

张永德/主编

物理学大题典

热学 热力学 统计物理 5

A Grand Dictionary
of Physics
Problems And Solutions

郑久仁 周子舫/编著



科学出版社

www.sciencep.com

中国科学技术大学出版社

物理学大题典⑤/张永德主编

热学 热力学 统计物理

郑久仁 周子舫 编著

科学出版社

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

《物理学大题典》是一套大型工具性、综合性物理题解丛书。丛书内容涵盖综合性大学全部本科物理学内容,从普通物理的力学、热学、光学、电学、近代物理到“四大力学”,以及原子核物理、粒子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、激光物理、量子光学、量子信息等。内容新颖、注重物理、注重学科交叉、注重与科研结合。

《热学 热力学 统计物理》卷共计 11 章,包括热力学状态与热力学第一定律、热力学第二定律与熵、热力学函数与平衡条件、相变与相平衡、非平衡态热力学、可能性与分布函数及统计熵、系综理论、麦克斯韦-玻尔兹曼统计、费米-狄拉克统计、玻色-爱因斯坦统计和气体分子动理论等内容。

本丛书可做为物理类本科生的学习辅导用书、研究生的入学考试参考书和各类高校物理教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

热学 热力学 统计物理/郑久仁、周子筋编著. —北京:科学出版社;合肥:中国科学技术大学出版社,2005

(物理学大题典⑤/张永德主编)

ISBN 7-03-015491-6

I. 热… II. ①郑…②周… III. ①热学-解题②热力学-解题③统计物理学-解题 N. ①0551-44②0414-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 044936 号

策划编辑:胡升华 / 文案编辑:王昌泰 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:张 放

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号

邮政编码:230026

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 9 月第一次印刷 印张:28 3/4

印数:1—5 000 字数:680 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《物理学大题典》编委会

主 编 张永德

编 委 (按姓氏拼音字母为序)

白贵儒	陈银华	程稼夫	范洪义	范扬眉	宫竹芳	顾恩普
郭光灿	胡友秋	金怀诚	李泽华	林鸿生	刘金英	刘乃乐
柳盛典	强元荣	王韶舜	吴 强	轩植华	杨保忠	杨德田
尤峻汉	张家铝	张鹏飞	张永德	章世玲	赵叔平	郑久仁
周又元	周子舫	朱栋培	朱俊杰			

前言

物理学,由于它在自然科学中所具有的主导作用,在人类文明史中,特别是在人类物质文明史中,占据着极其重要的地位.经典物理学的诞生和发展曾经直接推动了欧洲物质文明的长期飞跃.20世纪初诞生并蓬勃发展起来的近代物理学,又造就了上个世纪物质文明的辉煌.自20世纪末到21世纪初的当前时代,物理学正在以空前的活力,广阔深入地开创着向化学、生物学、生命科学、材料科学、信息科学和能源科学渗透和应用的新局面.在本世纪里,物理学再一次直接推动新一轮物质文明飞跃的伟大进程已经开始.

但是,发展到目前的物理学宽广深厚,累积的知识浩瀚无垠.教授和学习物理学都是一个相当艰苦而漫长的过程.在这个漫长过程的许多环节中,做习题是其中必要而又重要的环节.做习题是巩固所学知识的必要手段、是深化拓展所学知识的重要练习,是锻炼科学思维的体操.习题对于教师和学生双方都是重要的.

然而,和习题有关的事都是很不起眼的事.在有些人眼光中,求解和编纂练习题是全部教学活动中相当次要的环节.习题集也确实是所有著作中“最低层”的,大约只有“傻子”们才肯做的事.“聪明人”常会找诸如习题集不应当出之类的理由,光明正大地规避掉.

但是,在教授和学习过程中,只要是需要的,都是合理的,也总得有人去做才行.于是我们编委会的这些人,本着甘为孺子牛的精神,平时在科研和教学中一道题一道题地积累,现在又一道题一道题地编审,花费了大量时间做着这种不起眼的事.大家觉得,这件事终究是教与学双方共同需要的,也就是有益的.正如一个城市基础建设中,不能都去做地面上的摩天大楼和纪念碑等“抢眼球”的事,也还需要做诸如修建马路、下水道等基础设施的事.

这套《物理学大题典》的前身是中国科学技术大学出版社出版的《美国物理试题与解答》丛书(7卷).那套丛书于20世纪80年代后期由张永德发起并组织完成,内容包括普通物理的力、热、光、电、近代物理到四大力学的全部基础物理学.出版时他选择了“中国科学技术大学物理辅导班主编”的署名方式.自那套丛书出版之后,虽历经10余年,仍然有不断的需求,于是就有了现在的这套丛书——《物理学大题典》.

现在这套《物理学大题典》丛书的内容,除继续涵盖力、热、光、电、近代物理到四大力学全部基础物理学内容之外,还包括了原子核物理、粒子物理、凝聚态物理、等离子体物理、天体物理、激光物理、量子光学和量子信息物理等内容.就是说,追踪不断发展的科学轨迹,现在这套丛书仍旧大体涵盖了综合性大学全部本科物理课程的内容.

这次重新编审中,大部分教师仍为原来的,但也增加了一些新的成员.这次出版经大家着力重订和大量扩充,又耗时近两年而成.总计起来,这套丛书前后历时近20年,耗费了30余位富有科研和教学经验的教授、近150位20世纪80年代和现在的研究生及高年级本科生的巨大辛劳.丛书确实是大家长期共同劳动的结晶.

