

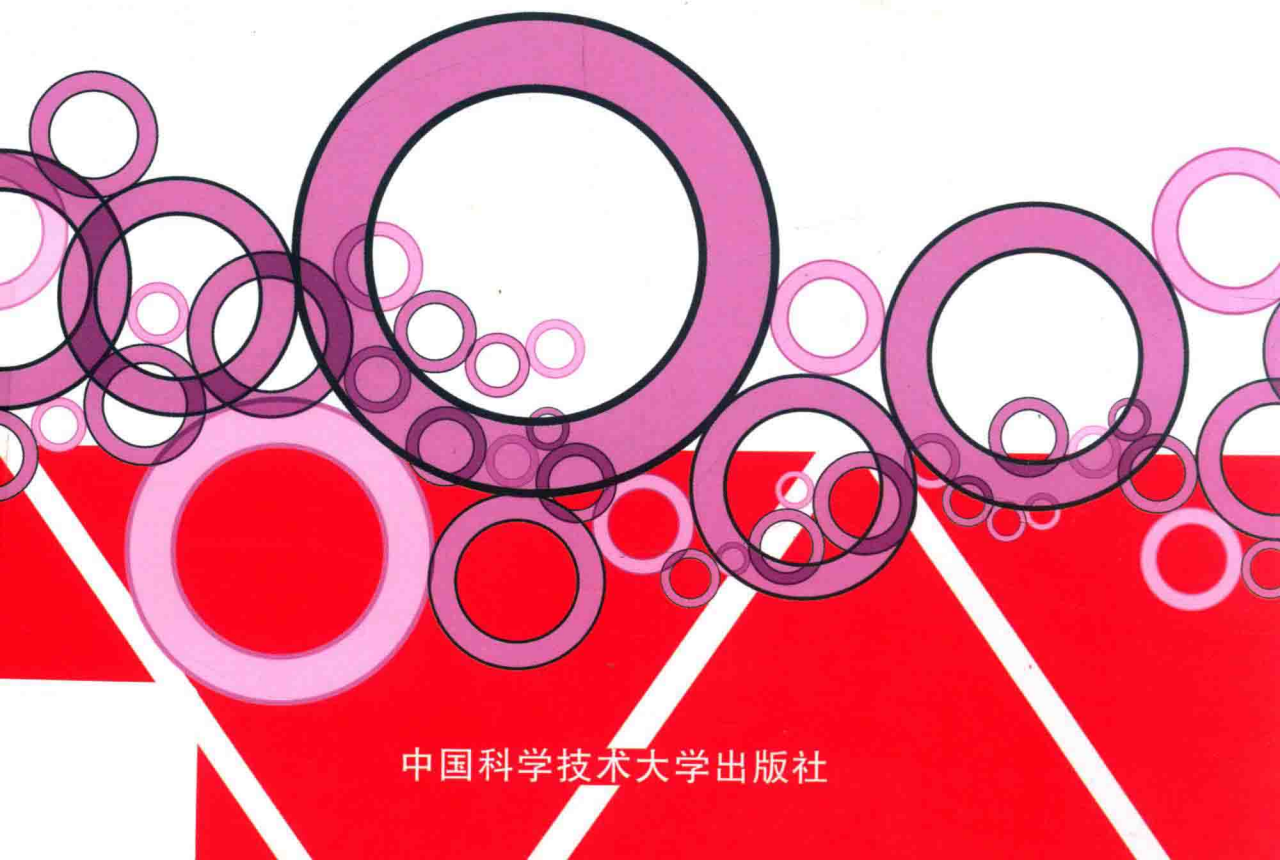
中学物理奥赛辅导

ZHONGXUE WULI AOSAI FUDAO

热学 · 光学 · 近代物理学

REXUE GUANGXUE JINDAI WULIXUE

崔宏滨 编著



中国科学技术大学出版社

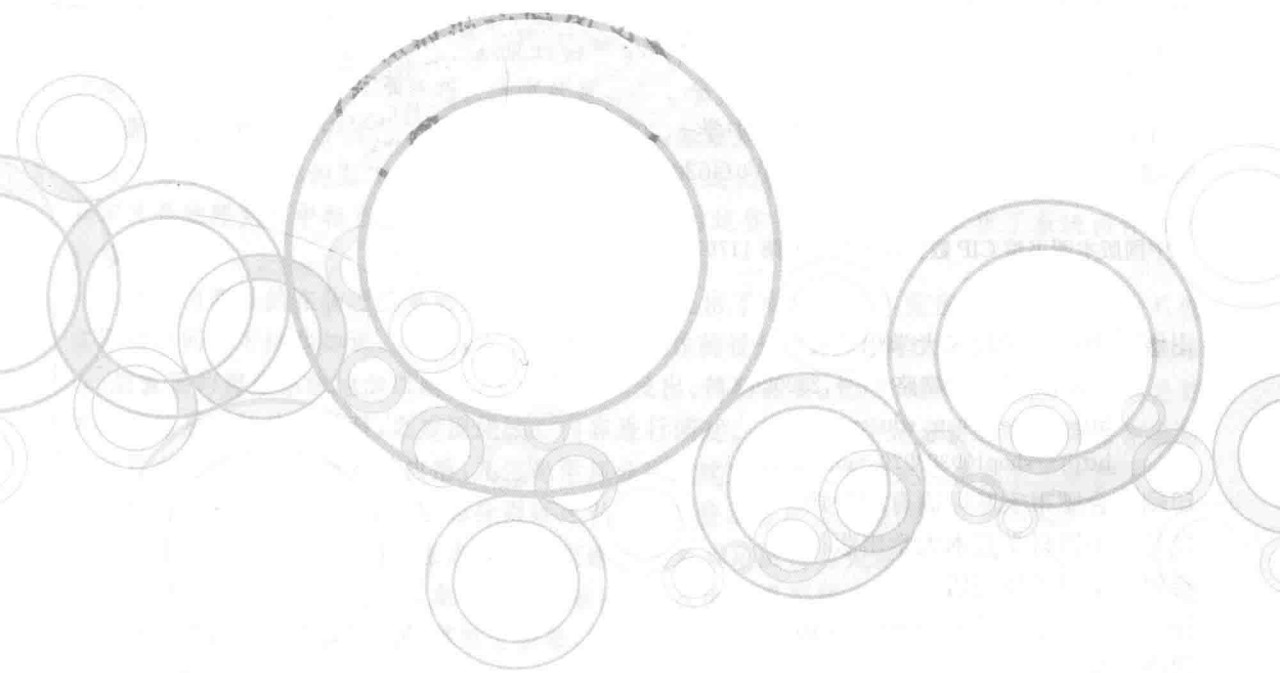
中学物理奥赛辅导

ZHONGXUE WULI AOSAI FUDAO

热学 · 光学 · 近代物理学

REXUE GUANGXUE JINDAI WULIXUE

崔宏滨 编著



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是为高中生参加全国中学生物理竞赛(也称“物理奥赛”)而编写的一本辅导教材,内容包括热学、光学、狭义相对论、原子物理及核物理。上述内容是物理学的重要组成部分,也是近代物理学发展和应用的主要领域。据作者粗略统计,这些内容在历年的竞赛试题中约占 35%。为了便于学生自学,一方面,对每一部分内容都从实验和理论方面进行了详细的论述;另一方面,列举了大量的习题,并进行了详细的解答,特别是对历年的竞赛题目,都采用与参考答案不同的方法进行了讲解,并对部分试题加以点评。这样做的目的,是使读者学有所得,能对光学、热学和近代物理学的基础内容有较全面和正确的认识,使自己已有的物理知识进一步深化,从而使读者具备坚实的物理基础,能够处理较复杂的物理问题。

本书采用高中阶段的数学知识处理所涉及的问题。例如,对于光的干涉、衍射,用振幅矢量法进行讲解,从而避免了复数和积分的运算;对于波粒二象性的内容,则从相关的实验总结出相应的结论,等等。

本书既便于学生自学,也可供中学教师作为参考资料使用。

图书在版编目(CIP)数据

中学物理奥赛辅导. 热学·光学·近代物理学/崔宏滨编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2012.6(2016.10 重印)

