

普通物理概念与 解题分析

《热学》

南开大学物理系

PTW
LGNY
JTFX

科学普及出版社

内 容 提 要

本书共有力学、光学、电学(上)、电学(下)、热学五个分册。它以阐明基本概念、提高读者分析、解决问题的能力为宗旨,是南开大学物理系有多年教学实践的几位教师在周培源、严济慈、赵景员等老教授精心指导下。按全国统编教材教学大纲的要求和顺序编写的。编者考虑到自学青年的困难和习题课的特点,采用辅助教材的形式,每章都有对读者的要求、基本概念、解题分析、习题、题解、思考题等六部分,并以其多年的教学体会和心得贯穿全书。

五个分册共选3 000题左右,每册各有特色。热学分册特别注意了在科学研究与工程实践中的应用,共选400多个习题。

本书适合理工科的学生和教师及自学普通物理的青年参考使用。

普通物理概念与解题分析

热 学

常树人 滕天奎 李子元 陈民泰 编
马根源 翁心光 潘维济 葛葆安
王淑贤 赵景员 沈寿春 校

*

责任编辑:陈金凤

封面设计:王序德

技术设计:王震宇、范小芳

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

3209工厂印刷

*

开本:787×1092毫米1/32印张,15.75 字数:346千字

1989年1月第一版 1989年1月第一次印刷

印数1—1211册 定价:8.20元

ISBN 7-110-00473-2/O·13

前 言

当前，我国广大青年为了适应“四化”建设的需要，迫切要求提高科学文化水平。有相当一部分青年已在自学大学物理课程，但不少人因缺乏必要的指导而理解课程不深不透，不能融汇贯通，遇到思考题不知如何回答。也有些人因缺少分析问题和解决问题的训练，对难度较大的计算题不知从何入手。因此，这些自学大学普通物理的读者，需要有一些着重讲基本概念和解题分析的辅导读物，而这样的书，对在校学生也应是有教益的。

葛葆安等同志组织汇编的这部《普通物理概念与解题分析》正是适应上述需要的一部参考书。它有三个特点：第一，在每章前编写了基本原理、内容要点和解题要领，有助于读者总结学过的内容和提高分析问题解决问题的能力；第二，题量大，来源广，而且每题都给出一种参考解，可启发读者思路；第三，每章都有补充题和答案，可帮助读者对照或校正自己的答卷，以检查是否正确理解学过的理论。

编者是将习题与题解分开汇编的。我希望广大青年读者要先做习题，再看题解，这才是正确的学习方法。

这部书对大学和中学的青年物理教师也是有参考价值的，对他们更好掌握教学内容和教学方法，提高教学质量都会有一定的帮助。

我希望这部书成为自学青年、青年学生等广大读者的良师益友，并将帮助他们圆满地完成大学普通物理课程的学习。

周培源 1

编 者 的 话

物理学是一门重要的基础学科，在理、工、农、医各专业学习的大学生或准备自修有关大学课程的有志青年，都必须学习普通物理学。但我们了解到，不少学生在运用物理学的概念、定律和公式去解决各种物理问题时，会遇到许多具体困难，特别是那些缺少辅导的读者，困难会更多一些，以致严重影响学习的积极性。为了帮助他们提高解题能力，在天津市物理学会和南开大学物理系的支持和赞助下，我们编写了这部大学《普通物理概念与解题分析》，有力学、热学、电学(上)、电学(下)、光学共五个分册。本书是按照全国统编教材教学大纲的要求和顺序安排的，书中的习题主要是从目前国内各种流行教材和美、苏、英等国教材中收集、整理、汇编而成的，共约3 000题，其中四分之一左右是思考题。

鉴于习题课教学是整个教学过程中的一个重要环节，本书是按辅助教材形式编写的，并将编者的教学体会和心得贯穿在各章节之中，希望能部分地弥补自学青年缺少课堂教学之不足。

通过演算习题可以帮助学生牢固掌握物理学的基础理论，加强理论联系实际的训练和提高分析问题、解决问题的能力。但在演算习题前，一定要弄懂有关的基本概念以求解题时思路明晰，逻辑性强和推理严格。在每章的开头我们简述了本章的基本概念和对读者的要求，以帮助读者复习和抓住重点，而给出解题示例是为了指导演算方法。本书的第二部分是题

解，仅供读者参考。我们不希望读者没有通过必要的努力就匆忙去看题解。如若在演算某章习题时经常遇到障碍而需求助于题解。就表明你对本章的基本内容尚未很好理解，这时，最好的办法是再认真复习这一章的基本概念，直到全部弄通为止。

