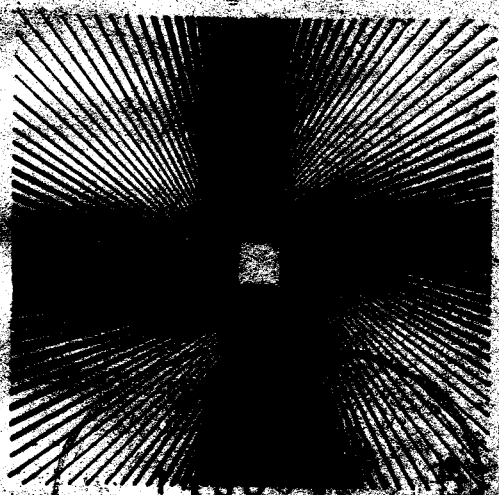


大学物理自学丛书

热学与分子物理



四川教育出版社

一九八七年·成都

责任编辑：陈卫平

封面设计：何一兵

版面设计：王 凌

热学与分子物理

曾远文 刘心绪 编著

四川教育出版社出版

（成都盐道街三号）

四川省新华书店发行

成都银河印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张12.375 插页4 字数260千

1987年8月第一版

1987年8月第一次印刷

印数：1—1,020册

ISBN7—5408—0017—8/G·18

书号：7344·768

定价：2.52元

序 言

《大学物理自学丛书》是根据全国自学考试普通物理教学大纲编写的，可作为参加高等教育普通物理自学考试的广大青年的学习参考书。它有无师自通的特点。有的分册曾作为川大的夜大学讲义使用过。

本丛书共八册，依次为：《力学》、《热学与分子物理（包括题解）》、《电磁学》、《光学（包括题解）》、《原子物理（包括题解）》、《微积分基础（包括习题及答案）》、《力学题解》、《电磁学题解》。凡具备高中文化程度的青年。只要认真阅读本丛书，并完成一定数量的作业，就能达到理科物理专业对普通物理的基本要求，获得通过普通物理单科考试的能力。

担任编写工作的同志，都是川大主讲有关课程多年，富有教学经验的教师。

本丛书有以下几个特点：

第一、内容简练。本丛书突出基本概念、基本理论、基本技能，以学以致用为原则。其行文简明准确，深入浅出，从中学物理起步，将大学普通物理的主要部分讲得详细透彻；并注意介绍最新成就，凡属可讲可不讲的内容，一般不选入。

第二、自带工具。物理分册的思考题、习题都有解答；所需的数学知识，都在《微积分基础》一书中讲到，读者无需它求。《微积分基础》例题多、实用性强，可收事半功倍

的效果。因其是按数学系统编写的，先后次序不可能与物理的需要一致，故读者应根据各人的具体情况进行阅读。

第三、例题精解。为了培养读者的解题能力，本丛书所选例题较多，对求解某些典型问题的方法和步骤，作了原则性的概括，以便使读者有法可循。

第四、便于自学。本丛书全部采用国际单位制（SI制）。每分册中附有常用单位的国际符号对照表，以便检索。在结构上，每章均按前言、正文、小结、思考题安排。前言中扼要指出学习该章的目的和要求，便于自学后进行总结和检查。

尽管编写小组的同志在主观上作了很大努力，但限于业务水平和时间关系，缺点和错误在所难免，恳切欢迎读者批评指正，以便得到改进。

郭 士 堃

一九八五年于四川大学物理系

101/35/14

致 读 者

物质的热运动是物质的一种基本运动形式。它是物理学所研究的重要内容之一。热力学和分子物理学就是分别从宏观上和微观上研究热运动规律的学科。两者相辅相存、互为补充，以求达到更深入地了解热运动的规律。本书共有七章，第一、第二和第三章主要是以实验事实为依据，讲述热现象普遍适用的热力学宏观规律及其应用；第四章讲述气体分子运动的理论，从微观上说明热力学宏观量和宏观规律的实质；从第五章开始是宏观理论与微观理论相结合，进一步讨论若干热现象的规律。

在编写时，我们力求做到对基本概念和基本规律的阐述简明易懂，便于自学，便于应用。为了使读者在学习时能明确重点。我们在每章的前言中扼要指出了学习该章的目的和要求，章末均有小结，为了使读者能掌握所学的主要内容，并能提高运用基本概念和基本原理来分析问题和解决问题的能力，本书选编了例题45个，思考题75个，习题130个。书中思考题和习题均附有解答，以供自学时作自我检查的参考。

本书中核心的内容是第二、第三和第四章，因此自学者阅读本书时，第一章内容可以略读，着重在于了解主要结论。对第二、第三和第四章要仔细阅读，正确理解基本概念，掌握主要结论，学会分析处理问题的基本方法，完成该部分内容的思考题和习题。在这个基础上，就能比较容易地

