

五年制高等职业教育通用教材

技术物理基础

(下册)

卢灿华 主编



高等教育出版社

五年制高等职业教育通用教材

技术物理基础

(下册)

卢灿华 主 编

田太和 副主编
甘祥根

段超英 主 审



高等教育出版社

内容简介

本教材是根据《中等职业学校物理教学大纲(试行)》的要求,结合五年制高职教育的特点和教学需要编写的。全书贯彻“以全面素质为基础”,“以就业为导向、以能力为本位”的职业教育指导思想,突破了传统物理教材的体例结构,体现了五年制高职教育的特点。

本教材从目前学生的心理特点和认知能力出发,注意了与初中物理知识的衔接,按最基本的教学要求编入了分子动理论和理想气体物态方程、物态变化和热力学第一定律、静电场、恒定电流、电流与磁场、电磁感应、电磁波、光的本性、原子核物理初步等基本知识,内容既浅显易懂,又能为后续课程的学习打下基础,有利于学生全面素质和综合职业能力的提高。

本教材适用于初中起点的五年制高职物理教学,也可供中职学校使用。

图书在版编目(CIP)数据

技术物理基础.下册/卢灿华主编. —北京:高等教育出版社,2006.1

ISBN 7-04-018233-5

I. 技... II. 卢... III. 物理学-高等学校:技术学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 146147 号

策划编辑 段宝平 责任编辑 段宝平 封面设计 李卫青 责任绘图 杜晓丹
版式设计 王艳红 责任校对 俞声佳 责任印制 韩刚

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 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京原创阳光印业有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.25
字 数 290 000

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.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006年1月第1版
印 次 2006年1月第1次印刷
定 价 15.80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 18233-00

前 言

本教材是根据《中等职业学校物理教学大纲(试行)》的要求,结合五年制高职教育的特点和教学需要编写的。

为了贯彻“以全面素质为基础”和“以就业为导向、以能力为本位”的职业教育教学指导思想,培养具有实践能力、创业能力和创新精神的应用型人才,本教材在编写中着眼于积极开发教材的素质教育功能,突破了传统物理教材的体例结构,在内容、形式、风格上实行了一些改革和创新,体现了五年制高等职业教育的特色。

为了便于因材施教,适应目前教学改革中的分层次教学的需要,本教材按三种教学要求设置了三个层次的教学内容,既有利于不同基础的学生学习,也便于不同院校不同专业对教材内容的选择。

第一层次的内容为力学(机械振动与机械波除外)和部分电学(静电场 § 11.5 以后的内容除外),它既是最低层次的内容,也是三个层次要求的共同内容。该层次内容中相应的例题、习题按三个不同层次的要求选编。第二层次的内容是在第一层次内容的基础上增加几何光学、机械振动和机械波、部分电学、热学的内容,增加的章节标题上标注 * 号。相应的例题、习题按二、三两个不同层次的要求选编。第三层次的内容是在第二层次内容的基础上增加物理光学、原子核物理学的内容,增加的章节标题上标注 * * 号。完成三个不同层次内容的建议教学时数分别为 100、140、168 学时。

为了着眼于对学生实践能力和创新精神的培养,本教材对每一个知识点都采用了“三步到位”的写法,即第一步引入知识,第二步阐述知识,第三步运用知识(包括科技上的运用和学生在实践中的运用)。

教材在引入知识的过程中,力求营造一个对学生进行能力培养的“渠道”和创新思维培养的“空间”。我们选用一个与知识点内容密切相关的有科学性、实用性、思想性的实例,在叙述实例中引出知识点。接着在[想一想]栏中设问。所设问题都是学生迫切求答的问题,架起实例与物理知识间的桥梁,引导学生从实际的现象中去积极地思考问题。然后尽可能地设置演示实验,创设情景,引导学生去观察现象,分析问题,获得思维技能的训练和感性认识。希望这一步真正起到培养学生观察、分析、联想、推理等思维能力的的作用,培养学生自觉观察周围事物的习惯,产生激发学生的求知欲的作用。

第二步,即知识的叙述。我们改革了过去单纯阐述物理知识的写法,尽可能地创设一种研究性学习的氛围,抓住前面[想一想]栏中设置的问题,顺应学生迫切解惑的心理展开对知识的阐述。在引导学生分析、综合、归纳、演绎的过程中,将感性认识上升到理性知识。这部分内容是课文的中心内容,单独用宋体字印刷,各章节的这部分内容可联成一个系统,便于学生阅读时抓住重点和要领。