ISBN 978-7-312-02996-7

I. 中… II. 崔… III. ①热学—中学—教学参考资料 ②光学—中学—教学参考资料
③物理学—中学—教学参考资料 IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 117975 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

<http://shop109383220.taobao.com>

印刷 合肥市宏基印刷有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

印张 26.75

字数 663 千

版次 2012 年 6 月第 1 版

印次 2016 年 10 月第 7 次印刷

印数 30001—36000 册

定价 49.00 元

前言

物理学是一门实验科学,同时,物理学的各个分支都是一个完整的理论体系,都具有完备的数学逻辑。这是物理学的特征,也体现了牛顿的关于物理学是“自然哲学的数学原理”的思想。对于牛顿的上述思想,可以这样理解:物理学的研究对象是自然界中物质的运动、作用和结构的基本规律,这些规律必须从实验中得到,也必须要用数学知识加以阐述,要用数学逻辑进行推导。这样,物理学才能在各个部分之间建立起合理的关系,才能形成一个理论体系,才能较方便地进行推理、验证和推广,并作为一门学科,一种基础知识,可被越来越多的公众所理解和接受。

事实正是如此。由于物理学的正确和严谨,物理学的知识迅速得到发展和普及,从事物理研究的人越来越多,所获得的成果也越来越多,从而对人类的进步和社会的发展产生了巨大的推动作用。第一次工业革命,就是经典的力学、热学所导致的机械和热机在生产中应用的结果。20世纪,更是相对论、量子力学的发展和应用导致了各种新技术的产生,从而推动了社会的重大进步。