学好第四章以后的内容。在第三章中有关熵的内容，在自学考试大纲里未作要求，但我们考虑到熵内容的重要性并为学有余力的同志提供必要的资料，因而仍把它编入了本书作为选读的内容（书中打星号*处）。

本书可供具备高中文化程度的同志自学，也可作为师范、工科类院校的教师和学生的参考书。

本书的第一、第二、第三章由刘心绪编写，第四、第五、第六和第七章由曾远文编写。编写中参阅了李椿等《热学》，曹萱龄等《物理学》（上册），F.W.Sears等《大学物理学》（第一册），天津物理学会·南开大学物理系《普通物理习题解》，尤·符·霍夫曼《物理学定律、公式、题解》（上册），B.L.Dhar, et al. PROBLEMS IN PHYSICS (1980) 等编著，我们对这些书的编著者谨致谢意。

由于编者业务水平有限，书中不妥和错误在所难免，请读者批评指正。

曾远文 刘心绪

一九八五年

目 录

第一章 温度与热量	(1)
§1·1 热平衡与温度	(2)
1.热力学系统 2.状态参量 平衡态 3.温度	
§1·2 温标	(8)
1.测温三要素 2.摄氏温标 3.理想气体温标	
§1·3 状态方程	(13)
1.什么是状态方程 2.如何确定状态方程	
3.理想气体方程 4.混合理想气体方程	
5.非理想气体的范氏方程	
§1·4 热量与热容量	(25)
1.热量 2.热容量	
§1·5 热的传递方式	(30)
1.传导 2.对流 3.辐射	
小结	(41)
思考题	(42)
第二章 热力学第一定律 内能	(44)
§2·1 准静态过程 功	(45)
1.准静态过程 2.功	
§2·2 内能 热力学第一定律	(55)
1.内能 2.热力学第一定律	
§2·3 理想气体的内能和焓	(59)
1.焦耳实验 2.定容与定压热容量	
3.理想气体的内能和焓	

§2·4	理想气体的几种热力学过程	(65)
	1. 等容过程 2. 等压过程 3. 等温过程	
	4. 绝热过程 5. 多方过程	
§2·5	循环过程 卡诺循环的效率	(77)
	1. 循环过程及其效率 2. 卡诺循环的效率	
	3. 几种实用循环	
小结		(91)
思想题		(92)
第三章	热力学第二定律 熵	(95)
§3·1	热力学第二定律	(96)
	1. 第二类永动机的设想 2. 第二定律的表述	
	3. 两种表述等价的证明	
§3·2	可逆与不可逆过程	(101)
	1. 可逆过程 2. 不可逆过程 3. 两种过程的相关性	
§3·3	卡诺定理	(105)
	1. 表述 2. 证明	
§3·4	卡诺定理的应用	(109)
	1. 热力学温标 2. 表面张力与表面能	
* §3·5	熵	(116)
	1. 熵的定义 2. 熵的计算	
* §3·6	理想气体的熵	(124)
* §3·7	温熵图	(126)
* §3·8	熵增加原理	(130)
小结		(131)
思考题		(133)
第四章	气体分子运动论基础	(136)

§4.1	统计方法的一些基本知识	(137)
§4.2	理想气体分子运动论的基本方程	(140)
	1.理想气体分子运动的模型	
	2.理想气体的压强公式 3.温度的实质	
§4.3	能量按自由度均分原理及应用	(147)
	1.自由度 2.能量按自由度均分原理	
	3.理想气体的内能 4.理想气体的热容量	
§4.4	玻尔兹曼分布律及应用	(155)
	1.统计分布和统计平衡的概念 2.玻尔兹曼分布律	
	3.重力场中气体分子按高度的分布	
§4.5	麦克斯韦速率分布律及应用	(159)
	1.速率分布函数 2.麦克斯韦速率分布律	
	3.麦克斯韦速率分布律的应用	
	4.麦克斯韦速率分布律的另一形式	
§4.6	气体分子的平均碰撞频率和分子的平均自由程	(167)
	小结	(171)
	思考题	(173)
第五章	真实气体	(175)
§5.1	分子力	(176)
§5.2	范德瓦耳斯方程	(179)
	1.分子体积所引起的修正	
	2.分子间引力所引起的修正	
§5.3	范德瓦耳斯方程的等温线	(184)
§5.4	物质的临界状态和参量	(187)
§5.5	真实气体的内能	(190)