第三步是运用知识指导实践。在教材的这部分创设了一些相应的栏目,开辟了学生联系实

际运用物理知识的渠道和展示自己创造技能的空间。

在[小实验]、[试试看]、[观察与思考]栏中,设置了将理论与实践相联系的实验及实践研究的小课题,使学生通过动手操作,加深对理论的理解。

为了增强教材的科技性、实用性、趣味性和时代性,开阔学生的眼界,扩大学生的知识面,在[科技之窗]、[知识博览]栏中,介绍了与所学知识有关的现代科技、生产实践、日常生活、自然现象中的事物。在[知识博览]栏中,有时还介绍与该处知识相关的科学家,以及他们研究物理的科学精神、科学方法,使学生通过这些生动事例的“耳濡目染”,激发出爱祖国、爱科学、爱物理的激情,形成科学的世界观和方法论。

本教材在语言文字上也力求通俗易懂,形象生动,活泼有趣,贴近学生,易为高职学生接受和喜爱。

教材分上下册。鉴于目前五年制高职学生的心理特点和认知能力,在内容上我们充分注意了与初中物理知识的衔接。下册按最基本的教学要求编入了分子动理论和理想气体物态方程、物态变化和热力学第一定律、静电场、恒定电流、电流与磁场、电磁感应、电磁振荡和电磁波、光的本性、原子核物理初步等基本知识,内容浅显易懂,可为后续课程的学习打下必要的基础。

为了使用教材的方便,本书的后面附有教材中习题的参考答案。

全书使用国际单位制单位,物理量的名称符合1996年全国自然科学名词审定委员会公布的《物理学名词》。

本书由卢灿华任主编,田太和、甘祥根任副主编。卢灿华修改统稿全书,并编写第十三章、第十四章、第十五章、第十六章、第十七章。田太和编写第十一章、第十二章。甘祥根编写第九章、第十章。

本书由段超英主审。出版过程中还得到高等教育出版社的领导及编辑的大力指导、支持和帮助,特此深表感谢。不足之处,欢迎批评指正。

编者

2006年2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

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：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

* 第九章 分子动理论 理想	
气体物态方程	1
§ 9.1 布朗运动与分子动理论	1
§ 9.2 气体的状态参量	4
§ 9.3 气体实验定律	8
§ 9.4 理想气体物态方程	11
§ 9.5 饱和蒸气 空气的湿度	15
本章小结	19
检测题	20
* 第十章 物态变化 热力学	
第一定律	22
§ 10.1 物态	22
§ 10.2 物态变化	27
§ 10.3 物体的热力学能	31
§ 10.4 热力学第一定律	34
本章小结	38
检测题	39
第十一章 静电场	41
§ 11.1 真空中的库仑定律	41
§ 11.2 电场 电场强度	44
§ 11.3 电势能 电势	48
§ 11.4 等势面 电势差及其与 电场强度的关系	51
§ 11.5 静电场中的导体	54
* § 11.6 电容器 电容	57
* § 11.7 带电粒子在匀强电场 中的运动	61
§ 11.8 静电的防止和利用	63
本章小结	65
检测题	66
第十二章 恒定电流	69
§ 12.1 电流	69
§ 12.2 电阻	70
§ 12.3 电功 电功率	73
§ 12.4 串联电路的分压作用 并联电路的分流作用	77
§ 12.5 电源 电动势	80
§ 12.6 全电路欧姆定律	83
本章小结	88
检测题	89
第十三章 电流与磁场	92
§ 13.1 磁场	92
§ 13.2 电流的磁场	95
§ 13.3 安培定律	98
§ 13.4 洛伦兹力	103
本章小结	108
检测题	109
第十四章 电磁感应	113
§ 14.1 电磁感应现象	113
§ 14.2 法拉第电磁感应定律	117
* § 14.3 交流电 发电机	121
§ 14.4 互感 自感	123
本章小结	127
检测题	128
第十五章 电磁振荡和电磁波	131
§ 15.1 电磁场 电磁波	131
§ 15.2 电磁振荡	134
§ 15.3 电磁波的发射	137
§ 15.4 电磁波的接收	140
本章小结	142
检测题	143
** 第十六章 光的本性	145

§ 16.1 光的波动性	145	§ 17.1 天然放射性	164
§ 16.2 光的电磁理论 电磁波谱	148	§ 17.2 核反应	167
§ 16.3 玻尔理论 光谱	151	§ 17.3 核能 质量亏损	171
§ 16.4 激光	154	§ 17.4 重核裂变	174
§ 16.5 光的量子说	155	§ 17.5 轻核聚变	177
§ 16.6 量子力学简介	158	本章小结	179
本章小结	160	检测题	180
检测题	161	习题参考答案	182
** 第十七章 原子核物理初步	164	附录 常用物理常量	186

