



江苏省精品教材

大学物理学 (第2版)

(下册)

主编 孙厚谦 俞晓明 史友进

大学物理学 (第2版)

(下册)

主编 孙厚谦 俞晓明 史友进
编者 刘雨龙 郝玉华 成海英 吴兆丰

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是以教育部物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》为依据编写的,全书涵盖了基本要求中的核心内容。

本书分为上、下两册。上册包括力学、狭义相对论和电磁学,下册包括热学、振动与波动和量子物理与新技术。在全书编写过程中,编者充分考虑了应用型本科院校的特点和实际情况,削枝强干、突出重点,加强基本概念和重要知识的描述,简约理论论证,注重计算训练。本套教材配有学习参考书(《大学物理学习辅导与习题》,孙厚谦编,湖南师范大学出版社),书中对课程的重点和难点作了进一步阐述,对教材中的问题进行了详细、拓展性的解答。本书还配有电子教案和习题解答。

本书可作为高等学校理工科,特别是应用型工科学校非物理类专业大学物理课程的教材或参考书。

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

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 下册/孙厚谦,俞晓明,史友进主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2013.1
ISBN 978-7-302-28806-0

I. ①大… II. ①孙… ②俞… ③史… 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(2012)第098702号

责任编辑:朱红莲

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14.5

字 数:348千字

版 次:2009年3月第1版 2013年1月第2版

印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:25.00元

产品编号:045643-01



第2版前言

本教材第1版于2009年3月由清华大学出版社出版。此次修订,基本保持了第1版教材体系,主要是进行完善,使教材内容更加适合于应用型工科大学非物理专业大学物理课程的教学。

此次改版增加或删改了一些内容;对一些章节的顺序进行调整,使体系更加合理;对部分内容进行补充或改写,使对基本概念、原理和公式的阐述更加简洁、准确、到位、透彻、易懂。

第1版教材最显著的特色在于两个栏目的设计:一是问题,二是说明、注意和讨论。此次修订,我们按照问题的设计目的是帮助学生掌握基本公式、领悟物理思想、抓住解题要点、熟悉解题元素(如常见研究对象的物理量表示、解题时积分元等)、把握知识体系、综合应用和引申知识等;说明、注意和讨论的设计原则分别是解读基本概念、内涵要义、原理公式、术语名词等;引导学生准确地把握有关内容,避免混淆概念、错误使用公式等;拓展引申对公式、原理的应用,对这两个栏目的内容进行修改,进一步强化教材特色。

另外,对例题、习题进行了增删与修改,加强其基础性、应用性和典型性及与教材内容的匹配性。

几年来,许多使用过本书作为教材或参考书的学校反馈了许多有价值的建议;在教材编写和修改中,我们借鉴学习了国内很多优秀教材的做法;清华大学出版社朱红莲编辑为提高教材的质量做了大量的工作,在此向支持、指导我们的同志和使我们受益的教材的作者表示衷心的感谢。

尽管在第2版的修订过程中编者做了很大努力,但书中仍难免存在问题和不足,真诚企盼读者指正。

编 者

2012年10月



第1版前言

大学物理课程是高等学校理工科学生的一门重要基础课,它所阐述的物理学基本概念、基本思想、基本规律和基本方法不仅是学生学习后续专业课程的基础,而且也是培养和提高学生综合素质和科技创新能力的重要内容。在我国高等教育已经进入大众化阶段的新形势下,为达到大学物理课程的教学目的,物理教学工作者面临着许多需要解决的问题。尽管国内外已出版了许多优秀的大学物理教材,但编写适合应用型本科院校培养目标的教材仍需进行大量的工作。本书的编写则在这方面做了积极的尝试。教材涵盖了教育部物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》的核心内容,注意汲取当前国内优秀教材的成果,反映编者多年来的教学经验和体会,积极进行改革尝试,尽量贴合应用型本科院校人才培养要求和学生的实际情况。本教材内容的主要特点如下:

1. 高视点选择经典内容 如在力学、电磁学部分,注意去掉与中学物理重复的内容,强化高等数学知识、矢量知识在物理中的应用,增强学生对大学物理课程的新鲜感。

2. 力求体系和结构的合理性 如在力学部分,将刚体的定轴转动作为质点系力学的特例,渗透到整个力学的教学中;将相对论纳入力学部分,使牛顿力学与相对论时空观紧密相连,开拓学生视野;在电磁学部分,将“真空中的静电场”、“导体和电介质中的静电场”合为一章,将“恒定电流”、“真空中的恒定磁场”以及“磁介质中的磁场”合为一章,强化场源关系,简化介质问题,去掉中学物理中已讲授的直流电路的内容;在热力学中,关于循环部分,加强对一般循环过程的讲授,而将卡诺循环作为特例介绍;另外,对知识点,尽量以标题列出,便于读者掌握。

3. 注重物理基本概念和基本规律的阐述 教材力求突出主干,削枝强干,对核心内容重点阐明;尽量避免烦琐的叙述和冗长的数学推导,力求阐述准确、简洁、透彻,重点突出,便于读者阅读和理解;对基本概念和公式,以说明、注意、讨论等形式,条目式地加以分析,帮助读者理解;部分内容采用通过归纳、类比等较容易理解的方式,引出一些物理概念和规律;对近代物理内容采用“精选、普化”的方针,还专题式地介绍了一些前沿的、应用特别广泛的高新技术的物理基础,加强学生学习新理论和新知识的基础理论。

4. 强化知识的综合运用能力的训练 在一个主要知识点或基本计算方法讲授后,从把握物理思想、理解基本公式、对典型问题举一反三、知识的综

合应用与引申等角度,设计多层次讨论题,体现引导式、研究型学习理念;着眼于培养学生学习能力,精选例题和习题。

本教材适用于128学时。教材中带“*”的章节与习题,教师可自行取舍。

本书由俞晓明编写第1章至第4章,史友进编写第5章、第12章和第15章,孙厚谦编写第6章、第11章、第13章和第16章,吴兆丰编写第7章,成海英编写第8章,刘雨龙编写第9章和第10章,郝玉华编写第14章。孙厚谦负责全书的修改和定稿工作。南京理工大学李相银教授、陆建教授和南京航空航天大学施大宁教授认真审阅了全书,提出了宝贵的指导性意见,在此表示衷心感谢。

由于编者学识有限,书中不当之处和错误在所难免,加之时间匆忙,教材内容选择的适当性、广泛性仍需改进,竭诚欢迎读者和同行专家指正。

本书由盐城工学院教材基金资助出版。

编 者
2008年10月

常用基本物理常量表

(2006 年最佳值)