全国高中生物理竞赛自1984年开办以来,至今已举办了28届。这样的全国性物理竞赛,对提高广大中学生学习物理的兴趣、促进物理知识的普及起到了很好的作用,并使学生了解和掌握处理物理问题的方法和技巧。本书就是针对参加竞赛的学生而编写的一本辅导教材,主要讲述热学、光学、狭义相对论、原子物理与核物理的基础知识。在中学阶段,学生大多较系统地学习了力学、电磁学的基础知识,但对热学、光学以及近代物理学的知识却了解得较少,而这些知识又是物理竞赛中相当重要的部分。因此,本书对这些内容的基础知识作了系统而详细的介绍。

这些内容虽然在物理竞赛的知识范围内,但却超出了中学的教学范围,因而多数学生只能在课余时间学习这些知识。因此,本书在构思和写作的过程中,尽量将这些内容中最基本、最核心、最重要的部分系统地加以阐述,又力求深入浅出、简明扼要。为了做到这一点,每一单元都首先介绍重要的物理模型,之后围绕核心内容进行阐述。例如,热学部分讲述在平衡态和准静态过程中的热力学定律及其应用;几何光学部分讲述建立在三大实验定律基础之上的以光线为模型的高斯成像理论;波动光学部分则讲述以光波的叠加原理为基础的高频电磁辐射的相干叠加和非相干叠加;相对论部分重点阐述以光速不变为基础的时空关联和时空变换关系;量子力学部分则从实验上讲述波粒二象性的物理基础,以及由此得到的量子态和不确定原理;原子物理部分讲述以卢瑟福核式结构模型为基础、基于量子原则的玻尔原子理论;原子核部分,一方面讲述原子核的构成和粒子的简单分类,另一方面讲述粒子之间的相互作用所遵循的守恒律。对每一部分,都兼顾实验的准确性和理论的完整性。

为了使學生能够对这些内容有较深刻的认识并且可以灵活地运用,书中列举了大量结合实际的例题,并对部分竞赛试题用独特而巧妙的方法加以求解。例如,历来求解光束通过光楔的问题,都是采用折射定律进行推算的,这样做,既繁琐,又要在计算过程中多次采用近似方法加

以处理。本书则将这一过程作为两次连续的成像过程进行处理,非常简洁地得到了答案,因为成像公式是已经作过傍轴近似的定理,故用以解决这类问题,就无需再从基本的近似做起。书中类似的例题还有许多,相信学生在阅读之后一定会有新的体会。

最后,作者希望学生能够具有这样的认识:尽管物理学始终在不断地发展,不断地取得新成果,并将新成果转化为最新的技术,但是,物理学是整个自然科学最重要的基础,也是现代社会成员必备的基础知识。所以,不管将来学习什么专业,从事何种行业,坚实的物理基础一定会使你在成功的道路上跑得更快、走得更远。

书中难免有不足或疏漏之处,作者诚恳地希望读者能够发现并指出书中的错误和不足,以便有机会加以改正。

崔宏滨

2012年5月15日于中国科学技术大学

目 次

前言	(i)
第 1 章 热现象及其微观机制	(1)
1.1 描述热现象的物理参量	(1)
1.1.1 体积	(1)
1.1.2 压强	(1)
1.1.3 温度与温标	(3)
1.2 热平衡	(9)
1.2.1 平衡态	(9)
1.2.2 热力学第零定律	(10)
1.3 理想气体的状态方程	(10)
1.3.1 阿伏伽德罗定律	(10)
1.3.2 玻意耳定律	(11)
1.3.3 盖·吕萨克定律	(13)
1.3.4 查理定律	(14)
1.3.5 气体的状态方程	(14)
1.3.6 道尔顿定律	(19)
1.4 分子的热运动	(20)
1.4.1 气体、液体、固体中的分子	(20)
1.4.2 分子的热运动	(21)
1.4.3 建立热平衡的微观过程	(21)
1.5 系统的内能	(21)
1.5.1 分子的动能	(22)
1.5.2 分子间的势能	(22)
1.6 热与功	(23)
1.7 气体分子运动论基础	(23)
1.7.1 理想气体的微观模型	(23)
1.7.2 气体分子运动的特点	(24)
1.7.3 气体压强的微观机制	(25)
1.7.4 气体温度的微观机制	(26)
1.8 实际气体的状态方程	(29)
1.9 热量的测量	(31)
1.10 热传递的各种形式	(33)