*第九章

分子动理论 理想气体物态方程

热现象是大量分子无规则运动的表现。

研究热现象可以从宏观和微观结构两个方面来进行。19世纪末,分子动理论的迅速发展,为研究热现象提供了理论基础。

在本章中,我们不仅要学习分子动理论,还要学会运用分子动理论的观点理解宏观的气体状态参量及状态变化的微观本质,掌握理想气体物态方程的运用。

§ 9.1 布朗运动与分子动理论

布朗运动的发现在分子动理论的建立过程中起过重要的作用。

19世纪的科学界、哲学界关于原子是否存在的问题进行过长达半个世纪的争论。1827年,

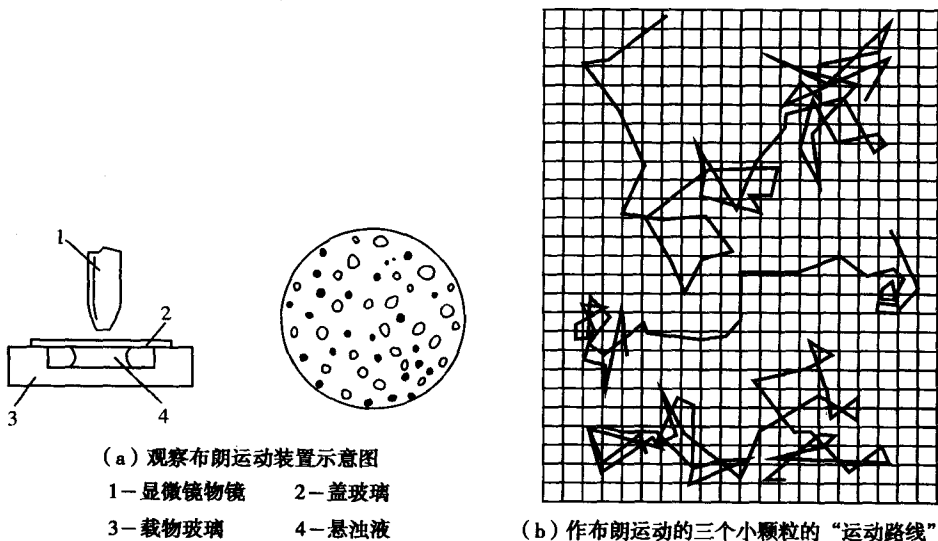


图 9.1 布朗运动

布朗在显微镜下观察到水中花粉和其他悬浮小颗粒的无规则的折线运动(图 9.1), 此类悬浮小颗粒表现出的无规则运动被人们称为布朗运动。它所呈现的规律引起了学者们的高度重视, 先后有爱因斯坦、朗之万、德耳索、佩兰等对此进行了深入研究。他们从小颗粒的曲折位移中窥测出了分子热运动的概貌。

想一想

“布朗运动”是不是我们初中学习过的“分子热运动”? 它们之间有怎样的区别与联系?

布朗运动中颗粒的直径为 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ m, 一个这样的固体颗粒包含的分子个数数以万计, 因此, 小颗粒不是分子。分子的直径很小(数量级为 10^{-10} m), 在一般显微镜下是看不见的。可见, 布朗运动不是分子热运动。

布朗运动 用图 9.1(a) 中所示的实验方法来观察水中花粉粒子的布朗运动, 结合图(b) 中显示的三颗微粒运动的径迹, 可以归纳出布朗运动有如下特点:

- (1) 悬浮微粒的运动没有规律, 时快时慢, 方向不定, 杂乱无章, 而且永不停息;
- (2) 液体温度越高, 微粒运动越激烈;
- (3) 在相同温度下, 颗粒越小, 运动越激烈。

人们发现, 布朗运动与液体分子运动有关, 组成液体的分子不停地作无规则运动, 不断地从四面八方撞击小颗粒。同一时刻, 来自各个方向撞击小颗粒的液体分子数有多有少, 撞击力也有大有小。在某一瞬间小颗粒可能因某个方向受到的撞击作用强而产生运动, 在另一瞬间小颗粒可能因在另一方向受到的撞击作用强而改变运动方向。因此, 悬浮小颗粒的运动是无规则的。

