



张三慧 编著

# 大学物理学简程

下



清华大学出版社

张三慧 编著

# 大学物理学简程

## (下)

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

《大学物理学简程》内容共分5篇。力学篇讲述经典的质点力学、理想流体的运动、刚体的转动和狭义相对论基础知识。电磁学篇按传统体系讲述了电场、磁场、电磁感应和电磁波的基本概念和规律。热学篇讲述气体动理论和热力学定理,用统计概念说明温度、气体的压强以及麦克斯韦分布率。波动与光学篇介绍了振动与波的基本特征和光的干涉、衍射、偏振和几何光学的基本规律。量子物理基础篇介绍了波粒二象性、概率波、不确定关系和能量量子化等基本概念以及原子和固体中电子的状态和分布的规律,其后介绍核物理的基本知识。最后浅显地介绍了基本粒子和宇宙爆炸的基本知识。

本书内容涵盖了大学非物理专业物理学教学的基本要求,可作为高等院校物理课程的教材,也可作为中学物理教师或其他读者的自学参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

未经清华大学出版社授权,请不要专门为本书编写学习辅导材料,如思考题和习题解答等。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学简程.下 / 张三慧编著. --北京:清华大学出版社,2010.1  
ISBN 978-7-302-21162-4

I. ①大… II. ①张… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第177762号

责任编辑:邹开颜

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16.75

字 数:400千字

版 次:2010年1月第1版

印 次:2010年1月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。  
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:028518-01

# 前言

这部《大学物理学简程》分为上、下两册，上册含力学篇、电磁学篇，下册含热学篇、光学篇和量子物理篇。内容涵盖了2006年我国教育部发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”中的核心内容和少部分扩展内容。

本书是根据当前我国大学教育的情势和物理课程的需要，基于拙作《大学基础物理学》(第2版)而进行编写的，删减了一些讲解繁难的章节(如铁磁体、实际气体等温线)、公式推导(如单缝衍射、质速关系)和例题，简化了一些概念原理的讲解(如电势、介电质和爱因斯坦两个基本假设)，增加了一些基础性的习题。在延续了《大学基础物理学》(第2版)的基本体系、讲述风格和特色的同时，本书篇幅更加精练，对难度进行了适当调整，使之更适合中等学时大学物理学的教学。

力学篇完全按传统体系讲述。以牛顿定律为基础和出发点，引入动量、角动量和能量概念，导出动量、角动量和机械能等的守恒定律，最后将它们都推广到普遍的形式。守恒定律在物理思想和方法上讲固然是重要的，但在解决实际问题时经典的动力学概念与规律也常是不可或缺的。本书对后者也作了较详细的讲解。力学篇还强调了参考系的概念，说明了守恒定律的意义，并注意到了物理概念和理论的衍生和发展。

电磁学篇以库仑定律、毕奥-萨伐尔定律和法拉第定律为基础展开，直至麦克斯韦方程组。在分析方法上，本篇强调了对称性的分析，如在求电场和磁场的分布时，都应用了空间对称性的概念。

热学篇除了对系统——特别是气体——的宏观性质及其变化规律作了清晰的介绍外，大大加强了在分子理论基础上的统计概念和规律的讲解。除了在温度和气体动理论中着重介绍了统计规律外，在其他各章对功、热的实质、热力学第一定律、热力学第二定律以及熵的微观意义和宏观表示式等都结合统计概念作了许多独特而清晰的讲解。

波动与光学篇主要着眼于清晰地讲解波、光的干涉和衍射的基本现象和规律，最后，根据光电波动性在特定条件下的近似特征——直接传播，讲述了几何光学的基本定律及反射镜和透镜的成像原理。

量子物理基础篇的重点放在最基本的量子力学概念方面，如波粒二象性、

不确定关系等,至于薛定谔方程及其应用、原子中电子运动的规律、固体物理等只作了简要的陈述。基本粒子和宇宙学的基本知识属于教学要求中的扩展内容,也简单加以介绍。

大学物理课程是大学阶段一门重要的基础课,它将在高中物理的基础上进一步提高学生的现代科学素质。为此,物理课程应提供内容更广泛、更深入的系统的现代物理学知识,并在介绍这些知识的同时进一步培养学生的科学思想、方法和态度,激发学生的创新意识和能力。