1.10.1	热传导	(33)
1.10.2	热对流	(37)
1.10.3	热辐射	(37)
第2章 物态及物态变化		(43)
2.1	固态	(43)
2.1.1	晶体	(43)
2.1.2	非晶态	(45)
2.1.3	准晶态	(45)
2.1.4	固体的热膨胀	(45)
2.2	液态	(47)
2.2.1	液体的表面张力	(48)
2.2.2	表面张力引起的压强	(49)
2.2.3	液体与固体表面之间的附着力	(51)
2.2.4	浸润	(52)
2.2.5	接触角	(53)
2.2.6	毛细现象	(53)
2.3	熔化与凝固	(57)
2.3.1	熔点	(58)
2.3.2	熔化热	(58)
2.3.3	凝固	(58)
2.4	升华与凝华	(58)
2.5	汽化与液化	(59)
2.5.1	蒸发	(60)
2.5.2	饱和气与饱和蒸气压	(60)
2.5.3	沸腾	(62)
2.5.4	汽化热	(65)
2.5.5	液化与临界温度	(65)
2.5.6	空气的湿度	(66)
2.5.7	露点	(66)
2.6	三相图	(67)
第3章 准静态过程与热力学第一定律		(69)
3.1	准静态热力学过程	(69)
3.2	功	(70)
3.3	热量	(71)
3.4	内能	(72)
3.5	热力学第一定律	(72)
3.6	热力学第一定律对理想气体的应用	(73)
3.6.1	焦耳实验	(73)
3.6.2	焦耳-汤姆孙实验	(73)

3.6.3	理想气体的内能表达式	(75)
3.6.4	定容过程	(76)
3.6.5	定压过程	(76)
3.6.6	等温过程	(76)
3.6.7	绝热过程	(77)
第4章	热力学循环与热力学第二定律	(104)
4.1	循环过程	(104)
4.2	热机循环	(105)
4.3	制冷机循环	(107)
4.4	热过程的不可逆性	(109)
4.5	热力学第二定律	(110)
第5章	几何光学的物理基础	(112)
5.1	光线与几何光学的实验定律	(112)
5.1.1	光线模型	(112)
5.1.2	几何光学的实验定律	(113)
5.2	费马原理	(117)
5.3	光在平面上的反射	(118)
5.4	光在平面上的折射	(121)
5.4.1	折射光成像	(121)
5.4.2	棱镜	(123)
5.4.3	全反射	(126)
5.4.4	全反射棱镜	(132)
5.4.5	全反射光纤	(134)
5.4.6	虹与霓	(138)
5.5	变折射率光学	(139)
5.5.1	变折射率介质	(139)
5.5.2	光线方程	(139)
第6章	透镜与透镜组的成像	(145)
6.1	成像的基本概念	(145)
6.1.1	从盲人摸象说起	(145)
6.1.2	光学成像的基本要素	(145)
6.2	傍轴光经球面折射成像	(148)
6.2.1	单球面折射成像	(148)
6.2.2	轴外物点成像	(150)
6.2.3	横向放大率	(151)
6.2.4	焦平面	(152)
6.2.5	几何光学的符号约定	(154)
6.2.6	作图法	(157)
6.3	傍轴光经球面反射成像	(159)

6.3.1	球面反射的物像公式	(159)
6.3.2	球面镜成像的特点	(161)
6.3.3	球面镜成像的作图法	(161)
6.4	傍轴光经薄透镜成像	(162)
6.4.1	薄透镜	(162)
6.4.2	薄透镜成像的物像公式	(163)
6.4.3	薄透镜成像的作图法	(168)
6.5	透镜组成像	(178)
6.5.1	透镜组成像的计算	(179)
6.5.2	透镜组成像的作图	(181)
6.6	焦距的实验测量	(199)
6.6.1	正镜焦距的测量	(200)
6.6.2	负镜焦距的测量	(201)
6.7	非傍轴光成像	(202)
6.7.1	透镜组的阿贝正弦条件	(203)
6.7.2	球形齐明透镜与齐明点	(203)
6.7.3	齐明透镜组	(205)
第7章	光学成像仪器	(206)
7.1	眼睛	(206)
7.1.1	眼睛的光学特性	(206)
7.1.2	视力的矫正	(208)
7.2	目镜	(209)
7.2.1	放大镜	(209)
7.2.2	显微镜和望远镜中的目镜	(210)
7.3	物镜	(212)
7.3.1	照相物镜	(212)
7.3.2	显微物镜	(215)
7.4	显微镜	(215)
7.4.1	显微镜的结构	(215)
7.4.2	显微镜的标志	(216)
7.5	望远镜	(217)
7.6	照相机	(219)
第8章	波动光学基础	(223)
8.1	光波场	(223)
8.1.1	光是交变电磁场	(223)
8.1.2	光波场的周期性	(224)
8.1.3	定态光波	(226)
8.1.4	光是矢量波	(226)
8.1.5	光强	(227)