温度越高, 液体分子运动越激烈, 撞击小颗粒的频率越大, 撞击力也越大, 小颗粒的布朗运动也就越激烈。

悬浮在液体中的小颗粒越小, 液体中能同时与小颗粒周边相撞的分子数就越少, 越易发生撞击力的不平衡, 因此越能显见布朗运动的特点。相反, 悬浮在液体中的小颗粒越大, 液体中能同时与小颗粒周边相撞的分子数较多, 撞击作用更易于相互抵消, 这时布朗运动就很不明显, 难以观察。

大量分子无规则的运动叫做分子热运动。液体分子的热运动是产生布朗运动的原因, 布朗运动是液体分子无规则热运动的结果。只要颗粒足够小, 在任何液体中都可以看到这永不停息的运动。

分子间的相互作用力 在初中的物理、化学中我们知道, 一切宏观物体都是由大量的分子组成, 组成物质的分子之间有空隙。由此, 我们能看到气体被压缩, 水和酒精混合后总体积减少等现象。

水和酒精混合后总体积减少的现象还说明, 两种物质的分子热运动同时发生了扩散作用, 彼此进入了对方的间隙之中。

既然分子之间有空隙, 分子的热运动又使分子趋向于扩散, 为什么大量的分子却能聚集在一起形成固体或液体呢? 这说明分子之间存在着吸引力。当我们用力拉伸物体时, 物体能产生反抗拉伸的弹力, 就是因为分子间存在着吸引力。

为什么分子没有在引力的作用下, 紧紧的吸在一起, 反而会有空隙呢? 这是因为分子之间同时存在着排斥力。当我们用力压缩物体时, 物体会产生反抗压缩的弹力, 就是物体内部大量分子间

存在斥力的宏观表现。

研究表明,分子间同时存在着引力和斥力,它们的大小跟分子间的距离有关。在分子间能发生相互作用的距离范围内,分子间的引力和斥力都随着分子间的距离增大而减小。当分子间的距离大于 r_0 ($=10^{-10}$ m)时,分子间的斥力比引力减少得更快,这时分子间的作用力表现为引力;当分子间的距离等于 r_0 时,分子间的引力和斥力相互平衡,分子间的作用力表现为零;当分子间的距离小于 r_0 时,引力和斥力虽然都随距离的减少而增大,但是斥力比引力增大得更快,这时分子间的作用力表现为斥力。

分子动理论 布朗运动的发现,为人们认识物质分子的运动状态提供了可靠的依据,促进了分子动理论的建立。

分子动理论的基本论点是:物质由大量分子组成,分子之间有空隙;分子间存在相互作用的引力和斥力;分子在永不停息的作无规则运动,温度越高,分子热运动越激烈。

观察与思考

如图 9.2 所示,把一块洗净的玻璃板平吊在测力计的下端,称出玻璃的重量 G 。让玻璃板接触水面,并轻轻向上拉。奇怪的是测力计的示数已经比玻璃板的重量大得多了,玻璃板却还未离开水面。这是为什么?

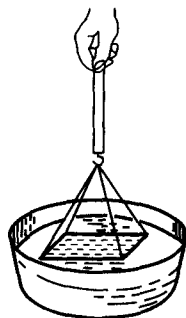


图 9.2

习题 9-1

问答题

1. 什么是布朗运动? 布朗运动有哪些特点?
2. 什么是分子热运动? 大量分子的热运动与温度有什么关系?
3. 分子动理论的基本内容是什么?
4. 为什么说布朗运动的无规则性,体现出液体分子运动的无规律性?
5. 什么是分子力? 分子间的引力和斥力是否同时存在? 在什么情况下表现为引力,在什么情况下表现为斥力?

知识博览

分子有多小

组成物质的分子很小,不但肉眼不能看到它们,就是用光学显微镜也看不到它们。

1982年,宾尼和罗雷尔两位科学家发明了能放大几亿倍的扫描隧穿显微镜,通过它能够观察物质表面分子的排列,首次实现了人类看到单个原子的理想。两位发明者因此获得了1986年的诺贝尔物理学奖。

可以用一种粗略的方法来测定分子的大小。把一滴油酸滴到水面,油酸在水面散开形成单分子油膜。如果把分子看成球形,就可以认为单分子油膜的厚度等于油酸分子的直径。先测出油酸液滴的体积,再测出油膜的面积,就可以算出油酸分子的直径。经测定,油酸分子直径的数量级是 10^{-10} m。

物理学中测定分子大小的方法有许多种,用不同的方法测出的同种分子的大小并不完全相同,但数量级是一致的。测定的结果表明,除了一些有机物质的大分子外,一般分子直径的数量级为 10^{-10} m。例如水分子直径约为 4×10^{-10} m,氢分子的直径约为 2.3×10^{-10} m。