根据上述对大学物理课程任务的理解,本书在高中物理的基础上系统而又严谨地讲述了基本的物理原理。书中具体内容主要是经典物理基本知识,但同时也包含了许多现代物理,乃至一些物理学前沿的理论和实验以及它们在现代技术中应用的知识。

本书选编了大量联系实际例题和习题,从光盘到打印机,从跳水到蹦极,从火箭到对撞机,从人造卫星到行星、星云等都有涉及。其中还特别注意选用了我国古老文明与现代科技的资料,如王充论力,苏东坡的回文诗,神舟飞船的升空,热核反应的实验等。对这些例题和习题的分析与求解能使学生更实在又深刻地理解物理概念和规律,了解物理基础知识的重要的实际意义,同时也有助于培养学生联系实际的学风,增强民族自信心。

本书内容涵盖了大学物理学教学的基本要求。为了帮助学生掌握各篇内容,每篇开始都综述了该篇内容,每章末都总结了各章提要。在习题的选编上分了3个层次:自测简题、思考题和习题。其中自测简题主要考查学生对基本原理和概念的理解,答案可经过简单直接计算获得,或需要对原理论叙述的正确性分析后得出。

本书还简述了若干位科学家的生平、品德与贡献,用以提高学生素养,鼓励成才。书末附有物理学常用数据的最新公认取值的“数值表”,便于学生查阅和应用。

本书的编写是作者在耄耋之年脑病康复期间着笔的,错误缺点必然不少,请各位老师、同学批评指正。

张三慧

2009年10月于清华园

# 目 录

CONTENTS

## 第 3 篇 热 学

第 14 章 温度和气体动理论 .....	3
14.1 平衡态 .....	3
14.2 温度的概念 .....	4
14.3 理想气体温标 .....	4
14.4 理想气体状态方程 .....	5
14.5 气体分子的无规则运动 .....	7
14.6 理想气体的压强 .....	8
14.7 温度的微观意义 .....	11
14.8 能量均分定理 .....	12
14.9 麦克斯韦速率分布律 .....	14
提要 .....	17
自测简题 .....	18
思考题 .....	18
习题 .....	19
第 15 章 热力学第一定律 .....	21
15.1 功 热量 热力学第一定律 .....	21
15.2 准静态过程 .....	22
15.3 热容 .....	24
15.4 绝热过程 .....	27
15.5 循环过程 .....	30
15.6 卡诺循环 .....	31
15.7 致冷循环 .....	33
提要 .....	34
自测简题 .....	35

思考题 .....	36
习题 .....	36
科学家简介 焦耳 .....	39
<b>第 16 章 热力学第二定律 .....</b>	<b>40</b>
16.1 自然过程的方向 .....	40
16.2 热力学第二定律及其微观意义 .....	41
16.3 热力学概率与自然过程的方向 .....	42
16.4 玻耳兹曼熵公式与熵增加原理 .....	45
16.5 克劳修斯熵公式 .....	46
提要 .....	49
自测简题 .....	50
思考题 .....	50
习题 .....	51
科学家简介 玻耳兹曼 .....	52

## 第 4 篇 波动与光学

<b>第 17 章 振动 .....</b>	<b>55</b>
17.1 简谐运动的描述 .....	55
17.2 简谐运动的动力学 .....	58
17.3 简谐运动的能量 .....	60
17.4 阻尼振动 .....	61
17.5 受迫振动 共振 .....	61
17.6 一维同频率的简谐运动的合成 .....	62
17.7 一维不同频率的简谐运动的合成 .....	63
提要 .....	64
自测简题 .....	65
思考题 .....	65
习题 .....	65
<b>第 18 章 波动 .....</b>	<b>68</b>
18.1 物体的弹性形变 .....	68
18.2 简谐波的形成过程 .....	70
18.3 简谐波的波函数 波长 .....	72
18.4 弹性介质中的波速 .....	75
18.5 波的能量 .....	76