8.1.6 光的传播	(228)
8.2 定态光波的数学表示	(230)
8.2.1 矢量表示与标量表示	(230)
8.2.2 定态光波的描述	(230)
8.2.3 定态光波按波面的分类	(231)
8.2.4 有关光波的几个概念	(235)
8.3 光程与相位	(236)
8.3.1 光程	(236)
8.3.2 相位的超前与滞后	(238)
8.4 傍轴条件与远场条件	(240)
8.5 光波的叠加	(242)
8.5.1 光波的叠加原理	(242)
8.5.2 光波的叠加方法	(242)
8.5.3 光波的叠加强度	(244)
8.6 光的偏振特性	(248)
8.6.1 横波的偏振性	(248)
8.6.2 起偏与检偏	(250)
8.7 光的各种偏振态	(250)
8.7.1 普通光源的发光机制	(250)
8.7.2 自然光	(251)
8.7.3 平面偏振光(线偏振光)	(252)
8.7.4 部分偏振光	(254)
8.7.5 圆偏振光	(254)
8.7.6 椭圆偏振光	(255)
8.8 光与物质的相互作用	(260)
8.8.1 光的吸收	(260)
8.8.2 光的色散	(261)
8.8.3 光的散射	(263)
第9章 光的干涉	(265)
9.1 杨氏干涉与相干光的获得	(265)
9.1.1 普通光源的相位	(265)
9.1.2 相干光的获得	(266)
9.1.3 杨氏干涉	(266)
9.1.4 干涉的特点	(267)
9.2 两列相干光的干涉花样	(267)
9.2.1 两个点光源的干涉	(267)
9.2.2 两个线光源的干涉(双缝干涉)	(269)
9.2.3 干涉条纹的可见度(反衬度)	(270)
9.2.4 两列平行光的干涉	(270)

9.3 光的干涉装置概述	(272)
9.4 分波前的干涉装置	(272)
9.4.1 菲涅耳双面镜	(272)
9.4.2 劳埃德镜	(274)
9.4.3 菲涅耳双棱镜	(274)
9.5 薄膜干涉	(277)
9.5.1 等倾干涉	(277)
9.5.2 等厚干涉	(282)
9.6 分振幅的干涉装置	(284)
9.6.1 迈克尔森干涉仪	(284)
9.6.2 马赫-曾特干涉仪	(287)
9.6.3 干涉滤光片	(287)
9.6.4 牛顿环(圈)	(289)
9.7 光的空间相干性与时间相干性	(290)
9.7.1 光波场的空间相干性	(291)
9.7.2 光场的时间相干性	(294)
第10章 光的衍射	(297)
10.1 惠更斯-菲涅耳原理	(297)
10.1.1 次波模型	(297)
10.1.2 次波的相干叠加	(298)
10.2 夫琅禾费单缝和矩孔衍射	(301)
10.2.1 夫琅禾费衍射装置	(301)
10.2.2 单缝衍射强度分布	(302)
10.2.3 单缝衍射花样的特点	(303)
10.2.4 夫琅禾费矩孔衍射	(305)
10.3 夫琅禾费圆孔衍射	(306)
10.3.1 圆孔衍射的强度分布	(306)
10.3.2 圆孔衍射花样的特点	(307)
10.3.3 望远镜的分辨本领	(307)
第11章 狭义相对论	(312)
11.1 物理规律与参考系	(312)
11.2 光速不变与相对性原理	(313)
11.3 洛伦兹变换	(316)
11.3.1 时空坐标的洛伦兹变换	(316)
11.3.2 同时的相对性	(317)
11.3.3 运动时钟的延缓	(318)
11.3.4 运动尺度的缩短	(319)
11.3.5 相对论的速度变换公式	(320)
11.4 相对论力学	(321)

第 12 章 原子的结构与能级	(330)
12.1 汤姆孙的原子模型	(330)
12.1.1 电子的发现	(330)
12.1.2 葡萄干布丁模型	(332)
12.2 卢瑟福的原子模型	(332)
12.2.1 α 粒子的散射实验	(333)
12.2.2 对汤姆孙模型的否定	(333)
12.2.3 卢瑟福原子核式结构模型	(334)
12.2.4 原子核大小的估算	(335)
12.2.5 卢瑟福散射公式的意义	(336)
12.3 氢原子的光谱	(336)
12.3.1 光谱	(336)
12.3.2 氢原子的光谱	(338)
12.4 玻尔的氢原子模型	(340)
12.4.1 经典理论解释氢原子光谱的困难	(340)
12.4.2 玻尔的氢原子模型	(341)
12.4.3 氢的里德伯常数实验值与理论值的偏差	(344)
12.5 类氢离子的光谱	(345)
12.5.1 类氢离子与皮克林线系	(345)
12.5.2 氦的发现	(347)
12.6 夫兰克-赫兹实验	(347)
12.6.1 基本思想	(347)
12.6.2 夫兰克-赫兹实验的装置与结果	(347)
12.6.3 改进的夫兰克-赫兹实验装置	(348)
12.6.4 阴极射线激发光源	(350)
第 13 章 量子力学初步	(351)
13.1 量子论的实验依据	(352)
13.1.1 黑体辐射与普朗克能量子	(352)
13.1.2 光电效应与爱因斯坦光量子	(356)
13.1.3 康普顿效应	(357)
13.1.4 电子的衍射	(358)
13.1.5 电子的干涉	(360)
13.1.6 分子的衍射	(360)
13.2 物质的波粒二象性	(361)
13.2.1 德布罗意的物质波	(361)
13.2.2 物质的波动性与粒子性	(361)
13.3 波粒二象性的必然结果——量子态	(363)
13.3.1 轨道角动量的量子化	(363)
13.3.2 刚性匣子中的粒子	(363)