把分子看作小球,是对分子模型的简化,实际上分子有复杂的内部结构,并不真的都是小球。

§ 9.2 气体的状态参量

以气态形式存在的物质总称为气体。

对气体的研究显然与力学中对于一个物体的研究不同。我们能用力学来描述一个宏观物体的运动状态,却不能用力学来描述一个气体分子的运动状态。对于极其微小、来去无踪的气体分子,只能对它们组成的整体进行研究。

热学的研究对象是由大量分子组成的系统(每个分子均可视为一个质点),用宏观物理量——体积、温度和压强来反映气体的整体状态,我们把这几个宏观物理量称为气体的状态参量,由气体的状态参量可以推知气体分子热运动的状况。

想一想

一个篮球中的空气体积是多少? 篮球中的空气对篮球有压力吗?

体积 V 气体分子可以自由移动,很容易扩散,因此气体的体积等于它所处容器的容积,或者说等于它所占据空间的体积。一只篮球内的空气体积就等于篮球的体积。如果把篮球内的空气注入另一个体积更大的气球内(气球内原来没有气体),那么这时空气的体积就等于大气球的体积。

通常气体分子的间距比气体分子的直径大得多,所以不能把气体的体积看成是气体分子体积的总和。根据气体体积的大小,可以估算出分子间平均距离的大小,篮球内的空气在注入大气球内后,分子间的平均距离显然增大了。

在国际单位制中,体积的单位是 m^3 (立方米),也常用到它的分数单位 dm^3 (立方分米), cm^3 (立方厘米)。在国际单位制以外,还可以用L(升)、mL(毫升)作为体积单位:

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ L} = 10^{-6} \text{ m}^3$$

温度 温度是表示物体冷热程度的物理量。以分子动理论的观点看,温度表示物体内部分

子无规则运动的剧烈程度。温度越高,物体内部分子的热运动越剧烈,各个分子热运动的平均动能越大。

在国际单位制中,用热力学温标和摄氏温标来表示温度。这两种温标表示的温度间隔是相同的,物体上升(或降低)的温度(称为温度差),用这两种温标表示的结果在数值上也是相同的。不过这两种温标对零点的定义方法并不相同。

摄氏温标 t 日常所用的温标叫摄氏温标。把水当作测温物质,它在 1.013×10^5 Pa 气压下的冰点被定为零度,沸点被定为 100 度。中间分成 100 等份,每一等份代表 1 度。用这种温标表示的温度叫摄氏温度,符号为 t ,单位为 $^{\circ}\text{C}$ (摄氏度)。

中央气象台就是用摄氏温度来预报气温的。

热力学温标 T 热力学温标把摄氏温度的 -273.15 $^{\circ}\text{C}$ 作为零度,叫做绝对零度。用这种温标表示的温度叫热力学温度。符号为 T ,单位为 K(开尔文,简称开)。物体的热力学温度与分子热运动的平均动能成正比。

热力学温度和摄氏温度之间的数值关系是

$$T=t+273.15$$

为了计算简便,上式可以粗略表示为

$$T=t+273 \quad (9.1)$$

例如,在气压为 1.013×10^5 Pa 时,水的沸点 $t=100$ $^{\circ}\text{C}$,则 $T=(100+273)$ K = 373 K。

绝对零度是低温的极限,客观上是无法实现的。

在国际单位制中,热力学温度被选定为基本物理量,开尔文是 7 个基本单位之一。



图 9.3

压强 p 气体的压强是器壁单位面积上所受的力。大量气体分子的无规则热运动使得气体分子不断地碰撞容器的器壁。单个分子碰撞器壁的冲力是短暂的,但是大量分子频繁地碰撞器壁,就会对器壁产生持续均匀的压力。就像下雨时雨滴对伞面的冲力一样,单个雨滴对伞面的冲力是短暂、微小的,大量密集的雨滴接连不断地打在伞面上,就会对伞面形成一个持续的均匀的压力,如图 9.3 所示。

从分子动理论的观点看,气体的压强就是大量气体分子作用在器壁单位面积上的平均冲力。温度越高,气体分子的平均动能越大,气体的压强就越大;气体分子越密,对单位面积器壁产生的压力就越大,气体的压强也越大。

综上所述,气体的压强与气体分子数密度(单位体积的分子数)成正比,与气体的热力学温度成正比。

在国际单位制中,压强的单位是 Pa(帕斯卡,简称帕):