《物理学大题典》中包括了大量的美国物理试题.一般说来,美国物理试题涉及的数学并不繁难,但却或多或少具有以下特色:内容新颖,富于“当代感”;思路灵活,涉及面宽广;方法和结论简单而实用,试题往往涉及新兴和边沿交叉学科;不少试题本身似乎显得粗糙但却抓住了物理本质,显得“物理味”很足.纵观这些,我们深切感到,这些题目的集合在一定程度上体现了美国科学文化的个性及思维方式的特色.惟鉴于此,我们不惮繁重,集众多人力而不怯,耗漫长岁月而不辍,还是值得的.

至于这次扩充修订所增添的大量题目,也是本着这种精神,摘自大家各自的科研成果,或是来自各人的教学心得,实是点滴聚成.

这里要强调指出,对于学生,确实有一个如何正确使用习题集的问题.有的同学,有习题集也不参考,咬牙硬顶,一个晚上自习时间只做了两道题.这种精神诚应嘉勉,但效率不高,也容易挫伤学习积极性,不利于培养学习兴趣;也有的同学,逮到合适解答提笔就抄,这样做是浮躁的、不踏实的.这两种学习方法都不可取.我们认为,正确使用习题集是一个“三步曲”过程:遇到一道题,先自己想一想,想出来了自己做最好;如果认真想了一些时间还想不出来,就不要老想了,不妨翻开习题集找答案,看懂之后,合上书自己把题目做出来;最后一步,要是参考习题集做出来的,就用一两分钟时间分析解剖一下,找找自己存在的不足,今后注意.如此“三步曲”下来,就既有效率又踏实了.本来,效率和踏实是一对矛盾,在这类“治学小道”之下,它俩就统一起来了.总之,正确使用之下的习题集肯定能够成为学生们有用的“爬山”工具.

丛书这次重订扩充工作是在科学出版社胡升华博士的倡议和支持下进行的.没有他的推动,这套丛书面世是不可能的.同时,在这次重订扩充工作里,我们得到了中国科学技术大学的部分教学资助,以及编委会中郭光灿和周又元两位院士和刘万东教授的支持.对于这些宝贵的支持,谨表示深切感谢.

本卷是在《美国物理试题与解答·热力学与统计物理学》(郑久仁,中国科学技术大学出版社,合肥,1986年)一书的基础上完成的.热学和热力学部分由159题扩充为246题,统计物理部分由208题扩充为345题.《美国物理试题与解答·热力学与统计物理学》中的题,主要选自美国哥伦比亚大学、加州大学伯克利分校、麻省理工学院、威斯康星大学、芝加哥大学、普林斯顿大学、纽约州立大学布法罗分校等大学的试题与习题;解题的人有冯平、王海达、张正平、姚德民、贾云发等.这次的扩充,主要取自我们多年在教学与科研中的积累,并参考了李洪芳、汪志诚、李政道、朗道、帕斯里亚等人的热学、热力学及统计物理著作.本书共11章,周子舫主要承担了前5章(热学和热力学部分)的工作,郑久仁主要承担的是后6章(统计物理部分)的工作.我们在习题的收集、草拟、解答、编排、筛选、补充及审校等过程中,投入了大量的时间和精力;期望通过对多种类型、多种条件下的问题,从不同角度用不同方法的处理,能让读者加深对物理内容、物理图像、量级及精神实质的理解和掌握,获得用理论解决实际问题的某种启示,使本书能成为读者在学习热学、热力学、统计物理时可资利用的一份资料.

编审者谨识

2005年5月

题 意 要 览

- 1.1 简述等容气体温度计、温差电偶温度计及热敏电阻温度计的基本原理和特点.
- 1.2 简述三种能精确测温的温度计.
- 1.3 道尔顿温标. 求道尔顿温度 τ 与摄氏度 t 之间的关系.
- 1.4 已知用某气体的定压温标和定容温标测得的温度相等, 求气体的状态方程.
- 1.5 求空气的平均摩尔质量、密度及各组分的分压强和密度.
- 1.6 已知系统 A 和 C 以及 B 和 C 处于热平衡时满足的方程, 试由热力学第零定律求系统 A 、 B 及 C 的状态方程.
- 1.7 求双金属片因热膨胀弯曲时的曲率半径 R .
- 1.8 求气体迭特里奇状态方程 $p(V-b) = RT \exp(-a/RTV)$ 的第二和第三位力系数.
- 1.9 已知一顺磁物质的 $(\partial H/\partial T)_m$ 和 $(\partial m/\partial T)_H$, 求状态方程.
- 1.10 实验测得某气体的 $(\partial V/\partial T)_p$ 及 $(\partial V/\partial p)_T$, 求状态方程及 c_p .
- 1.11 已知某气体的体膨胀系数 α 和等温压缩系数 κ_T , 求状态方程.
- 1.12 两个热容量分别为 c_1 和 c_2 的系统, 热接触后达到共同温度 T_f , 求初态温度 T_i .
- 1.13 证明 $c_p - c_v = [p + (\partial U/\partial V)_T] \cdot (\partial V/\partial T)_p$, 并求范德瓦耳斯气体的比热容差.
- 1.14 已知范德瓦耳斯气体的内能, 求 c_v, c_p .
- 1.15 已知一个固体的密度, 质量和线膨胀系数, 求 $c_p - c_v$.
- 1.16 求理想气体绝热自由膨胀后的温度.
- 1.17 求理想气体在等温膨胀过程中所做的功及绝热膨胀后终态的温度.
- 1.18 求氮气在等压下加热到 100°C 时吸收的热量, 内能增加量及对外做的功.
- 1.19 求单原子分子理想气体在等温和等压膨胀过程所做的功及吸收的热量.
- 1.20 一个为压缩空气而设计的压缩机用来压缩氮气时会出现过热现象, 试解释之.
- 1.21 试在 p - V 图上画出单原子分子及双原子分子理想气体的等温压缩与绝热膨胀过程图, 比较它们做的功的大小.
- 1.22 求氮气在等压过程和绝热膨胀过程中吸收的热量, 对外做的功以及内能的改变.
- 1.23 氮气与氮气的混合理想气体, 经绝热压缩到体积减少 1% 时, 气体的温度和压强各为多少?
- 1.24 以恒力 F 推动活塞后, 气缸内的气体达到了新的平衡. 求气体的温度和体积, 以及内能和焓的增量.
- 1.25 压强为 p_0 的空气流入绝热箱内, 求当箱内外压强相等时, 箱内气体的温度和箱内气体的摩尔数.
- 1.26 一定质量的理想气体, 经一准静态过程从状态 A 到达状态 B . 试用 p - V 图上的图形的面积来表示系统在该过程中所做的功, 气体内能的增量及吸收的热