物 理 量	符 号	数 值
真空中的光速	c	299 792 458 m/s(精确)
真空磁导率	μ_0	$4\pi\times 10^{-7}$ N/A ² 12. 566 370 614 $\times 10^{-7}$ N/A ² (精确)
真空电容率	ϵ_0	8. 854 187 817 $\times 10^{-12}$ F/m(精确)
万有引力常量	G	6. 674 28(67) $\times 10^{-11}$ m ³ /(kg $\cdot$ s ²)
普朗克常量	h	6. 626 069 3(11) $\times 10^{-34}$ J $\cdot$ s
	$\hbar=h/2\pi$	1. 054 571 686(18) $\times 10^{-34}$ J $\cdot$ s
阿伏伽德罗常量	N_A	6. 022 141 79(30) $\times 10^{23}$ /mol
普适气体常量	R	8. 314 472(15) J/(mol $\cdot$ K)
玻耳兹曼常量	k	1. 380 650 4(24) $\times 10^{23}$ J/K
斯特藩-玻耳兹曼常量	σ	5. 670 400(40) $\times 10^{-8}$ W/(m ² $\cdot$ K ⁴)
摩尔体积(理想气体 $T=273.15$ K, $p=101\,325$ Pa)	V_m	22. 414 10(19) L/mol
维恩位移定律常量	b	2. 897 768 5(51) $\times 10^{-3}$ m $\cdot$ K
元电荷	e	1. 602 176 487(40) $\times 10^{-19}$ C
电子静质量	m_e	9. 109 382 15(45) $\times 10^{-31}$ kg
质子静质量	m_p	1. 672 621 637(83) $\times 10^{-27}$ kg
中子静质量	m_n	1. 674 927 211(84) $\times 10^{-27}$ kg
电子荷质比	e/m_e	1. 758 820 12(15) $\times 10^{11}$ C/kg
电子磁矩	μ_e	$-9. 284\,763\,77(23)\times 10^{-24}$ J/T
质子磁矩	μ_p	$1. 410\,606\,662(37)\times 10^{-26}$ J/T
中子磁矩	μ_n	$-0. 966\,236\,41(23)\times 10^{-24}$ J/T
电子康普顿波长	λ_C	2. 426 310 217 5(33) $\times 10^{-12}$ m
磁通量子, $h/2e$	ϕ	2. 067 833 72(18) $\times 10^{-15}$ Wb
玻尔磁子, $eh/2m_e$	μ_B	9. 274 009 15(23) $\times 10^{-24}$ J/T
核磁子, $eh/2m_p$	μ_N	5. 050 783 24(13) $\times 10^{-27}$ J/T
里德伯常量	R_∞	10 973 731. 568 527(73)m ⁻¹
玻尔半径	a_0	0. 529 177 208 59(36) $\times 10^{-10}$ m
经典电子半径	r_e	2. 817 940 289 4(58) $\times 10^{-15}$ m
原子质量常量	μ	1. 660 538 89(28) $\times 10^{-27}$ kg

本书中物理量的名称、符号和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	量纲	备注
压强	p	帕[斯卡]	Pa	$L^{-1}MT^{-2}$	1 Pa = 1 N/m ²
热力学温度	T	开[尔文]	K	Θ	
摄氏温度	t	摄氏度	℃	Θ	
摩尔质量	M_{mol}	千克每摩尔	kg/mol	MN^{-1}	
分子质量	m	千克	kg	M	
气体质量	M	千克	kg	M	
分子有效直径	d	米	m	L	
分子平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m	L	
分子平均碰撞频率	$\bar{Z}$	次每秒	1/s	T^{-1}	
体积分子数	n	每立方米	1/m ³	L^{-3}	
热量	Q	焦[耳]	J	L^2MT^{-2}	
比热容	c	焦[耳]每千克开[尔文]	J/(kg · K)	$L^2T^{-1}\Theta^{-1}$	
质量热容	C	焦[耳]每开[尔文]	J/K	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	
摩尔定体热容	$C_{V,m}$	焦[耳]每摩尔开[尔文]	J/(mol · K)	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	
摩尔定压热容	$C_{p,m}$	焦[耳]每摩尔开[尔文]	J/(mol · K)	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	
比热容比	γ	—	—	—	主要用于光谱学
熵	S	焦[耳]每开尔文	J/K	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	
振幅	A	米	m	L	
周期	T	秒	s	T	
频率	ν	赫[兹]	Hz	T^{-1}	
角频率	ω	每秒	s ⁻¹	T^{-1}	
相位	ϕ	—	—	—	
波长	λ	米	m	L	
波数	$\bar{\nu}$	每米	m ⁻¹	L^{-1}	
波速	u, c	米每秒	m/s	LT^{-1}	
波的强度	I	瓦[特]每平方米	W/m ²	MT^{-3}	
声压	p	帕[斯卡]	Pa	$L^{-1}MT^{-2}$	
声强级	L_I	贝	B	—	常用分贝(dB)为单位
折射率	n	—	—	—	
波程差	δ	米	m	L	
光程差	Δ	米	m	L	
辐出度	$E(T)$	瓦[特]每平方米	W/m ²	MT^{-3}	
单色辐出度	$e(\lambda, T)$	瓦[特]每立方米	W/m ³	$L^{-1}MT^{-3}$	
斯特藩-玻耳兹曼常量	σ	瓦[特]每平方米四次方开[尔文]	W/(m ² · K ⁴)	$T^{-3}M\Theta^{-4}$	
维恩常量	b	米开[尔文]	m · K	$L\Theta$	