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

封闭在容器内气体的压强可能等于、大于或者小于大气压强。

如图 9.4 所示,当活塞静止不动时,忽略活塞与器壁间的摩擦力,容器内的气体对活塞的压力与大气对活塞的压力大小相等、方向相反。此时容器内气体的压强 p 等于大气压强 p_0 ,即

$$p=p_0$$

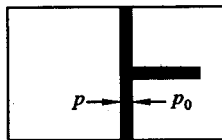


图 9.4

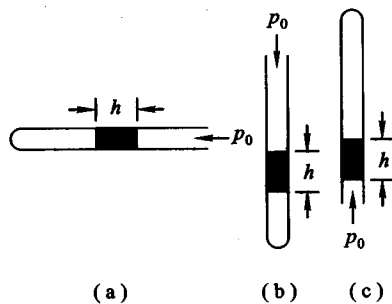


图 9.5

如果用长为 h 的一小段水银柱把气体封闭在玻璃管内(如图 9.5 所示),按三种不同方式放置,管内封闭气体的压强是不相同的。

将玻璃管水平放置,如图 9.5(a)所示。被封闭气体的压强等于大气压强 p_0 ,即 $p_a = p_0$ 。

将玻璃管开口向上竖直放置,如图 9.5(b)所示。管内封闭气体的压强 p_b 等于大气压强 p_0 与水银柱产生的压强之和,即 $p_b = p_0 + \rho gh$ 。式中 ρ 为水银的密度, g 为重力加速度。

将玻璃管开口向下竖直放置,如图 9.5(c)所示。管内封闭气体的压强等于大气压强 p_0 减去这段水银柱产生的压强,即 $p_c = p_0 - \rho gh$ 。

【例题】如图 9.5 所示,粗细均匀的细玻璃管的一端封闭,另一端用长为 19 cm 的水银柱将空气封闭在细玻璃管内。此时大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5$ Pa,求在玻璃管水平放置、开口向上竖直放置、开口向下竖直放置三种情况下,管内封闭气体的压强。($g = 9.8$ m/s²,水银密度 $\rho = 13.6 \times 10^3$ kg/m³。)

解:已知 $p_0 = 1.0 \times 10^5$ Pa, $h = 19$ cm = 0.19 m, $\rho = 13.6 \times 10^3$ kg/m³。

将玻璃管水平放置时,管内气体的压强

$$p_a = p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

将玻璃管开口向上竖直放置时,管内气体的压强

$$\begin{aligned} p_b &= p_0 + \rho gh \\ &= 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} + 13.6 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.19 \text{ Pa} \\ &= 1.25 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

将玻璃管开口向下竖直放置时,管内气体的压强

$$\begin{aligned} p_c &= p_0 - \rho gh \\ &= 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} - 13.6 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.19 \text{ Pa} \\ &= 0.75 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

答:玻璃管内封闭气体在三种情况下的压强分别是 1.0×10^5 Pa、 1.25×10^5 Pa、 0.75×10^5 Pa。



如图 9.6 所示。从一定高度缓慢倾倒一杯小钢珠,使之均匀地落向秤盘。秤盘反扣,使落到秤盘上的钢珠不会停留在秤盘上。当钢珠以一定的平均速度撞击秤盘时,从盘秤的示数上可以读到撞击时产生压力的大小,进而推知压强的大小。



图 9.6

1. 在距秤盘 15 cm 的高处, 分别用 14 s、7 s 时间, 两次持续均匀地倾倒小钢珠。使两次落向秤盘小钢珠与秤盘碰撞的速度相同, 但密度不同。观察盘秤两次读数有什么不同。

2. 用 7 s 时间分别从 15 cm、30 cm 高处两次持续均匀地倾倒钢珠, 使两次落向秤盘的小钢珠密度相同, 但与秤盘碰撞的速度不同。观察盘秤的读数有什么不同。

从上述实验中体会气体压强与气体分子数密度和分子平均动能的关系。

习题 9-2

计算题

1. 当大气压强为 1.013×10^5 Pa 时, 相当于多少厘米水银柱产生的压强? 已知水银的密度 $\rho = 13.6 \times 10^3$ kg/m³, $g = 9.8$ m/s²。

2. 在图 9.5 中, 如果水银柱的长度为 20 cm, 大气压强为 1.0×10^5 Pa, 被封闭的气体的压强在玻璃管开口向上竖直放置、开口向下竖直放置、水平放置时的压强各是多少帕?

