均平动动能又正比于绝对温度等。在此基础上麦克斯韦(James Clerk Maxwell, 1831—1879)最先得到了分子速度分布律;玻耳兹曼(Ludwig Boltzmann 1844—1906)进一步在速度分布律中引进重力场。这些工作使气体分子运动理论从定性研究发展成为系统的定量的研究。

从以上叙述的热学发展简史中可以看出,热学的发展是同生产和科学技术的发展紧密相关而又互相促进的。热学既是一门古老的科学,又是一门至今仍充满生命活力的科学。在这个领域内,还有大量尚待解决的问题。许多与之相关的新理论和分支学科正在不断地形成和发展。因此,它不但是是一门很有用处的学科,也是一门大有发展前途的科学。

第一章 温 度

本章首先介绍热力学系统及平衡态的概念；进而根据热力学第零定律（热平衡的互通性原理）定义温度；接着介绍温标的制定及理想气体温标；最后，较详细地讨论理想气体状态方程及其应用。

§ 1—1 热力学系统的平衡态 和状态参量

在绪论中曾经指出，热学是研究热现象的理论。其中，热力学部分是以实验定律为基础，研究物质的状态及其状态发生变化的过程中，有关宏观量之间关系的理论。热力学所研究的对象称为“热力学系统”。它们是由大量的、不断作无规则运动的分子所组成的宏观物体。热力学系统可以是气体、液体、固体，也可以是辐射场。在系统外部与系统状态及其变化直接有关的物体，被称为“外界”。这里应该注意的是，热力学系统是随研究的对象而定的。例如，在一个容器中（见图1—1），下部是水，上部是水蒸汽。当我们研究下部水的

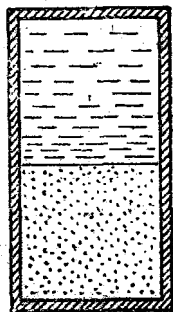


图1—1