量.

- 1.27 一个绝热可移动活塞把气缸内气体分成等体积的 A 和 B 两部分. 缓慢加热气体 A, 活塞移动, 直到气体 B 的压强为 $3p_0$, 求气体 A 吸收的热量 Q .
- 1.28 磁性材料在等温过程和等磁场过程中都使磁矩增加一倍, 求外界所做的功, 且在 $H-M$ 图上表示这两个过程.
- 1.29 求大型螺线管的电功率, 冷却水的流量以及电流从 0 增加到设计值的 99% 所需的时间.
- 1.30 一空气泡从海底浮出海面, 求在上浮过程中气泡对外做的功及吸收的热量.
- 1.31 浮沉子下沉至深度 h 时, 外压强从 p_0 增加到 $2p_0$, 求下沉速度 v .
- 1.32 一个可以自由膨胀的氢气球在上升过程中所受的浮力是否变化? 它最多能挂多少重物?
- 1.33 一个不可膨胀的热气球, 试求热空气的温度和它上升高度、加速度之间的关系, 并求气球在平衡高度附近的运动规律.
- 1.34 一定量的气体被一个带有弹簧的活塞封闭在气缸内, 求当气体吸收热量 Q 时活塞上升的高度.
- 1.35 打开真空容器的活门, 让大气冲入容器内, 求冲入容器内的气体的温度和体积.
- 1.36 钢棉在纯氧中氧化, 求系统对外做的功和内能的变化.
- 1.37 克列门和德索姆测定绝热指数 γ 的实验, 求绝热指数 γ 和压强之间的关系.
- 1.38 求小球在玻璃瓶口内做绝热振动时的振动频率与绝热指数之间的关系.
- 1.39 气体在等温压缩过程及绝热压缩过程中的声速.
- 1.40 求一个黑体薄膜对黑体辐射的屏蔽作用.
- 1.41 加入热膜可以减少辐射损失. 在两个平行平面黑体间加入一个反射率为 R 的平面, 求平衡温度和净能流的变化.
- 1.42 求两块温度分别为 T_1 和 T_2 的平行板之间的能流. 如果在两板之间插入 n 块同样的黑体板, 求能流 W .
- 1.43 一个球形黑体被一个黑体球壳包围. 求装入辐射罩前后, 球体冷却速率的比值.
- 1.44 由太阳常数求太阳表面的温度.
- 1.45 由地球表面温度求太阳表面的温度, 并阐明玻璃房内的温度通常大于地球表面平均温度的原因.
- 1.46 由太阳表面温度求地球表面的温度及地球所受到的辐射压.
- 1.47 由太阳到地球的辐射通量求海王星的表面温度.
- 2.1 一个蒸气机工作在高低温热源之间, 输入的热量 Q 给定. 求热机所做的最大功.
- 2.2 何谓卡诺循环? 在 $p-V$ 图及 $S-T$ 图上表示之, 并给出卡诺热机的效率.
- 2.3 有两个同样的卡诺热机, 其工质分别是 1mol 单原子分子理想气体及 1mol 双原子分子理想气体. 求两个热机对外做的功的比值 W'/W .