在本书中我们对思考题做了一些简要回答，其目的仅在于帮助自学读者开扩思路，并借此机会与全国同行商讨这一类题的最佳解答方法。由于是初步尝试，可能有很多不妥之处，恳请读者和专家指教。

为了适应多方面的需要，编者力求多选一些类型不同的习题，并将它们分类汇编，读者可根据需要选作。编写中还特别注重了培养读者的文字方程运算能力。

本书在编写过程中，自始至终都得到周培源教授、严济慈教授和天津物理学会理事长赵景员教授的指教和支持。周培源教授在百忙中又为本书写了前言。南开大学王大燧同志和天津科协李青同志曾给予多方鼓励和支持。在此一并深表衷心感谢。

热学分册由常树人、滕天奎编写，葛葆安定稿，王淑贤校审。

1987年10月

目 录

前 言

编者的话

第一部分 基本概念、解题示例和习题

第一章	温度及气体基本定律·····	3
第二章	气体分子运动论的基本概念·····	36
第三章	气体分子热运动速率和能量的统计分布律·····	54
第四章	气体内的输运过程·····	80
第五章	热力学第一定律·····	103
第六章	热力学第二定律·····	148
第七章	固体·····	180
第八章	液体·····	193
第九章	相变·····	210

第二部分 题解

第一章	温度及气体基本定律·····	227
第二章	气体分子运动论的基本概念·····	270
第三章	气体分子热运动速率和能量的统计分布律·····	284
第四章	气体内的输运过程·····	318
第五章	热力学第一定律·····	349
第六章	热力学第二定律·····	400
第七章	固体·····	441
第八章	液体·····	452
第九章	相变·····	477

附录:

国际单位制(SI)的基本单位.....	491
本书主要物理量的 SI 导出单位.....	491
本书内国际单位制以外的单位.....	492
常数表.....	493

第 一 部 分

基本概念、解题示例和习题

第一章 温度及气体基本定律

一、要 求

- 1 深入理解平衡态（热动平衡）、热接触、热平衡的概念。
- 2 理解热力学第零定律，掌握温度的严格定义和建立经验温标的三要素，了解常见的几种温标。
- 3 熟练掌握理想气体状态方程，深入理解理想气体的定义。
- 4 熟练运用范德瓦尔斯方程。

二、基本概念和基本公式

1 平衡态 热动平衡

一个热力学系统，在无外界影响（指外界对系统既不作功又不传热）的条件下，宏观性质不随时间变化的状态叫做平衡态。

在平衡态下，组成系统的分子仍在不停地运动着，但大量分子运动的平均效果却不随时间改变，所以，这是一种动态平衡。为了与静力学平衡相区别，常把热力学中的平衡称为热动平衡。

2 状态参量

用来充分描述系统状态特性、且能够独立变化的若干个物理量，被称之为状态参量。通常，描述热力学系统平衡态

的四类状态参量为：几何参量（如体积）、力学参量（如压强）、化学参量（如各组份的摩尔数）、电磁参量（如电场强度、磁感应强度）。

3 热接触 热平衡

两系统互相接触，若它们之间能够发生传热，则称这种接触为热接触。

热平衡是两系统之间彼此长时间热接触后所达到的冷热程度上的平衡。

4 热动平衡条件

如果一个热力学系统是由几个各自均匀的部分组成，则当整个系统达到热动平衡时，应该是：

- (1) 当各部分之间有热接触时，达到了热平衡；
- (2) 当各部分之间可发生力的相互作用时，达到了力学平衡；
- (3) 当各部分之间或各部分之内有化学变化发生时，达到了化学平衡；
- (4) 当有相变发生（如水与水蒸气之间的转变、水与冰之间的转变等，详见第九章）时，达到了相变平衡。

显然，热平衡仅是达到热动平衡的四种条件之一，不当把热平衡与热动平衡混为一谈。

5 热力学第零定律（热平衡定律）

如果两热力学系统中的每一个都与第三个热力学系统处于热平衡，则这两热力学系统彼此也必定处于热平衡。

6 温度

温度是热现象中特有的一个物理量。

由热力学第零定律可以推断出：每一均匀的热力学系统都有这样一个单值状态函数（即状态参量的函数），当几个热

力学系统互为热平衡时,它们的这一状态函数就取相同数值,该状态函数被定义为温度。显然,一切互为热平衡的系统都具有相同的温度,因此,也可以说,温度是热力学系统的一个宏观性质,由这一性质可以判定该系统与其他系统是否处于热平衡。温度这一状态函数具体取值的大小,则标示热力学系统在客观上的冷热程度怎样,所以,温度的定义中还包括温度的数值表示法——温标。有的温标是理想化的,不能实用;有些温标可以用来给适当选定的标准热力学系统直接标上温度的指示数,于是便得到了温度计。热力学第零定律是用温度计测量温度的依据。