18.6	惠更斯原理 .....	79
18.7	波的叠加 驻波 .....	80
18.8	声波 .....	82
18.9	多普勒效应 .....	84
	提要 .....	87
	自测简题 .....	88
	思考题 .....	88
	习题 .....	89
<b>第 19 章</b>	<b>光的干涉 .....</b>	<b>91</b>
19.1	杨氏双缝干涉 .....	91
19.2	相干光 .....	93
19.3	光程 .....	94
19.4	薄膜干涉 .....	95
19.5	迈克耳孙干涉仪 .....	98
	提要 .....	98
	自测简题 .....	99
	思考题 .....	99
	习题 .....	100
<b>第 20 章</b>	<b>光的衍射 .....</b>	<b>102</b>
20.1	光的衍射和惠更斯-菲涅耳原理 .....	102
20.2	单缝的夫琅禾费衍射 .....	103
20.3	光学仪器的分辨本领 .....	106
20.4	光栅衍射 .....	108
	提要 .....	112
	自测简题 .....	112
	思考题 .....	113
	习题 .....	113
<b>第 21 章</b>	<b>光的偏振 .....</b>	<b>115</b>
21.1	自然光和偏振光 .....	115
21.2	偏振光的获得与检测 .....	116
21.3	由反射引起的光的偏振 .....	118
21.4	双折射现象 .....	119
	提要 .....	121
	自测简题 .....	121
	思考题 .....	121
	习题 .....	122



第 22 章 几何光学 .....	123
22.1 光线 .....	123
22.2 光的反射 .....	124
22.3 球面反射镜 .....	125
22.4 光的折射 .....	128
22.5 薄透镜的焦距 .....	130
22.6 薄透镜成像 .....	132
22.7 助视仪器 .....	136
提要 .....	138
自测简题 .....	139
思考题 .....	139
习题 .....	140

## 第 5 篇 量子物理基础

第 23 章 量子物理的基本概念 .....	145
23.1 量子概念的诞生 .....	145
23.2 光的粒子性的提出 .....	147
23.3 康普顿散射 .....	149
23.4 粒子的波动性 .....	151
23.5 概率波与概率幅 .....	154
23.6 不确定关系 .....	157
23.7 薛定谔方程 .....	160
23.8 无限深方势阱中的粒子 .....	161
23.9 势垒穿透 .....	164
23.10 谐振子 .....	167
提要 .....	169
自测简题 .....	170
思考题 .....	170
习题 .....	171
科学家简介 德布罗意 .....	173
第 24 章 原子中的电子 .....	174
24.1 氢原子 .....	174
24.2 电子的自旋 .....	179
24.3 各种原子中电子的排布 .....	181
24.4 激光 .....	185

提要 .....	188
自测简题 .....	189
思考题 .....	189
习题 .....	190
科学家简介 玻尔 .....	192
<b>第 25 章 固体中的电子</b> .....	<b>193</b>
25.1 自由电子按能量的分布 .....	193
25.2 能带 导体和绝缘体 .....	196
25.3 半导体 .....	199
25.4 PN 结 .....	200
25.5 半导体器件 .....	201
25.6 纳米材料与器件 .....	203
提要 .....	206
思考题 .....	208
习题 .....	208
<b>第 26 章 核物理</b> .....	<b>209</b>
26.1 核的一般性质 .....	209
26.2 核力 .....	211
26.3 核的结合能 .....	213
26.4 放射性和衰变定律 .....	214
26.5 三种射线 .....	217
26.6 核反应 .....	220
提要 .....	222
思考题 .....	223
习题 .....	223
<b>第 27 章 基本粒子</b> .....	<b>225</b>
27.1 粒子的发现与特征 .....	225
27.2 粒子分类 .....	226
27.3 粒子的转化与守恒定律 .....	228
27.4 夸克 .....	229
27.5 色 .....	230
<b>第 28 章 大爆炸和宇宙膨胀</b> .....	<b>232</b>
28.1 宇宙膨胀和大爆炸理论的提出 .....	232
28.2 从大爆炸到今天 .....	234

28.3 宇宙的未来 .....	235
28.4 至大和至小的理论结合起来了 .....	237
元素周期表 .....	238
数值表 .....	239
自测简答题答案 .....	241
习题答案 .....	243
索引 .....	248