- 2.4 有两个全同的但温度分别为 T_1 和 T_2 的物体,在两物体间运行一卡诺热机,直到两物体达到共同温度 T_f ,求热机所做的功.
- 2.5 水力机输入温度为 T_1 和 T_2 的等量的冷热水,并以温度 T 喷出,求最大喷出速度.
- 2.6 温差发电和落差发电所能利用的能量不同,试比较其大小.
- 2.7 热机由两个等压过程和两个绝热过程组成,工质为理想气体.求效率.
- 2.8 以功率为 W 的泵浦从河水中吸热给建筑物供暖,求建筑物的平衡温度,并与直接供热进行比较.
- 2.9 由煤的燃烧发电得到电能,试比较用电炉加热和用热泵加热对民房供暖所能提供的热量.
- 2.10 空调机从室内吸热,向室外放热.求空调机的效率及室内能达到的最低温度.
- 2.11 用 p - V 图和 H - S 图表示卡诺致冷机的循环过程,并求外界所做的功.
- 2.12 在两极钻一口深井,以井底和地面环境作热源驱动一个热机,求热机效率.功率 $P=10^5\text{kW}$ 的电站每秒能由 -40°C 的冰产生多少千克 0°C 的水.
- 2.13 一个热机从温度为 T_0 的热源吸热,使一盒空气的温度从 T_0 升到 T_1 ,求外界对热机所做的最小功 W .
- 2.14 一个可逆热机从温度为 T_2 的一定量气体中吸热,并向温度为 T_1 的热源放热,求热机从气体中吸收的热量,气体的熵变及热机所做的功.
- 2.15 一个热机工作在两个不同温度的热源之间,求对外做的功及系统的熵变.
- 2.16 1mol 理想气体从 (T_1, V_1) 状态变到 (T_2, V_2) 状态,求熵的改变量.求由绝热膨胀过程,等压压缩过程及等容加热过程组成的循环过程的效率.
- 2.17 一个物体的熵 $S=A(NVU)^{1/3}$,求各热力学量.若有一热机工作在温度不同的这样两个物体之间,求末态温度 T_f 的范围及对外所做的最大功.
- 2.18 用电阻丝加热水,使水温升高,求水的内能及熵的变化.求工作在水和 $t_1=20^\circ\text{C}$ 的热源之间的热机的最大输出功.
- 2.19 以顺磁物质作为卡诺致冷机的工质,求一个循环中吸收的热量以及外界对工质所做的功.
- 2.20 以电容器的充放电构成一个循环,求外界所做的功及电容器的 dV/dT .
- 2.21 理想气体经历的多方膨胀过程,等温压缩过程及等容压缩过程构成一个循环,求循环过程中所做的功和多方膨胀过程中所做的功之比.
- 2.22 若理想气体的 $\gamma=\gamma(T)$,证明该气体的可逆卡诺循环的效率保持不变.
- 2.23 求由两个绝热过程和两个等容过程组成的奥托循环的效率.
- 2.24 设一个热机工作在两个温度和比热容都不同的物体之间,求热机最大的输出功.
- 2.25 一个致冷机工作在两个初温和热容量都相同的物体间,使一个物体冷却到 T_2 ,求所需的最小功.
- 2.26 一卡诺循环包含有气、液两相的转变,求工质所做的净功.
- 2.27 若在循环过程中,热源的最高和最低温度分别为 T_1 和 T_2 ,证明该循环的效率

不超过 $1 - T_2/T_1$.

- 2.28 一个可逆致冷机工作在两个 1mol, 25℃ 的水之间, 使作为冷源的水全部变成 0℃ 的冰, 问热源有多少水变成 100℃ 的水蒸气, 对致冷机需做多少功?
- 2.29 一可逆卡诺热机工作在两个物体和一个热源之间, 求当热机不能再运行时, 热机输出的总功及热源吸收的热量.
- 2.30 一个可逆热机工作在三个温度不同的热源之间, 从一个热源吸热 Q , 对外作功 W , 求各热源吸收的热量及各热源的熵变.
- 2.31 以热辐射为热机的工作物质, 利用卡诺定理, 求辐射场的能量密度.
- 2.32 比较理想致冷机和实际致冷机的致冷系数, 熵变和对外做的功.
- 2.33 1kg, 0℃ 的水与 100℃ 的热源接触, 求平衡时水和整个系统的熵变, 欲使整个系统的熵变为零, 水应如何从 0℃ 变到 100℃.
- 2.34 求 1g, -196℃ 的液氮和 1g, 20℃ 的氮气之间的熵差.
- 2.35 1g 原子银从 0℃ 等容加热到 30℃, 求熵变.
- 2.36 求氮气在等压膨胀和绝热膨胀过程中对外做的功, 内能及熵的增量.
- 2.37 1 mol 理想气体的体积分别经可逆等温膨胀与自由膨胀从 V_1 增加到 $2V_1$, 求气体和整个系统的熵变.
- 2.38 很快拉动活塞, 使气体体积从 V_1 瞬间增加到 V_2 , 求气体的温度, 压强及熵的变化.
- 2.39 在快速和缓慢地推动或拉动活塞过程中, 活塞中气体的 ΔT , ΔU , ΔS 和 ΔP 的值是正, 是负或是零?
- 2.40 突然移走隔离气体的薄膜, 求气体的终态温度及熵变.
- 2.41 一根均匀棒的两端分别与冷、热源接触, 求将热源撤离后棒的熵变.
- 2.42 求混合气体在绝热压缩过程中温度和压强的变化.
- 2.43 用打开隔板和拉动半透膜两种方法使气体混合, 分别求出气体和热库的熵变.
- 2.44 求盐水溶液的混合熵, 求渗透压所做的功.
- 2.45 求辐射场的熵, 求辐射场膨胀时, 辐射场的温度 T 和半径 R 之间的关系.
- 2.46 求一个系统与 (1) 一个热源, (2) 多个热源接触后, 系统和热源的熵变.
- 2.47 用热量 Q , 熵 S 和温度 T 定义定压比热, 求 1kg, 0℃ 的水与一个或多个热源接触后水和热源的熵变. 的功.
- 2.48 一个温度为 T_i 的物体与温度为 T_f 的热源在定压下接触而达到平衡, 求总的熵变 ΔS , 并证明 $\Delta S > 0$.
- 2.49 求范德瓦耳斯气体在自由膨胀中的熵变.
- 2.50 由固体的状态方程和比热, 求固体的内能、熵和 c_p .
- 2.51 求均匀铜杆在 4 种不同情形下的熵变.
- 2.52 已知某物质内能只是温度的函数, 且 $\alpha \ll 1$, 求在恒压下, 当温度由 T_0 变到 T 时该物质的熵变.
- 2.53 求弹簧从振动到最后静止的过程中宇宙的熵变.
- 2.54 钢瓶内的高压氮气缓慢流入一个空的气球中, 求钢瓶内外气体的熵和内能的

改变.