续表

量的名称	符号	单位名称	单位符号	量纲	备注
逸出功	W	焦[耳]	J	L^2MT^{-2}	常用电子伏特 (eV)为单位
康普顿波长	λ_c	米	m	L	
普朗克常量	$h, \hbar$	焦[耳]秒	J·s	L^2MT^{-1}	
波函数	Ψ	—	—	—	
概率密度	w	每立方米	m^{-3}	L^{-3}	
主量子数	n	—	—	—	
角量子数	l	—	—	—	
磁量子数	m_l	—	—	—	
自旋量子数	s	—	—	—	
自旋磁量子数	m_s	—	—	—	
里德伯常量	R	每米	m^{-1}	L^{-1}	
玻尔磁子	μ_B	焦[耳]每特[斯拉]	J/T	L^2I	



目 录

第三篇 热 学

第 9 章 气体分子动理论	3
9.1 平衡态 状态参量 状态方程	3
9.2 压强和温度的统计意义	6
9.3 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	10
9.4 麦克斯韦速率分布律	13
9.5 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	18
习题	19
第 10 章 热力学基础	21
10.1 热力学第一定律	21
10.2 理想气体的等值过程	24
10.3 绝热过程	29
10.4 循环过程 卡诺循环	32
10.5 热力学第二定律	37
10.6 熵 熵增加原理	41
习题	48

第四篇 振动与波动

第 11 章 机械振动	53
11.1 简谐振动的运动学	53
11.2 简谐振动的动力学	59
11.3 简谐振动的能量	63
11.4 同方向简谐振动的合成	64
11.5 相互垂直的简谐振动的合成	68
11.6 振动的频谱分析	70

习题	71
第 12 章 机械波	74
12.1 机械波的产生和传播	74
12.2 平面简谐波的波动表达式	77
12.3 波的能量	83
12.4 波的基本特征——反射、折射、衍射和干涉	86
12.5 多普勒效应	95
习题	98
第 13 章 几何光学简介	101
13.1 光的传播规律	101
13.2 实物 虚物 实像 虚像	103
13.3 光在球面上的反射成像	104
13.4 光在球面上的折射成像	108
13.5 薄透镜	111
习题	115
第 14 章 波动光学	117
14.1 光的相干性	117
14.2 双缝干涉	119
14.3 光程 光程差	123
14.4 薄膜干涉	124
14.5 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	133
14.6 单缝夫琅禾费衍射	134
14.7 圆孔夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	138
14.8 光栅衍射	141
14.9 光的偏振	146
14.10 由介质吸收引起的光的偏振	147
14.11 反射和折射时光的偏振	150
14.12 由双折射引起的光的偏振	151
习题	152

第五篇 量子物理与新技术

第 15 章 量子物理基础	157
15.1 黑体辐射 普朗克能量子假设	157
15.2 光的量子性	161

15.3 德布罗意波.....	166
15.4 波函数 不确定关系.....	169
15.5 薛定谔方程.....	173
15.6 一维势阱和势垒.....	174
15.7 氢原子.....	181
15.8 原子的电子壳层结构.....	184
习题.....	186
第 16 章 新技术的物理基础	188
16.1 半导体.....	188
16.2 激光原理.....	193
16.3 超导体.....	199
16.4 纳米材料.....	204
16.5 玻色-爱因斯坦凝聚态	208
习题参考答案.....	213
参考文献.....	218