# 第

# 3

# 篇

# 热 学

**热**学研究的是自然界中物质与冷热有关的性质及这些性质变化的规律。

这方面的定量研究约起自 300 年前。先是建立了温度的概念，用它来表示物体的冷热程度。伽利略就曾制造了一种“验温器”，用一根长玻璃管，上端和一玻璃泡连通，下端开口，插在一个盛有带颜色的水的玻璃容器内，他根据管内水面的高度来判断其周围的“热度”。此后，人们不断设计制造了能定量测定温度的温度计，并建立了几种温标，如沿用至今的摄氏温标。

温度概念建立之后，人们就探讨物体的温度为什么会有高低的不同。最初人们把这种不同归因于物体内部所含的一种假想的无重量的“热质”的多少。

后来在实践中，人们认识到热是运动的一种表现，并把热和功以及能量的概念联系起来，用能量的传递说明热现象的规律，逐步形成了一套系统的宏观热学理论——热力学。

后来，在人们逐渐认识到物质是由分子组成的以后，又把热现象和分子运动联系起来，建立了一种基于统计概念的微观热学理论——统计物理，更深刻地揭示了热现象的规律。

本篇热学在温度概念之后，借助气体动理论介绍一些统计物理的基本概念和规律，如气体分子的速率分布律。然后又在分子论的基础上阐述了热力学的两条基本定律——热力学第一和第二定律，其中第二定律也是一条统计规律。



## 温度和气体动理论

本章先介绍平衡态、温度、状态方程等热学基本概念。然后介绍统计理论的基本知识,即气体分子运动理论,包括气体压强、温度的微观意义和气体分子的速率分布律等。

### 14.1 平衡态

在热学中,我们把作为研究对象的一个物体或一组物体称为热力学系统,简称为系统,系统以外的物体称为外界。

一个系统的各种性质不随时间改变的状态叫做平衡态,热学中研究的平衡态包括力学平衡,但也要求其他所有的性质,包括冷热的性质,保持不变。对处于平衡态的系统,其状态可用少数几个可以直接测量的物理量来描述。例如封闭在汽缸中的一定量的气体,其平衡态就可以用其体积、压强以及组分比例来描写(图 14.1)。这些物理量叫系统的宏观状态参量。

平衡态只是一种宏观上的寂静状态,在微观上系统并不是静止不变的。在平衡态下,组成系统的大量分子还在不停地无规则地运动着,这些微观运动的总效果也随时间不停地急速地变化着,只不过其总的平均效果不随时间变化罢了。因此我们讲的平衡态从微观的角度应该理解为动态平衡。

由于一个实际的系统总要受到外界的干扰,所以严格的不随时间变化的平衡态是不存在的。平衡态是一个理想的概念,是在一定条件下对实际情况的概括和抽象。但在许多实际问题中,往往可以把系统的实际状态近似地当作平衡态来处理,而比较简便地得出与实际情况基本相符的结论。因此,平衡态是热学理论中的一个很重要的概念。

本书热学部分只限于讨论组分单一的系统,特别是单纯的气体系统,而且只讨论涉及其平衡态的性质。

温度是物体冷热程度的定量表示。几个物体放到一起而达到平衡态时,我们说它们的温度相等。反之,温度相等的物体放在一起时,它们会处于平衡态,这种平衡态叫热平衡。在热学部分我们主要关注热平衡。

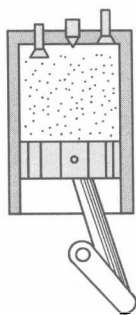


图 14.1 气体作为系统

## 14.2 温度的概念

将两个物体(或多个物体)放到一起使之接触并不受外界干扰,例如,将热水倒入玻璃杯内放到保温箱内,经过足够长的时间,它们必然达到一个平衡态。这时我们的直觉认为它们的冷热一样,或者说它们的温度相等。这就给出了温度的定性定义:共处于平衡态的物体,它们的温度相等。

实验证明,即:如果物体 A 和物体 B 能分别与物体 C 的同一状态处于平衡态(图 14.2(a)),那么当把这时的 A 和 B 放到一起时,二者也必定处于平衡态(图 14.2(b))。这一事实被称为热力学第零定律。根据这一定律,要确定两个物体 A 和 B 的温度是否相等,就不需要使二者直接接触,只要利用一个“第三者 C”加以“沟通”就行了,这个“第三者”就被称为温度计。