- 2.55 绝热圆筒内,活塞两边气体的温度不相等,求热平衡前后气体的熵变.
- 2.56 体积为 V_1 的平衡辐射场,经反射进入体积为 V_2 的空腔中,求终态辐射场的温度及熵的增量.
- 2.57 范德瓦耳斯气体经历自由膨胀,求 $\Delta U, \Delta T, \Delta S$ 及分子吸引力所做的功 $A_{\text{分子}}$.
- 2.58 理想气体经历不可逆等温膨胀过程,求气体和热源的熵变.
- 2.59 (1) 求在 T - S 图中为一直角三角形的循环过程的效率;(2) 求两种不同液体混合前后的熵变.
- 2.60 已知一根塑料棒的张力和热容量,求棒的熵 $S=S(T, V)$. 绝热拉伸时,棒的温度是上升还是下降?
- 2.61 设一条橡皮带的张力 $X=A(l)T$, 且 $A>0$, 证明内能 U 只是温度的函数, 且 $(\partial S/\partial l)_T<0$.
- 2.62 证明: p - V 图上的两条绝热线不相交.
- 2.63 用热力学第二定律证明存在光压.
- 3.1 指出哪类系统满足所列的热力学条件.
- 3.2 若已知某种理想气体的熵 $S=S(n, U, V)$, 求 c_v 和 c_p , 求 p 恒定时的能量密度.
- 3.3 证明理想气体的定压比热容 $c_p=c_v+k$, 证明在绝热过程中有关系 $pV^\gamma=\text{常数}$.
- 3.4 求简单气体的比热差 c_p-c_v .
- 3.5 已知某物质的状态方程及内能方程, 试确定方程中的常数.
- 3.6 证明节流膨胀过程是等焓过程, 且 $(\partial T/\partial p)_H=V(T\alpha-1)/c_p$. 理想气体能否通过节流致冷?
- 3.7 求证: 绝热减压降温系数 μ_s 与焦-汤系数 μ 之差 $\mu_s-\mu=V/c_p>0$.
- 3.8 求理想气体的自由能, 求气体在等温膨胀过程中所做的功.
- 3.9 讨论范德瓦耳斯方程中参数 a, b 的物理起源, 求范氏气体在等温膨胀过程中自由能和内能的变化.
- 3.10 已知某系统的吉布斯函数 $G(T, p)$, 求定压比热容 c_p .
- 3.11 若一个物体的压强为 p , 温度为 T , 则 $(\partial(\text{放出的热量})/\partial p)_T=T(\partial V/\partial T)_p$.
- 3.12 证明 $\partial(T, S)/\partial(x, y)=\partial(p, V)/\partial(x, y)$, 并由此导出麦克斯韦关系式.
- 3.13 证明等压膨胀系数 α , 等容压缩系数 β , 等温压缩系数 κ 与相应的绝热过程量之比为 $\alpha/\alpha_s=1-\gamma; \beta/\beta_s=1-\gamma^{-1}; \kappa/\kappa_s=\gamma$.
- 3.14 对于 pVT 系统, 证明 $(c_p-c_v)\frac{\partial^2 T}{\partial p \partial V}+\left(\frac{\partial c_p}{\partial p}\right)_v\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p-\left(\frac{\partial c_v}{\partial V}\right)_p\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_v=1$.
- 3.15 已知一个系统的吉布斯函数 $G(T, p)$, 求系统焓的表达式.
- 3.16 某物质在熵为 S_0 的膨胀过程中做功 $W_0=AS_0\ln(V/V_0)$, 温度 $T=A(V/V_0)\cdot(S/S_0)^n$, 求该物质的内能和压强, 及在熵为 S 的膨胀过程中物质所做的功.
- 3.17 已知某种气体的状态方程及气体在 $V\rightarrow\infty$ 时的热容量 $C_V^\infty(T)$, 求该气体的自由能 F , 并导出 U, S, H 和 G 的表达式.
- 3.18 试计算范德瓦耳斯气体的热膨胀系数 α, c_p-c_v , 以及气体在 T 不变, 体积从 V_1

变到 V_2 的过程中的熵变 $S_2 - S_1$.