13.4 不确定关系	(364)
13.4.1 几个典型的例子	(365)
13.4.2 不确定关系的严格表述	(366)
13.4.3 不确定关系的物理含义	(367)
13.5 波函数及其统计解释	(368)
13.5.1 波粒二象性的数学描述	(369)
13.5.2 电子的双缝干涉实验	(369)
13.5.3 波函数的统计解释	(372)
第 14 章 原子核物理概论	(373)
14.1 原子核的基本情况	(373)
14.1.1 粒子探测器	(373)
14.1.2 物质的天然放射性	(376)
14.1.3 原子核的组成	(376)
14.1.4 原子核的大小	(380)
14.1.5 原子核的电荷与质量	(381)
14.1.6 核素	(382)
14.1.7 原子核的结合能	(383)
14.2 核力	(385)
14.2.1 核力的概念	(385)
14.2.2 核力的介子理论	(386)
14.3 放射性核衰变	(387)
14.3.1 放射性衰变的一般规律	(387)
14.3.2 α 衰变	(394)
14.3.3 β 衰变	(396)
14.3.4 γ 衰变	(400)
14.4 核反应	(402)
14.4.1 反应能与 Q 方程	(402)
14.4.2 核反应的阈能	(404)
14.5 核裂变	(404)
14.5.1 核裂变的发现及其特点	(404)
14.5.2 实现核裂变的主要方式	(406)
14.6 核聚变	(409)
14.6.1 核聚变的能量	(409)
14.6.2 核聚变的条件	(410)
参考文献	(413)

第 1 章 热现象及其微观机制

1.1 描述热现象的物理参量

在人们的生活和生产中,热现象以及对热现象的利用几乎是无处不在的。热现象的表现之一是物体和环境都有冷热之分。例如,冰与水的冷热不同;一天中的不同时刻、一年的不同季节,气候的冷热也不相同。热现象的表现之二是物质在不断的变化过程中,往往伴随着热的变化。这里所谓的变化通常有各种不同的类型,一种是物理变化,例如水结成冰要放热,冰熔化成水要吸热;另一种是化学变化,如煤炭燃烧要放热,特别是原子核的变化,要放出更多的热量,还有很多反应要吸热。热现象的表现之三是物质的相互作用也能引起热的变化。例如,电流通过导体要放热,物体受到光的辐照会变热,冷热不同的物体相接触后,冷热程度会渐趋一致。人们利用热现象的例子不胜枚举,例如冰块降温、空调取暖和制冷、蒸汽做功、核反应发电等等。

在几百年来对热现象进行研究的过程中,物理学的一个经典分支逐渐建立起来,并不断得到发展和完善,这就是热学。人们发现,热的变化会导致物质许多相关的特性变化,因而,赋予这些特性以物理上的定义,用相应的物理量描述这些特性,并根据物理实验的结果用数学逻辑将这些物理量相关联,就构成了热学理论体系的基础。以下首先介绍这些物理量的定义、标度和实验测量。

1.1.1 体积

各种形态的物质,温度改变时,体积也随之改变,因而,体积就是描述热现象的一个重要的物理参量。

若研究对象的体积不受限制,在多数情况下,温度升高,体积膨胀,温度降低,体积收缩。固体和液体就是这样的。气体总是处在容器中。对固定容积的容器,由于气体受到限制,其体积不能够随温度改变;若容器的容积可变,例如弹性容器,或带有可自由移动的活塞的容器,其中的气体的体积可以随温度而变化。

1.1.2 压强

若体积的变化受到某种限制,则温度的变化会导致压强的变化,因而压强也是研究热现象过程中一个非常重要的物理量。

在国际标准单位制中,压强的单位是帕斯卡,符号为 Pa,即牛顿/米²。1 标准大气压(符号为 atm)约等于 760 mm 水银(Hg,汞,俗称水银)柱所产生的压强,即 $1.013\,25 \times 10^5$ Pa,可见 Pa 是一个非常小的压强单位。

除了 Pa 之外,巴(符号为 bar)也常用作气体压强的单位,1 bar = 100 000 Pa;托(托里拆利,符号为 torr)是另一种气体压强的单位,等于 1 mm 水银柱产生的压强,1 torr = 1/760 atm ≈ 133.322 37 Pa。

【例 1.1】(第 19 届全国中学生物理竞赛复赛试题) 某甲设计了一个如图 1.1 所示的“自动喷泉”装置,其中 A,B,C 为三个容器,D,E,F 为三根细管。管栓 K 是关闭的。A,B,C 及细管均盛有水,容器水面的高度差分别为 h_1 和 h_2 。A,B,C 的截面半径为 12 cm,D 的截面半径为 0.2 cm。甲向同伴乙说:“我若拧开管栓 K,会有水从细管口喷出。”乙认为不可能,理由是:“低处的水自动走向高处,能量从哪儿来?”甲当即拧开 K,果然见到有水喷出,乙哑口无言,但不能明白自己的错误何在。甲又进一步演示:在拧开管栓 K 前,先将喷管 D 的上端加长到足够长,然后拧开 K,管中水面即上升,最后水面静止于某个高度。