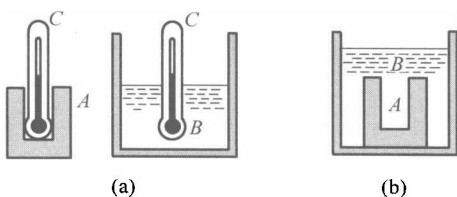


图 14.2 平衡态

(a) A 和 B 分别与 C 的同一状态处于平衡态; (b) A 和 B 放到一起也处于平衡态

利用温度计就可以定义温度的数值了,为此,选定一种物质作为测温物质,以其随温度有明显变化的性质作为温度的标志。再选定一个或两个特定的“标准状态”作为温度“定点”并赋予数值就可以建立一种温标来测量其他温度了。常用的摄氏温标。以 1 atm(1 atm = 101 325 Pa)下水的冰点和沸点为两个定点,并分别赋予二者的温度数值为 0 与 100。用这种温标表示的温度称摄氏温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

## 14.3 理想气体温标

一种有重要理论和实际意义的温标叫理想气体温标。它是用理想气体作测温物质的,那么什么是理想气体呢?

玻意耳定律指出:一定质量的气体,在一定温度下,其压强  $p$  和体积  $V$  的乘积是个常量,即

$$pV = \text{常量} \quad (\text{温度不变}) \quad (14.1)$$

对不同的温度,这一常量的数值不同。各种实际气体只是近似地遵守这一定律,而且压强越小,与此定律符合得也越好。为了表示气体的这种共性,我们引入理想气体的概念。理想气体就是在各种压强下都严格遵守玻意耳定律的气体。它是各种实际气体在压强趋于零时的极限情况,是一种理想模型。

既然对一定质量的理想气体,它的  $pV$  乘积只随温度改变,所以我们可以据此定义一个温标,叫理想气体温标,这一温标指示的温度值与该温度下一定质量的理想气体的  $pV$  乘积成正比,以  $T$  表示理想气体温标指示的温度值,则应有

$$pV \propto T \quad (14.2)$$

这一定义只能给出两个温度数值的比,为了确定这一温标,以水的三相点,即水、冰和水汽共存而达到平衡态时(图 14.3 所示装置的中心管内)的温度(这时水汽的压强是 4.58 mmHg,约 609 Pa)为定点,并赋予数值

$$T_3 \equiv 273.16 \text{ K} \quad (14.3)$$

式中 K 是理想气温标的温度单位的符号,该单位的名称为开[尔文]。

以  $p_3, V_3$  表示一定质量的理想气体在水的三相点温度  $T_3$  下的压强和体积,以  $p, V$  表示该气体在任意温度  $T$  时的压强和体积,由式(14.2)和式(14.3),  $T$  的数值可由下式决定:

$$\frac{T}{T_3} = \frac{pV}{p_3V_3}$$

或

$$T = T_3 \frac{pV}{p_3V_3} = 273.16 \frac{pV}{p_3V_3} \quad (14.4)$$

这样,只要测定了某状态的压强和体积的值,就可以确定和该状态相应的理想气温标的温度数值了。

在热力学中还有一种不依赖于任何物质的特性的温标叫热力学温标(也曾叫绝对温标)。它在历史上最先是由开尔文引进的,通常也用  $T$  表示,这种温标指示的数值,叫热力学温度(也曾叫绝对温度)。它的 SI 单位叫开[尔文],符号为 K。可以证明,在理想气温标有效范围内,理想气温标和热力学温标是完全一致的,因而都用 K 作单位。