- 3.19 黑体辐射. 已知辐射场的压强 $p = u/3$, 求辐射场的能量密度 $u = aT^4$.
- 3.20 试求平衡辐射的定容比热容 c_v , 定压比热容 c_p , 以及 $c_p - c_v$.
- 3.21 一个系统的 c_v 及 p 给定, 求系统的内能, 熵及吉布斯函数.
- 3.22 已知水的膨胀系数, 求水从表面流到贮水池底时温度的改变.
- 3.23 1g , 20°C , 压强 10^4atm 的水经多孔塞后压强降为 1atm , 求出射水的状态.
- 3.24 液体表面膜的表面张力系数 $\sigma = \sigma(T)$, 且 $d\sigma/dT < 0$, 问在等温膨胀时是吸热还是放热? 在绝热膨胀时是升温还是降温?
- 3.25 已知弹性弦的弹性系数, 线膨胀系数和热容量, 求弦的热力学基本方程. 当弦可逆等温拉伸时所做的功 W , 以及 $\Delta F, \Delta U, \Delta S$ 和 Q .
- 3.26 讨论橡皮带拉伸时, 熵是增加还是减小? 线膨胀系数 α 是正的还是负的?
- 3.27 棒的一端挂一个重物 W , 当给棒加热 δQ 时, 求棒长的变化 δL .
- 3.28 求弹性圆柱体的熵, 并给出棒等温拉伸时吸收的热量和绝热拉伸时温度的改变率.
- 3.29 已知橡皮筋 $(\partial T/\partial x)_s > 0$, 求 $(\partial S/\partial x)_T$ 和 $(\partial U/\partial x)_s$ 的符号.
- 3.30 已知橡皮带的张力 $t = AT(x/l_0 - l_0^2/x^2)$, C_x 为常数, 求 E, S 以及橡皮带从 l_0 绝热拉伸到 $1.5l_0$ 时末态的温度.
- 3.31 一个系统由一导热的, 可移动的活塞分隔成体积相等的两部分的理想气体组成, 两部分气体的温度和压强不相等, 求平衡时气体的温度、压强和总熵的增量.
- 3.32 氮气和氩气被一活塞隔开, 初始时两边气体的压强不相等, 求平衡时系统的温度、体积比、熵变, 以及去掉活塞后的附加熵增.
- 3.33 一个绝热系统由可移动活塞隔开的两部分温度相等, 但是体积和压强不相等的理想气体组成, 求平衡时气体的温度、压强、总熵和总内能的改变.
- 3.34 当长颈瓶内的生牛奶由于奶油上浮和牛奶下沉而分离时, 瓶底的压力是增大还是减小?
- 3.35 求绝热大气模型下的 $\rho(z)$ 和 $p(z)$.
- 3.36 求在等温大气模型下的 $n(z)$, 估计半数分子处于其下的高度, 并证明在绝热大气假设下温度随高度增加而线性减小.
- 3.37 假设大气绝热上升, 且在 z 小时有 $p = p_0(1 - \alpha z)$, $T = T_0(1 - \beta z)$, 求 α 和 β .
- 3.38 分别求等温大气和绝热大气下的 dp/p , 并且求在绝热大气假设下的 dT/dz 和 $p(z)$.
- 3.39 证明引力场中的等离子体必须加一均匀电场 $E = -(Am_p - m_e)g/(1+z)|e|$, 若这一方程对太阳也成立, 试估计太阳表面的电量.
- 3.40 由自旋系统的自由能求外磁场, 并讨论自由能的凸性.
- 3.41 阐述绝热去磁降温原理, 以及限制用此法继续降温的因素.
- 3.42 有一个顺磁系统, 已知 $(\partial S/\partial H)_T = -CH/T^2$, 求磁化强度和温度的关系.
- 3.43 某种磁性盐的磁化率和比热已知, 初始磁场和初始温度给定, 求绝热去磁后系

统末态的温度.

- 3.44 一个处于均匀外磁场和绝热环境的顺磁系统,磁矩和比热已知.当绝热去磁时,使温度降为初始温度的 $1/2$,问初始磁场为多大?
- 3.45 已知一种磁介质的磁矩和内能的表达式,求热容量 C_H 和等温下磁场从 H_0 变到 H_1 时的熵变.
- 3.46 试导出磁致伸缩和压磁效应之间的关系.并计算当磁场从 0 增加到 H 时因磁致伸缩所产生的体积的相对变化.
- 3.47 在磁场中拉伸棒时产生磁矩 $M=CLH/F$,求当磁场从 0 增加到 H 时,棒长的相对变化.
- 3.48 写出电介质的热力学基本方程,并证明热力学关系式 $(\partial P/\partial p)_{T,E} = -(\partial V/\partial E)_{T,p}$ 和 $(\partial T/\partial E)_S = -(T/C_E) \cdot (\partial P/\partial T)_E$, E 是电场强度, P 是电极化强度.
- 3.49 已知电介质的状态方程,求在等温过程中电场强度改变时电介质吸收的热量,以及在绝热过程中电场强度改变时电介质温度的变化.
- 3.50 求平板电容器在等温过程中,当电势改变时电容器吸收的热量.
- 3.51 一个电阻在恒温下通以电流,求电阻的熵变,电阻和环境的总熵变,电阻内能和自由能的改变.
- 3.52 求通以氢气和氧气的燃料电池的电动势.
- 4.1 冰水混合,求平衡后系统终态的温度.
- 4.2 若已知水和水蒸气在 1atm 和 100°C 下的熵,求水的汽化热,水的焓,水和水蒸气的吉布斯函数.
- 4.3 求冰在溶解成水时对外做的功,以及内能和熵的变化.
- 4.4 10kg , 20°C 的水与 -10°C 的热源接触变成 -10°C 的冰,求出整个系统的熵变.
- 4.5 已知某气体的汽化热,估计它的表面张力系数.
- 4.6 判断所列命题的正确与错误性.
- 4.7 冰、水和水蒸气各 1g 处于水的三相点,当吸收 60cal 热量后,总体积不变,求平衡后冰,水和水蒸气的质量各为多少?
- 4.8 一个热机工作在 1kg , 100°C 的水和一块 0°C 的大冰块之间,求出运行终了时的水温,溶化的冰及热机做的功各为多少?
- 4.9 在 27°C 的环境和 2kg , 0°C 的水之间运行一个功率为 50W 的致冷机,问需要多少时间才能将水全部冻结成冰?
- 4.10 1kg 的水和环境同为 25°C ,现欲将 1kg 水冻结成 0°C 的冰,问至少需做多少功?
- 4.11 一理想卡诺致冷机,以 5g/s 的速率将 0°C 的水凝结成冰,并把能量传给 30°C 的房间,求致冷机传给房间能量的速率和所需的电功率.
- 4.12 一卡诺循环以某种气液共存物质为工质,试导出克拉珀龙方程,并求出氮的蒸气压下降到 p_m 时的氮的沸点 T_m .
- 4.13 利用卡诺循环证明:(1) 液体与它的蒸气平衡时的蒸气压方程为 $d\ln p/dT = 1/RT^2$; (2) 液体的内能密度和表面张力系数之间满足关系 $u = \tau - T d\tau/dT$.