(1) 讨论拧开 K 后水柱上升的原因。

(2) 当 D 管的上端足够长时,求拧开 K 后 D 中的静止水面与 A 中的水面的高度差。

(3) 说明水柱上升所需的能量来源。

解 (1) 如图 1.2 所示,在 A,B,C 瓶中,水面上方均有空气。其中 A 瓶中水面处的大气压为 p_0 ,由于 A,C 两瓶通过毛细管 E 相连,而 E 中有水,所以 C 瓶中水面处的压强为 $p_0 + \rho g(h_1 + h_2)$ (ρ 为水的密度),从而 C 瓶中空气的压强亦为 $p_0 + \rho g(h_1 + h_2)$ 。

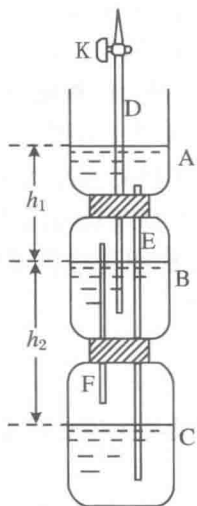


图 1.1 例 1.1 中的装置

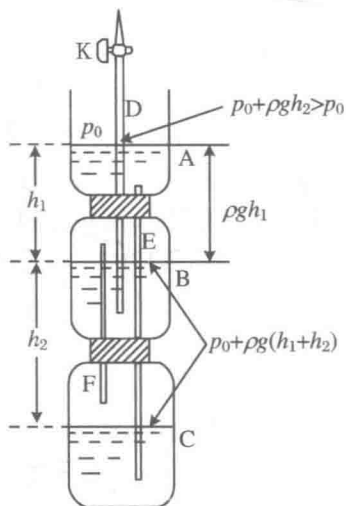


图 1.2 例 1.1 的解

B,C 瓶通过毛细管 F 相连,F 中装有空气,因而 B,C 瓶中空气的压强相等。因此,B 瓶中水面处的压强为 $p_0 + \rho g(h_1 + h_2)$ 。

毛细管 D 插入 B 瓶的水中,则 D 管在 B 瓶中水面处的压强为 $p_0 + \rho g(h_1 + h_2)$ 。若将 D 的管栓 K 开启,则 D 中的水面可上升至比 B 瓶中的水面高出 $h_1 + h_2$ 的位置,即 D 管中的水面比 A 瓶中的水面高出 h_2 ,因而 D 管中的水柱上升。

(2) 若 D 管的上端足够长,拧开 K 后,D 中的静止水面比 A 中的水面高 h_2 。

(3) 由上面的分析可知,D 管中的水面将上升,B 瓶中的水面将下降,其中空气体积增大,压强下降。从而 C 瓶中的空气进入 B 瓶,导致 C 瓶中的空气压强降低,则 A 瓶中的水通过管 E 进入 C 瓶,这样 A 瓶中的水面就要降低。所以,水柱上升的能量来源是大气对 A 中的水做

的功。

由于水瓶的截面面积是细管的截面面积的 3 600 倍,所以管中的水面上升不会导致瓶中的水面有明显改变。

1.1.3 温度与温标

毫无疑问,温度就是冷热的程度。然而,为了衡量并比较冷热程度,必须要有一套量化的、严格的,并被普遍接受的温度标定体系,这就是**温标**。

温度是物理学中最重要的参量之一。既然所有的物理量都应当是可以从实验中测量的,那么温度和温标也必须依赖于物质的某种可以量化的特性。

以下分别介绍不同温度体系的定义。

1. 经验温标:摄氏温标与华氏温标

物质的许多物理性质会随着温度而变化,例如体积、压强、电阻、温差电动势等等。如果上述性质随温度的变化是单向的,则这些物质可被用作**测温物质**,测温物质随温度变化的性质就是**测温属性**。

当然,为了得到严格而准确的温度的数值,还必须定义测温属性与温度之间的一一对应关系,也就是测温属性的量值的改变对应着单位量值温度的改变。例如,记某种测温属性的改变量为 ΔB ,相应的温度改变量为 ΔT ,则规定两者之间的变化关系为 $\Delta T = k \Delta B$ 。

在通常情况下,为了确定温度与测温属性之间严格而统一的关系,还需要选择**固定点**,并规定固定点的温度的数值。

例如,根据液体体积随温度热胀冷缩的属性而建立的**摄氏温标**是一种较早采用的温标,直至今日还在人们日常生活和生产中普遍应用。

摄氏温标是按下述规定建立的:在 1 atm 下,纯冰和纯水混合物的温度(称作冰点)是 0 度,纯水的沸点(称作气点)是 100 度,认定液体的体积随温度做线性变化,将其间体积的变化等分为 100 份,每一份体积变化对应于 1 度温度的变化。