7 建立经验温标的三要素

以某种具体物质的某一特性随温度的变化来做为依据而确定的温标,叫做经验温标。

建立经验温标需采用如下三项规则:

(1) 选择某种物质的某一随温度作单调、显著变化的属性(叫做测温属性),来标志温度;

(2) 在一定范围内给出测温属性随温度变化的函数关系,其中包含有若干待定常数;

(3) 选定温度的固定点,从而确定上述函数关系中的常数。

8 常见的几种温标

(1) 历史上曾经使用过的华氏、摄氏和列氏温标

假设测温物质的属性 X 随温度 t 作线性变化:

$$t = aX + b,$$

若规定水的冰点温度 $t_{Fi} = 32^{\circ}\text{F}$ 、汽点温度 $t_{Fs} = 212^{\circ}\text{F}$,则是历史上的华氏温标。

若规定水的冰点温度 $t_{Ci} = 0^{\circ}\text{C}$ 、汽点温度 $t_{Cs} = 100^{\circ}\text{C}$,则

是历史上的摄氏温标.

若规定水的冰点温度 $t_{Ri} = 0^{\circ} \text{R}$ 、汽点温度 $t_{RS} = 80^{\circ} \text{R}$, 则是历史上的列氏温标.

(2) 气体温标

设测温属性 X 随温度 θ 的线性变化关系为

$$\theta = \alpha X,$$

其中待定常数 α 曾先后用不同方法被确定:

1954年前, 国际规定, 采用水的冰点温度 θ_i 、汽点温度 θ_s 为两个温度固定点, 并规定 $\theta_s - \theta_i = 100$ 度. 设 X 在此二固定温度下的值分别为 X_i 、 X_s , 则

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{\theta_s - \theta_i}{X_s - X_i} X \\ &= \frac{100 \text{度}}{X_s - X_i} X.\end{aligned}$$

可选用多种不同的测温属性作为 X , 若选用定容稀薄气体的压强或定压稀薄气体的容积作为测温属性, 则该温标就是1954年以前使用的气体温标, 其温度的单位是开[尔文] (K).

1954年后, 国际规定采用一个温度固定点, 即, 规定水的三相点温度为 $\theta_{tr} = 273.16$ 度, 设 X 在此温度下的值为 X_{tr} , 则

$$\theta = 273.16 \frac{X}{X_{tr}}.$$

在上述条件下若选用定容稀薄气体的压强或定压稀薄气体的容积作为测温属性, 这种温标就是1954年以后使用的气体温标.

(3) 理想气体温标

实验证明，如果规定某一测温属性随温度作线性变化且建立了相应的温标，则其它测温属性一般就不再与温度成严格的线性关系，因此，当取 X 为不同测温属性时，由 $\theta = \alpha X$ 及同一个温度固定点所确定的不同温标彼此间是不会完全一致的，甚至会出现很大差别。为了使温度的测量统一，需要建立一种标准温标，它就是理想气体温标。

在气体测温物质的压强趋于零时，各种气体温标（指采用不同定压（或定容）的气体，）对同一待测对象测出的温度值，都趋于一个共同的极限值，这个极限温标叫做理想气体温标。上述的极限值可以这样得到：在定容气体温度计中充入某种测温物质，通过变动测温物质的质量，使其在水的三相点温度下的压强 p_{tr} 先后有不同的数值，并且对应每一 p_{tr} 值（即对应测温质每一确定的量）都对同一待测对象（其状态确定）进行测温，按

$$\theta = 273.16 \frac{p}{p_{tr}} \text{ K}$$

进行计算可得若干不同测温结果，不同的 p_{tr} 与不同的 θ 是一一对应的。若将上述结果标在压强 p_{tr} -温度 θ 坐标图上，得到一条 $p_{tr}-\theta$ 关系直线，然后将此直线外推至 $p_{tr}=0$ 处，与 $p_{tr}=0$ 所对应的 θ 值即是所要求的极限值，如图1.1所示。

或把定压气体温度计中某种测温物质先后定于若干个不同的压强 p 下，对同一待测对象进行测温，将若干个实测结果标在 $p-\theta$ 坐标图上，得一条 $p-\theta$ 直线，然后外推此直线至 $p=0$ 处，也得上述极限值。