以  $t(^{\circ}\text{C})$  表示摄氏温度,它和热力学温度  $T(\text{K})$  的关系是

$$t = T - 273.15 \quad (14.5)$$

## 14.4 理想气体状态方程

由式(14.4)可得,对一定质量的同种理想气体,任一状态下的  $pV/T$  值都相等(都等于  $p_3V_3/T_3$ ),因而可以有

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0} \quad (14.6)$$

其中  $p_0, V_0, T_0$  为标准状态下相应的状态参量值。

实验又指出,在一定温度和压强下,气体的体积和它的质量  $m$  或摩尔数  $\nu$  成正比。若以  $V_{m,0}$  表示气体在标准状态下的摩尔体积,则  $\nu$  mol 气体在标准状态下的体积应为  $V_0 = \nu V_{m,0}$ ,以此  $V_0$  代入式(14.6),可得

$$pV = \nu \frac{p_0V_{m,0}}{T_0} T \quad (14.7)$$

阿伏伽德罗定律指出,在相同温度和压强下,1 mol 的各种理想气体的体积都相同,因此上式中的  $p_0V_{m,0}/T_0$  的值就是一个对各种理想气体都一样的常量。用  $R$  表示此常量,则有

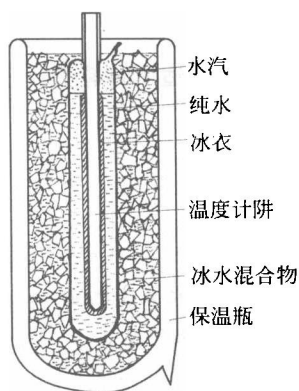


图 14.3 水的三相点装置



$$R \equiv \frac{p_0 V_{m,0}}{T_0} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{273.15} \\ = 8.31 \text{ (J/(mol} \cdot \text{K))} \quad (14.8)$$

此  $R$  称为普适气体常量。利用  $R$ , 式(14.7)可写作

$$pV = \nu RT \quad (14.9)$$

或

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (14.10)$$

上式中  $m$  是气体的质量,  $M$  是气体的摩尔质量。式(14.9)或式(14.10)表示了理想气体在任一平衡态下各宏观状态参量之间的关系, 称理想气体状态方程。它是由实验结果(玻意耳定律、阿伏伽德罗定律)和理想气体温标的定义综合得到的。各种实际气体, 在通常的压强和不太低的温度的情况下, 都近似地遵守这个状态方程, 而且压强越低, 近似程度越高。

1 mol 的任何气体中都有  $N_A$  个分子,

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} / \text{mol}$$

这一数值叫阿伏伽德罗常量。

若以  $N$  表示体积  $V$  中的气体分子总数, 则  $\nu = N/N_A$ 。引入另一普通常量, 称为玻耳兹曼常量, 用  $k$  表示:

$$k \equiv \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (14.11)$$

则理想气体状态方程(14.9)又可写作

$$pV = NkT \quad (14.12)$$

或

$$p = nkT \quad (14.13)$$

其中  $n = N/V$  是单位体积内气体分子的个数, 叫气体分子数密度。

按式(14.13)计算, 在标准状态下,  $1 \text{ cm}^3$  空气中约有  $2.9 \times 10^{19}$  个分子。

### 例 14.1

**恒温气压。** 求大气压强  $p$  随高度  $h$  变化的规律, 设空气的温度不随高度改变。

**解** 如图 14.4 所示, 设想在高度  $h$  处有一薄层空气, 其底面积为  $S$ , 厚度为  $dh$ , 上下两面的气体压强分别为  $p + dp$  和  $p$ 。该处空气密度为  $\rho$ , 则此薄层受的重力为  $dmg = \rho g S dh$ 。力学平衡条件给出

$$(p + dp)S + \rho g S dh = pS \\ dp = -\rho g dh$$

视空气为理想气体, 由式(14.10)可以导出

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

将此式代入上一式可得

$$dp = -\frac{pMg}{RT} dh \quad (14.14)$$

将右侧的  $p$  移到左侧, 再两边积分:

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\int_0^h \frac{Mg}{RT} dh = -\frac{Mg}{RT} \int_0^h dh$$

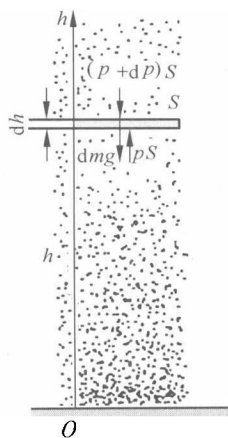


图 14.1 例 14.1 用图