摄氏温标的符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。

除摄氏温标之外,还有一种**华氏温标**,这种温标与摄氏温标之间的关系为:0 摄氏度对应 32 华氏度,100 摄氏度对应 212 华氏度,其间的温度被等分为 180 份,每一份是 1 华氏度。

华氏温标的符号为 $^{\circ}\text{F}$ 。

以 t_{C} , t_{F} 分别表示摄氏温度和华氏温度,则两种温标之间的关系为

$$t_{\text{F}} = \frac{9}{5} t_{\text{C}} + 32 \quad (1.1)$$

$$t_{\text{C}} = \frac{5}{9} (t_{\text{F}} - 32) \quad (1.2)$$

水银温度计是一种最常用的液体温度计。它是由一个贮有液体的玻璃泡和一段真空毛细管构成的,结构如图 1.3 所示。标定时,将贮有水银的玻璃泡与待测对象接触,其中的水银由于热胀冷缩,体积会随温度变化,因而可以导致毛细管中水银柱的高度发生变化。根据冰点和沸点在毛细管上标记 0°C 和 100°C 的位置,然后再将 0°C 和 100°C 间的毛细管等分为 100 份,则每一份就是 1°C 。 100°C 以上和 0°C 以下的部分,也按同样的方式标记。

首先,由于水银只在一定的温度范围内是液体,温度太低会凝结成固体,温度太高会变成气

体,所以水银温度计有一定的适用范围。在水银呈液态的温度区域之外,必须用其他物质作为测温物质。



图 1.3 液体温度计

其次,用这样的方式标记温度,其实是认为水银的体积膨胀与温度之间是线性关系,这样一来,温度就成了与具体的材料相关联的指标。因为,按水银温度计设定的温标,其他物质的体积不一定在很大的范围内随温度呈线性变化,所以,如果用另一种液体制作温度计,这种温度计除了 0 度和 100 度与水银温度计是严格相同的外,不能保证在其他的温度,特别是在温度较高或较低时与水银温度计测量的结果完全一致。因此,依赖于物质属性的温标就失去了作为一般性标准的意义。

除水银温度计之外,另一种常用的液体温度计是酒精温度计,其结构和标定方式与水银温度计一样。由于水银与酒精毕竟是两种不同的材料,所以严格来说,无法保证这两种温度计是完全一样的。

上述液体温度计是根据液体的体积随温度热胀冷缩的特性来测量温度的。水银、酒精等液体就是测温物质,而它们的体积随温度改变的特性就是测温属性,在 1 atm 下,水的冰点和沸点就是固定点。

可见,要建立一种温标需要三个要素:标志温度的测温物质的某种测温属性;选定的固定点;规定的测温属性随温度变化的关系。

除液体温度计外,还可以用物质的其他属性测量温度。例如,许多物质的电阻率与温度相关,所以可以用电阻与温度的关系作为测温属性,从而制成电阻温度计,其中常用的有铂电阻温度计等;不同的金属材料构成的回路中会产生与温度相关的电动势,则热电动势可用作测温属性,据此可制成热电偶温度计,如铂-铂铑热电偶温度计等;对一定体积的气体,采用其压强作为测温属性,就可制成定容气体温度计;对一定压强的气体,用其体积作为测温属性,就可制成定压气体温度计;等等。图 1.4 是几种不同的温度计在 0~100 °C 范围内测温的实验结果,其中横坐标是氢定容物温度计的读数,纵坐标是其他

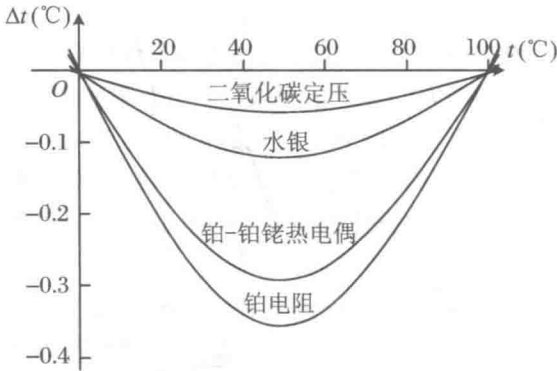


图 1.4 不同温度计测温的偏差

温度计的读数与氢定容温度计读数的差值。可见,用不同的测温物质,测温是有偏差的。

【例 1.2】 一水银温度计浸在冰水中时,水银柱的长度为 4.0 cm;浸在沸水中时,水银柱的长度为 24.0 cm。

- (1) 室温为 22.0 °C 时,问水银柱的长度是多少?
- (2) 若用该温度计测温,水银柱的长度为 25.4 cm,问这时的温度是多少?

解 水银柱的长度与温度是线性关系,由此可知,温度 t 与长度 l 必然满足方程

$$\frac{t - 0}{l - 4.0} = \frac{100 - 0}{24.0 - 4.0}$$

由此可得