3. 水银压强计如图 9.7 所示。已知大气压强为 1.0×10^5 Pa、水银柱高 $h = 10$ cm, 求在 (a)、(b) 两种情况下封闭端内气体的压强。

4. 在水深 10 m 处有一气泡, 求泡内气体的压强 (大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5$ Pa)。

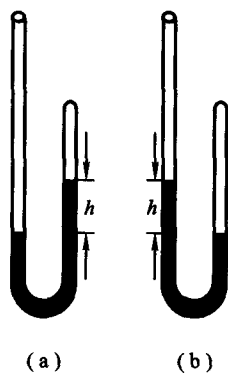


图 9.7



温度计的发明与改进

公元前 200—公元前 100 年间, 古希腊菲隆和希隆各自制造过一种以空气膨胀为原理的测温器。

1592 年, 伽利略将玻璃管与玻璃泡相连, 管内充以有色液体, 倒置于盛有此液体的杯中。被测物体与泡接触时, 泡内空气就会因热胀冷缩而发生体积变化, 使有色液柱上升或下降, 由玻管上的刻度读出“热度”。这是有史以来的第一支有刻度的气体温度计。这种温度计的测量范围极其狭窄。

1611 年, 桑克托留斯对伽利略的气体温度计进行了改进, 制成一种蛇状玻璃管气体温度计。玻管上有 110 个刻度, 可测体温。

1629 年, 物理学家约瑟夫·德米蒂哥的《花园中的喷泉》出版了, 书中记载了盛有白兰地的玻璃泡温度计。这是人类第一支较准确的温度计。

1631—1632 年, 法国化学家詹·雷伊把伽利略温度计的玻璃管转过来, 制成了第一支用水作工作物质的温度计。此温度计管口未密封, 因水蒸发造成的误差较大。

1641 年, 意大利托斯卡纳大公爵费迪南二世发明了第一支以酒精为工作物质的温度计。1644—1650 年, 红色酒精温度计得到改进, 它的玻璃管口封住, 玻璃管上标有刻度。这种温度计已经具有现代温度计的雏形。

1646 年, 意大利物理学家莱纳尔第尼主张以水的冰点和沸点作为温度计刻度的两个定点。

1658 年, 法国天文学家伊斯梅尔·博里奥制成第一支用水银作工作物质的温度计。

1782 年, 英国韦奇伍德和德国塞格尔各自发明了测定火焰温度或炉温用的温度计。

1821—1822 年, 德国塞贝克发现热电(温差电)现象, 并认识到可制成热电偶(即温差电偶)

来测温度。1830年便出现了这种温差电偶,用它还可探测红外线。选用适当的导体或半导体作热电偶材料,可以测量很宽的温度范围($-50\sim 1\ 600\text{ }^{\circ}\text{C}$)。若用特殊热电偶材料,测量范围可扩大到 $-180\sim 2\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这显然是酒精或水银温度计办不到的。

19世纪60年代初,英国医生阿尔伯特发明了现在的体温计。这种温度计的细管内有一段特别狭窄,体温计离开被测人体后,水银在这段狭窄处中断而水银柱并不下降。

1881年,兰利用涂黑的铂带作为热敏元件制成辐射热测量计。

现在,温度计的种类很多,测量范围的差别很大,用途很广。光学高温计可测 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上高温,光度计可测星球表面温度,红外显微镜可测 $10\sim 100\ \mu\text{m}$ 大小的点的温度。

§ 9.3 气体实验定律

在物理学中,当需要研究两个以上的物理量之间的关系时,往往在确定其他量不变的情况下,先研究其中两个量之间的关系。在气体的体积、温度、压强三个状态参量中,我们可以先确定其中任意一个量不变,用实验来研究另外两个量的关系。

想一想

把打气筒的出口堵住,往下缓慢地挤压打气筒的活塞,越往下压越费劲。在这个过程中,筒内气体的状态参量哪些发生了变化?哪些没有发生变化?