§5.6 焦耳——汤姆孙效应	(194)
1. 焦耳——汤姆孙实验 2. 焦—汤效应的理论	
小结	(199)
思考题	(200)
第六章 输运过程	(201)
§6.1 热传导的宏观规律	(202)
1. 温度梯度 2. 热传导的付里叶定律	
3. 热传导的微分方程	
§6.2 粘滞性的宏观规律	(208)
1. 牛顿粘滞定律 2. 粘滞现象是动量输送	
3. 气体粘滞系数的测定	
§6.3 扩散的宏观规律	(212)
1. 气体中物质的扩散 2. 液体和固体中的物质扩散	
§6.4 气体输运过程的分子运动理论	(215)
1. 宏观规律的分子运动理论推导 2. κ , η 和 D 以	
及它们间的关系	
小结	(221)
思考题	(222)
第七章 固体和液体	(223)
§7.1 物质的五态	(224)
§7.2 固体	(225)
1. 晶体和非晶体 2. 晶体弹性的微观解释	
3. 晶体的粒子运动和热容量	
§7.3 液体和液晶	(233)
1. 液体的结构和分子的运动 2. 液晶	
§7.4 液体的表面张力	(235)

1. 表面张力和表面张力系数	2. 液体的表面能	
§7.5	弯曲液面的附加压强——拉普拉斯公式	…(240)
§7.6	液体与固体接触处的表面现象	……………(247)
1. 润湿现象	2. 毛细现象	
§7.7	相变和克拉珀龙方程	……………(253)
1. 相变	2. 克拉珀龙方程的导出	
3. 克拉珀龙方程的应用		
§7.8	物质的三相图和三相点	……………(258)
小结		……………(261)
思考题		……………(264)
思考题解答		……………(264)
习题		……………(281)
习题解答		……………(303)
附录		……………(382)
I	几个物理常数	
II	本书中物理量的中文单位和国际符号	

第一章 温度与热量

本章将以热学中两个非常重要的基本量—温度和热量为核心，介绍有关的实验规律及概念。这些规律和概念是学习全书的基础，一定要从开始就认真理解，多做练习。不能因为对某些概念已经有了一些感性认识就不注意从科学上去理解它。在§1.1中介绍热力学研究什么样的物质系统，一个系统的热力学状态怎样描写以及平衡态和绝热等概念。接着讲述一个被称为热平衡定律（又称为热力学第零定律）的实验定律。在此定律的基础上引进温度的概念，使温度这个大家十分熟悉的量有了一个坚实的物理基础。§1.2讲述测量温度的方法和怎样建立理想气体温标。这里没有介绍各种实用温度计，这些内容可在以实验为主的教材中查阅。§1.3讲述了什么是状态方程，介绍了几种简单物质系统的状态方程，并用例子说明了它们的应用。§1.4从外界影响系统状态的两种方式引入了传热的概念，由一定的热与一定的功相当的实验事实引进了热量及其量度，进而介绍了热容量的概念。§1.5介绍热传递三种方式的基本规律及其应用。

学完本章；要求读者达到以下要求：

- (1) 懂得热力学系统、状态参量、平衡态等基本概念。
- (2) 懂得温度概念的物质基础及什么是理想气体温标。
- (3) 掌握几种常见的状态方程及其应用，能够计算有关问题。

(4) 正确理解热量的概念,了解三种传热方式的特点,掌握传导及辐射的两个实验规律,能进行简单的计算。

§ 1.1 热平衡与温度

在本节我们将介绍一些热学中常用的术语,给出它们的定义。今后,在用到这些术语时,应以这些定义为准,不能用生活中的直觉和经验来代替科学的定义。生活经验只能用来帮助我们理解定义。

1. 热力学系统 热学是研究由大量微观粒子组成的系统热运动规律的学科,因此,一切宏观物体都是热学研究的对象。在分析物理现象时,我们通常把注意力集中于要研究的物体系的一部分,并把它称为**热力学系统**(简称**系统**)。而将与它发生相互作用的其他物体称为**外界**或**环境**。

由系统与外界的相互关系可以将系统进行分类:如果一个系统与外界完全相互隔离,既不能交换物质也不能交换能量,这样的系统称为**孤立系**。如果一个系统可以与外界交换能量而不能交换物质,这样的系统则称为**闭系**。如果系统与外界既可以交换能量又可以交换物质,就称为这样的系统为**开系**。我们用一个例子来说明系统的划分。

图1.1—1表示一个盛有水和饱和水蒸气的封闭容器,水被热源加热。为了使问题不致过于繁琐,通常将容器看作仅仅是一种几何约束,而忽略其物质性,不算在热力学系统内。如果我们将水、水蒸气及热源三者看成是一个热力学系统,那么,这个系统是一个孤立系。因为它与外界既不交换物质也不交换能量,只是在系统内部存在着能量与物质的交

换。如果我们将水和水蒸气两部分看成一个热力学系统，将热源看成外界，则水和水蒸气构成一个闭系。因为它与作为外界的热源之间可以交换能量而不能交换物质。如果我们只将水看作系统，把蒸气和热源都看作外界，则水是一个开系。因为水可以汽化向蒸气中转移，蒸气可以凝结而进入水中，这样，水不仅可以与外界交换能量而且还可以交换物质，所以我们说在上述的例子中水是一个开系。