- 4.14 利用气液两相共存时气相和液相的化学势相等导出克拉珀龙方程和蒸汽压方程.
- 4.15 证明水的冰点随着压力增加而下降,并估计适宜人溜冰的最低温度.
- 4.16 画出 H_2O 的 p - T 图,标出三相点,临界点,描述沿 $t = -1.0^\circ\text{C}$ 的等温线降压时发生的行为,指出相变点的压强为多少?并求出相平衡曲线上的潜热方程 dL/dT .
- 4.17 求物质的平衡蒸汽压 p_0 对总压强 p 的依赖关系,并由此求水的冰点与三相点之差 $T - T_0$.
- 4.18 由尸体防腐(embalming)新物质在三相点附近沿相变曲线的行为,讨论该物质的不寻常的和违反热力学第二定律的性质.
- 4.19 利用等温大气模型求海平面附近水的沸点随高度的变化率.
- 4.20 一个圆柱形容器内的物质处在重力场中,上部为流体,下部为固体,当温度下降 ΔT 时,固液分界面上升了 l ,求液体的密度 ρ_l .
- 4.21 求固液两相平衡时熔点随压强的变化率,并求地球表面硅酸盐的熔点随地层深度的变化.
- 4.22 已知固态和液态氨的蒸汽压方程,求氨的三相点以及三相点处的汽化热,升华热和熔解热.
- 4.23 已知液氨在两个不同压强下的沸点,求在此温度范围内氨的平均汽化热.
- 4.24 求两相平衡曲线的二阶导数 d^2p/dT^2 . 若一个相为气相,将得到的公式简化.
- 4.25 某物质在气液共存时经历一个循环过程,由整个循环过程的 $\sum_i \Delta h_i = 0$, $\sum_i \Delta s_i = 0$,导出克拉珀龙方程,潜热方程和蒸汽压方程.
- 4.26 证明蒸汽的“两相平衡膨胀系数” $\alpha = V^{-1}dV/dT = V^{-1}(1 - L/RT)$.
- 4.27 $T = 10\text{K}$ 的高压氮气缓慢泄漏,直到容器内的 1atm , 4.2K 的氮气完全液化,求容器内氮气的初始压强.
- 4.28 等压下将 1mol , 0°C 的冰,变成 100°C 的水蒸气,求它的 ΔU 和 ΔH .
- 4.29 求 ^3He 在 0.02K 到 1.2K 范围内因溶解而产生的熵变.
- 4.30 将体积为 V_0 的氟里昂在等温下压缩到 V ,求液化的氟里昂的质量.
- 4.31 A, B 两容器用一根细管连接,在 A 中引入 50mg 水,经活门打开和关闭以及 B 中气体温度的降低和升高等操作后,求末态 A, B 两容器中的水蒸气压强和液态水的质量.
- 4.32 焚风的形成. 潮湿的空气沿山坡上升并且产生降雨,空气越过山顶后再沿山坡下降变成干热的焚风,求降雨量和山底空气终态的温度.
- 4.33 相变中的临界点和三相点的定义.
- 4.34 写出范德瓦耳斯方程,解释各项的物理意义,求出范德瓦耳斯气体的临界值 p_c, V_c, T_c .
- 4.35 确定范德瓦耳斯气体的临界点,阐述如何画出麦克斯韦建议的物理等温线,并证明范氏气体的 c_v 与体积无关.