在所有气体均已液化的温度范围内，理想气体温标失去意义。

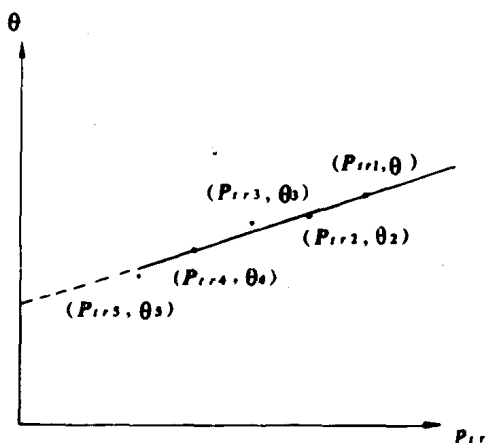


图 1.1

(4) 根据理想气体温标重新定义的摄氏温标

1954年以后，根据新规定只选用水三相点温度这一个固定点建立温标，因此，历史上的摄氏温标定义已不再适用。摄氏温度 t 重新定义如下：

$$t = \theta - 273.15.$$

注意：式中 θ 是由理想气体温标确定的热力学温度。

(5) 热力学温标

开尔文以热力学第二定律为基础，建立了完全不依赖于任何测温物质的热力学温标（见第六章），它是最基本的温标。其温度单位是开[尔文](K)。

热力学温标是理想温标，不能直接测得。但可以证明：在理想气体温标所能确定的温度范围内，由热力学温标确定的热力学温度与理想气体温标确定的温度是一致的，所以热力学温标可以通过理想气体温标获得现实意义。

由热力学温度 T 可以导出热力学摄氏温度 t ：

$$t = T - 273.15.$$

(6) 国际实用温标

为了实用、简便和保证温度测量值的统一，国际上还建立了协议性的温标。目前广泛采用的是1968年国际实用温标 (IP TS-68)。该温标是以若干固定点为基础，借助于内插法建立的，并定义了13.81K以上的温度。

9 理想气体的状态方程

状态方程：平衡状态下，均匀物质系统的温度与状态参量(例如 p (压强)、 V (体积))之间的函数关系，称之为状态方程又名物态方程。在宏观理论中，物质的状态方程只能由实验确定。

理想气体状态方程：

(1) 单一化学成份的理想气体状态方程。

在玻意耳定律、理想气体温标的定义及阿伏伽德罗定律的基础上，建立了平衡态下单一化学成份的理想气体状态方程。

$$pV = \frac{M}{\mu} RT,$$

式中 M 、 p 、 V 是一定量理想气体之质量、压强、容积， μ 是该种气体的摩尔质量， T 是由理想气体温标确定的温度， R 是气体普适常数，

$$R = 8.31441 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8.20568 \times 10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

(2) 混合理想气体及其状态方程

第 i 种组份的质量百分比：是指存在于混合气体中的该种组份之质量 M_i 与混合气体总质量 M 之比 $\frac{M_i}{M}$ ：

第 i 种组份的体积百分比：是指该种组份单独处在与混合气体相同的压强及温度的状态下，其体积 V_i 占混合气体体积 V 的百分比 $\frac{V_i}{V}$ 。

第 i 种组份的分压强：是指该组分单独处在与混合气体相同的体积及温度的状态下之压强。

道尔顿分压定律：混合气体的压强 p 等于各组份的分压强之和，即 $p = \sum_i p_i$ 。混合气体的压强越低，此定律越准确。

混合理想气体状态方程：在单一化学成分的理想气体状态方程及道尔顿分压定律的基础上，建立了混合理想气体状态方程

$$pV = \frac{M}{\mu} RT,$$

其中， $p = \sum_i p_i$ ， p_i 是各组份的分压强， $\mu = \left(\sum \frac{1}{\mu_i} \frac{M_i}{M} \right)^{-1}$ ，

μ_i 是各组份气体以化学纯的状态单独存在时的摩尔质量， μ 是混合气体的平均摩尔质量。

10 理想气体

设想有一种气体，它在任何压强下都严格遵守状态方程

$$pV = \frac{M}{\mu} RT,$$

因为要求这种气体的分子没有相互作用势，实际上并没有这种气体分子，所以这种气体称之为理想气体。

实际气体在压强足够低时分子间的相互作用就可忽略不计，可以近似当作理想气体来处理，压强越低，这样处理的