第三篇

热 学



气体分子动理论

本章从气体分子热运动观点出发,运用统计方法来研究大量气体分子的热运动规律。主要内容有:热力学系统的状态参量,热力学第零定律,理想气体的状态方程、压强公式和温度公式,能量均分定理,理想气体的内能,麦克斯韦气体分子速率分布律,分子平均自由程和碰撞频率等。

9.1 平衡态 状态参量 状态方程

9.1.1 平衡态

在热学中所研究的对象都是由大量分子或原子组成的宏观物体或物体系统(如气体、液体、固体等),称为热力学系统,简称系统。系统以外的物质统称为外界或环境。根据系统与外界互相作用的情况,系统可分为开放系统,封闭系统和孤立系统。与外界既有物质交换又有能量交换的系统称为开放系统;与外界只有能量交换而没有物质交换的系统称为封闭系统;与外界不交换任何能量和物质,即不受外界任何影响的系统称为孤立系统。一个孤立系统,不论其初始状态如何,经过足够长的时间后,必将达到一个宏观性质不再随时间变化的状态,称为热平衡态,简称平衡态。如果系统是非孤立的,或系统的宏观性质随时间变化的状态叫做非平衡态。对于气体系统,平衡态表现为气体的各部分密度均匀、温度均匀和压强均匀。本书热学部分除特别声明外,均是讨论组分单一的气体系统,而且只涉及其平衡态性质。

说明 (1) 从微观的角度看,在平衡态下,组成系统的大量粒子仍在不停地、无规则地运动着,只是大量粒子运动的平均效果不变,从而表现为系统的宏观性质不随时间变化,因此从微观角度看,这种状态应理解为热动平衡。

(2) 平衡态是一种理想状态,因为实际中孤立系统不存在,所以严格的平衡态不可能存在,但当系统受到的影响可以忽略,宏观性质只有很小的变化时,系统的状态就可以近似地看成是平衡态。

问题 9-1 比较气体系统的平衡态和力学中物体的平衡态的区别。

问题 9-2 把一金属棒的一端置入沸水中,另一端置入冰水中。金属棒放在这样的两个恒

温热源之间,经过长时间后,达到一个不随时间变化的稳定的温度分布状态。这一状态是平衡态吗?

9.1.2 热力学系统的描述 状态参量

系统处于平衡态时,其各种宏观性质不再随时间变化,热力学用一些可以直接测量的量

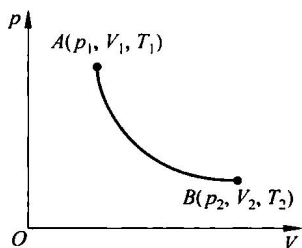


图 9-1 p - V 图上一点表示气体的一个平衡态

来描述系统的宏观属性,这些用来表征系统宏观属性的物理量称为**状态参量**。状态参量都是宏观量。如对于给定的气体,常用体积(V)、压强(p)和温度(T)作为状态参量来描述。可以用以 p 为纵轴、 V 为横轴的 p - V 图上的一个点来表示系统的一个平衡态,如图 9-1 中的点 $A(p_1, V_1, T_1)$ 或点 $B(p_2, V_2, T_2)$ 。

任何宏观物体都是由大量微观粒子(分子、原子等)组成的。每一个运动着的微观粒子都有其大小、质量、速度、能量等。这些用来描述单个微观粒子运动状态的物理量

称为**微观量**,微观量一般只能间接测量。宏观量和微观量之间存在着内在联系。宏观物体所发生的各种现象都是它所包含的大量微观粒子运动的集体表现,从而宏观量总是一些微观量的统计平均值。气体分子动理论主要研究描述气体系统的宏观量特别是状态参量与微观量统计平均值之间的关系。

压强的单位是帕斯卡,简称帕(Pa), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。体积的单位是立方米(m^3)。

9.1.3 热力学第零定律 温度

日常生活中,人们用温度来描述物体的冷热程度,认为热的物体温度高,冷的物体温度低。这种概念依赖于人的主观感觉,不但不能定量地给出系统的温度,有时甚至会得出错误的结论。温度的科学定义是建立在热力学第零定律的基础上的。