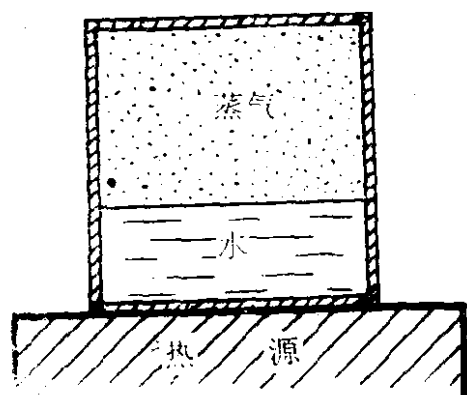


图1.1-1 热力学系统的选取

从上面的例子可以看出，如何划分系统与外界具有一定的任意性。显然，将一个开系适当扩大总可以变为一个闭系，再行扩大总可以变为一个孤立系。究竟如何划分为好，应视具体问题的方便而定。以下我们主要讨论闭系。

2. **状态参量 平衡态** 一个系统的热力学状态不是由系统的宏观位置，速度等描写系统整体运动的量来描写，而是由另一些宏观量来描写，这些宏观量是可以用实验来测定的，它们被称为**状态参量**。例如，一定质量、化学成分单一的气体的状态可以用体积 V 、压强 p 来描写。如果气体是多种成分的，还必须增加表明各成分多少的参量才能确定其状态。如果气体是磁性的，我们还要增加电磁学中的一些量来确定其电磁状态。一般而言，不论我们的热力学系统是气体或别的什么物质系统，描写其热力学状态的参量可以分为四类：即**几何参量**（物体的体积、表面膜的面积、弦的长度等），**力学参量**（压强、表面张力等），**电磁参量**（电场强

§5.6 焦耳——汤姆孙效应	(194)
1. 焦耳——汤姆孙实验 2. 焦—汤效应的理论	
小结	(199)
思考题	(200)
第六章 输运过程	(201)
§6.1 热传导的宏观规律	(202)
1. 温度梯度 2. 热传导的付里叶定律	
3. 热传导的微分方程	
§6.2 粘滞性的宏观规律	(208)
1. 牛顿粘滞定律 2. 粘滞现象是动量输送	
3. 气体粘滞系数的测定	
§6.3 扩散的宏观规律	(212)
1. 气体中物质的扩散 2. 液体和固体中的物质扩散	
§6.4 气体输运过程的分子运动理论	(215)
1. 宏观规律的分子运动理论推导 2. κ , η 和 D 以	
及它们间的关系	
小结	(221)
思考题	(222)
第七章 固体和液体	(223)
§7.1 物质的五态	(224)
§7.2 固体	(225)
1. 晶体和非晶体 2. 晶体弹性的微观解释	
3. 晶体的粒子运动和热容量	
§7.3 液体和液晶	(233)
1. 液体的结构和分子的运动 2. 液晶	
§7.4 液体的表面张力	(235)

外界与系统间的电磁辐射等方式影响系统的状态。我们统称这种不做宏观功的方式为**传热**。

如果外界只能通过做功的方式影响系统的状态，不存在传热的方式，我们说这样的系统是**绝热的**。如果可以通过传热的方式影响系统，我们说系统与外界之间是**导热的**，或者说系统与外界是保持**热接触的**。系统与外界之间的这些关系同样适用于几个系统之间。我们同样可以定义两个系统之间的绝热和热接触等概念。例如，热水瓶可以使瓶内所盛物质的状态不受外界气温高低的影响，它既可用于保温又可用于冷藏。处于热水瓶内的物质就是绝热的，外界不能通过传热的方式影响它的状态。当然，外界还可以通过做功的方式影响它的状态。做功如何影响系统的状态，我们将在下章讲述。插入口腔中的体温表内的水银与人的舌头之间是保持热接触的，因为人体可以通过传热的方式影响水银柱的长度。

注意，我们在这里定义传热、绝热以及热接触这些概念时都没有借用热量这个概念，因为我们尚未定义热量，这是热力学的逻辑体系所要求的。我们是在功、状态这些早为大家熟悉的概念基础上引进传热和绝热等概念的。

3. 温度 实验表明，处于热平衡的系统之间存在一定的关系，即存在一定的规律支配着热平衡现象。这些规律使我们可以引进一个新的表征物体热平衡性质的物理量，这就是**温度**。

我们知道，温度是物体冷热程度的定量描述。可是，要给它一个严格的科学定义却不这么简单。温度这个概念是建立在热平衡定律基础上的，在讲这个定律之前我们先对**相互处于热平衡**这个术语做些解释。