很显然,这个过程中筒内气体的温度几乎没有变化,压强增大了,体积减小了。这个过程可以看作是个等温过程。

等温变化 气体在温度保持不变的情况下发生的状态变化叫等温变化。

英国科学家玻意耳于1662年,法国科学家马略特于1676年先后分别通过实验研究,各自独立发现了如下规律。

一定质量的某种气体,在温度保持不变时,它的压强跟体积成反比,即

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

或

$$pV = C(\text{常量}) \quad (9.2)$$

这个结论叫做玻意耳定律。

从上述结论我们可以看出,对于一定质量的气体,如果保持温度不变,体积缩小到一半,压强就增大一倍;反之,体积增大一倍,压强就缩小到一半。

我们还可以通过如图9.8所示的实验来验证一定质量的气体压强与体积的关系。用一段水银柱将一部分空气封闭在细玻璃管内。将管口向上竖直放置(如图9.8(a)所示)与管口向下竖直放置(如图9.8(b)所示)相比较,我们看到,图(b)中封闭气体的压强更小,体积更大。若此时大气压强为 p_0 ,则图(a)中所示封闭气体的压强 $p_a = p_0 + \rho gh$,体积为 V_a ;图(b)中所示的封闭气体压强 $p_b = p_0 - \rho gh$,体积为 V_b 。代入(9.2)式就可以验证 $(p_0 + \rho gh) \cdot V_a = (p_0 - \rho gh) \cdot V_b$ 。

对于一定质量的气体,当体积增大时为什么压强反而变小了呢?

从分子动理论的观点来看,对于一定质量的气体,温度不变说明分子热运动的平均动能不变。如果体积缩小到一半,单位体积内的气体分子数(即气体分子数密度)增大一倍,因而单位时间内气体分子对器壁碰撞的次数增大一倍,压强也就增大一倍了;反之,如果气体体积增大一倍,气体的压强也就减小到一半。

【例题 1】 如图 9.8 所示,在一端封闭粗细均匀的细玻璃管中,用 16 cm 长的水银柱封住适量的空气。当把玻璃管开口向上时管内的空气柱长 15 cm,此时大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5$ Pa。当开口向下时管内空气柱的长度是多少?

解: 设玻璃管的横截面积为 S ,在两种情况下空气柱的长度分别为 L_a, L_b 。管内封闭气体在状态变化中温度保持不变。

已知 $h = 16 \text{ cm} = 0.16 \text{ m}, p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}, L_a = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$ 。

玻璃管开口向上竖直放置时,空气柱体积 $V_a = L_a \cdot S$,压强 $p_a = p_0 + \rho gh$,其中

$$\begin{aligned} \rho gh &= 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.16 \text{ m} \\ &= 2.1 \times 10^4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

根据玻意耳定律 $p_a V_a = p_b V_b$,有

$$(p_0 + \rho gh)L_a S = (p_0 - \rho gh)L_b S$$

$$\text{所以 } L_b = \frac{(p_0 + \rho gh)L_a}{(p_0 - \rho gh)} = \frac{(1.0 \times 10^5 + 2.1 \times 10^4) \text{ Pa} \times 0.15 \text{ m}}{(1.0 \times 10^5 - 2.1 \times 10^4) \text{ Pa}} = 0.23 \text{ m}$$

答:玻璃管开口向下时管内空气柱长 0.23 m。

等容变化 在气体体积保持不变的情况下发生的状态变化叫做等容变化。

1787 年法国科学家查理通过实验发现,一定质量的某种气体,在体积不变的情况下,它的压强跟热力学温度成正比。即

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (9.3)$$

或

$$\frac{p}{T} = C(\text{常量})$$

这个规律叫查理定律。我们可以用图 9.9 的实验来验证。

用长为 h_1 的水银柱把气体封闭在竖直放置的玻璃管内,如图 9.9(a)所示。设大气压强为 p_0 ,封闭在管内气体的压强为 p_1 ,温度为 T_1 ,并且 $p_1 = p_0 + \rho gh_1$ 。将玻璃管竖直放置在温度为 $T_2 (T_2 > T_1)$ 的热水中(图 9.9(b))。若要保持气体体积不增加,则需要再注入一段水银柱,使水银柱高增为 h_2 ,此时 $p_2 = p_0 + \rho gh_2$ 。通过计算我们可以验证

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

一定质量的气体体积不变时,为什么温度升高,压强会增大呢?

以分子动理论的观点看,一定质量气体的体积不变,说明气体的分子数密度不变。因而在相同时间内,对器壁单位面积上碰撞的分子数不变。温度升高了,气体分子热运动的平均动能增大,气体分子对器壁

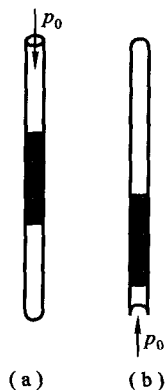


图 9.8

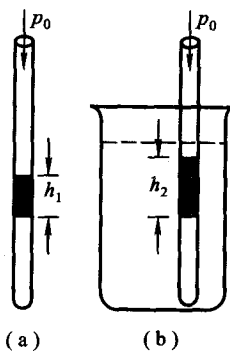


图 9.9