实验证明,两个冷热程度不同的系统互相接触并不受外界干扰,系统之间会通过传热交换能量。当两系统冷热程度相同时,传热就会停止,这时我们说这两个系统处于热平衡。如果系统 A 和系统 B 能分别与系统 C 处于平衡态,那么系统 A 和系统 B 也必定处于平衡态。这一结论称为**热力学第零定律**。为了描述处于热平衡的共同性质,我们引入温度的概念。由热力学第零定律可知,一切互为热平衡的系统都具有共同的温度。

实验又表明,当几个处于热平衡的系统分开后,它们将保持这个状态不变。这说明各个系统的热平衡状态时的温度仅取决于系统本身内部运动状态。事实上,温度反映的是系统大量分子热运动的剧烈程度。

热力学第零定律不仅给出了温度的科学定义,而且指出了温度的测量方法。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。再选取一个或两个特定的“标准状态”作为温度“定点”,并赋予数值就可以建立一种温标。常用的以 t 表示摄氏温标,以 1 atm ($1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$) 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为摄氏温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。另一种温标是热

力学温标,用 T 表示热力学温度,单位为开尔文,简称开(K)。该温标规定水的三相点(水、冰和水蒸气平衡共存的状态)为 273.16 K。摄氏温标和热力学温标的换算关系为

$$t = T - 273.15$$

9.1.4 理想气体状态方程

实验表明,描述气体平衡态的三个参量 p 、 V 、 T 之间存在着确定的函数关系,称为气体的状态方程或物态方程,

$$f(p, V, T) = 0$$

从上式可知, p 、 V 、 T 三个状态参量中只有两个是独立的。

一般气体,在压强不太大(与大气压比较)和温度不太低(与室温比较)时,可以看作理想气体。对于一定质量的理想气体, p 、 V 、 T 三个状态参量之间服从下列三个实验定律。

玻意耳-马略特定律: 当温度保持不变时,压强与体积的乘积等于恒量,即 $pV = \text{恒量}$ 。

盖·吕萨克定律: 当压强保持不变时,体积与热力学温度成正比,即 $\frac{V}{T} = \text{恒量}$ 。

查理定律: 当体积保持不变时,气体压强与热力学温度成正比,即 $\frac{p}{T} = \text{恒量}$ 。

从这三条实验定律,可以推导出理想气体状态方程

$$pV = \nu RT \quad (9-1)$$

式中, R 为普适气体常量,在国际单位制中, $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; ν 为气体的摩尔数,为

$$\nu = \frac{M}{M_{\text{mol}}} = \frac{N}{N_A}$$

式中, M 为气体质量; M_{mol} 为气体的摩尔质量; N 为气体的分子数; N_A 是阿伏伽德罗常量, $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ 。式(9-1)还可以进一步写成

$$p = \frac{N}{V} \frac{R}{N_A} T$$

或

$$p = nkT \quad (9-2)$$

式中 $n = \frac{N}{V}$ 为气体的分子数密度,即单位体积内的分子数; $k = \frac{R}{N_A}$ 称为玻耳兹曼常量, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 。

说明 (1) 严格满足式(9-1)的气体,称为理想气体,这是从宏观上对理想气体作出的定义。

(2) 式(9-2)是联系宏观量 p 、 T 与微观量统计平均值 n 的重要关系式。

例 9-1 容器内装有质量为 0.10 kg 的氧气,压强为 10^6 Pa ,温度为 47°C 。因为容器漏气,经过若干时间后,压强降到原来的 $\frac{5}{8}$,温度降到 27°C 。设氧气可看作理想气体,问:

(1) 容器的容积有多大? (2) 漏去了多少氧气?

解 (1) 根据理想气体状态方程, $pV = \nu RT = \frac{M}{M_{\text{mol}}} RT$, 氧气的 $M_{\text{mol}} = 32 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$, 求得容器的容积 V 为