- 4.36 求狄特里奇方程在临界点处 pV/RT 的值.
- 4.37 证明处于临界点上, 物质的汽化热和声速均为零.
- 4.38 求范德瓦耳斯气体的临界点, 并给出以约化变量为状态变量的状态方程.
- 4.39 利用二级相变的 $\Delta V=0$, 导出厄伦菲斯方程 $dp/dT=(\alpha_a-\alpha_f)/(\kappa_{aT}-\kappa_{fT})$.
- 4.40 表述顺磁气体的居里定律, 在 $T \rightarrow 0K$ 时它需作何修正?
- 4.41 讨论正常相 N 和超导相 S 之间的相变, 求相变潜热和比热的改变.
- 4.42 设铁磁体的自由能 $F=F_0-\mu_0 HM+A(T-T_0)M^2+BM^4$, 求磁矩 M 的平衡值, 并讨论解的稳定性.
- 4.43 求克拉默斯函数 $q=-J/T$ 的全微分表达式, 证明 $\left(\frac{\partial N}{\partial T}\right)_{v,\frac{\mu}{T}}=\frac{1}{T}\left(\frac{\partial N}{\partial \mu}\right)_{T,v} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial N}\right)_{T,v}$.
- 4.44 证明 $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{v,\frac{\mu}{T}}-\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{v,N}=\frac{1}{T}\left(\frac{\partial N}{\partial \mu}\right)_{T,v}\left(\frac{\partial U}{\partial N}\right)_{T,v}^2$.
- 4.45 证明 $U=\sum_i n_i \frac{\partial U}{\partial n_i}+V \frac{\partial U}{\partial V}$ 以及 $u_i=\frac{\partial U}{\partial n_i}+v_i \frac{\partial U}{\partial V}$.
- 4.46 已知铁在 $T<900K$ 及 $T>1400K$ 时 α 态稳定, $900K<T<1400K$ γ 态稳定, 已知两态的比热, 求 T_1 和 T_2 处铁的相变潜热 L_1 和 L_2 .
- 4.47 处在熔点 T_i, p_i 的冰, 经绝热压缩到达状态 T_f, p_f . 证明溶解的冰的百分数 $x=-(s'_f-s'_i)/(s''_f-s'_f)$, 并求 x 与冰的 c_p, α', L_f 的关系.
- 4.48 证明在 T 一定时, 能够处于两相平衡的两个状态 A 和 B 必定处在曲线 F_A 和 F_B 的公切线上.
- 4.49 低温下两个容器的液氮用毛细管连接, 求平衡条件. 若两容器氮的压强相同, 但温度不同, 问液氮如何流动?
- 4.50 由两组元组成的理想溶液, 若已知一组元的化学势, 求另一组元的化学势.
- 4.51 两种纯液体在等温等压下混合成理想溶液, 求混合前后的 $\Delta G, \Delta V, \Delta S, \Delta H$ 及 ΔU .
- 4.52 若在理想溶液中溶质是非挥发性的, 求相平衡条件, 饱和蒸汽压及 $(\partial T/\partial x)_p$.
- 4.53 求 NH_3 分解反应中的平衡常数.
- 4.54 求在等温等压下化学反应的反应度 ϵ 与初末态体积的关系.
- 4.55 利用质量作用定律, 求星球间中性原子的电离和复合反应中的电离度 ξ 与 T, p 的关系.
- 4.56 求在低温下金属中自由电子气和晶体的 c_p-c_v 与 T 的关系.
- 4.57 求带电荷为 q 的肥皂泡的内外压强差 Δp 与电势 V , 半径 r 的关系.
- 4.58 求表面张力系数为 σ 的肥皂泡的内外压强差 Δp 与平衡半径 r 及内部空气质量 m 之间的关系.
- 4.59 一个长为 L 的线环置于液膜上. 当环内液膜破裂后, 线被拉紧成半径为 R 的圆环. 求液膜的表面张力系数.
- 4.60 将空气等温地压入肥皂泡内, 求外界所做的功.

- 4.61 冰帽下的水. 讨论冰帽的形状, 下陷, 岩浆的侵入以及冰帽下水的流动.
- 5.1 已知盛在长为 L 的试管内糖溶液的初始浓度 $n(x, 0)$, 写出 $n(x, t)$ 满足的扩散方程, 求 $t > 0$ 时的解 $n(x, t)$.
- 5.2 讨论杂质原子在晶体中的随机游动模型和扩散方程. 求杂质原子在 t 时刻移动过距离 d 的概率 $p(t, d)$ 和扩散系数 D .
- 5.3 两个容器体积相等, 第一个装有 CO 和 N_2 混合气体, 另一个装有 N_2 气体, 现有一长为 L 的细管将两容器连接, 求 t 时刻第一个容器内 CO 气体的分压.
- 5.4 试解释平流层气温随高度增加而升高, 以及对流层顶声波强度按 $1/R$ 衰减的原因.
- 5.5 由花岗岩地面下 10cm 处昼夜温度基本不变, 求花岗岩的热导率的最佳值.
- 5.6 由于周围空气的对流导致通过玻璃表面的热流 $q \propto (\Delta t)^{5/4}$, 由玻璃的热导率和室内外空气的温度, 求窗玻璃的内表面的温度.
- 5.7 湖面的水温接近 0°C , 当湖面上空气温度骤降 ΔT , 求经过时间 t 后, 湖面上冰层的厚度 $h(t)$.
- 5.8 水池表面已结了 1cm 的冰层, 冰层上方气温为 -20°C , 求冰层厚度增加的速率和冰层厚度增加一倍所需的时间.
- 5.9 一个远离太阳系的黑体小行星, 由于放射性, 行星内部产生恒定的热产生率 $\dot{q}$, 求行星的中心温度和表面温度.
- 5.10 有一根长为 l_0 , 内、外半径分别为 r_1 和 r_2 , 表面温度分别为 T_1 和 T_2 的管子, 求管内的温度 $T(r)$ 和热量的损失率.
- 5.11 求导热材料中的局部熵增加率.
- 5.12 一根铜棒的两端, 分别连接着沸水池与冰池. 求达到稳定态时体系的熵增加率及冰的融化速率.
- 5.13 一个铁球加热到 100°C , 然后让它的表面温度保持在 0°C , 求冷却 15min 后球心处的温度.
- 5.14 一个温度保持在 T_1 的大球浸在温度为 T_0 的无界液体中, 用一个定积分表示球外任一点 r 在 $t > 0$ 时的温度, 并给出 $t \rightarrow \infty$ 时的极限温度表达式.
- 5.15 一个房子的墙由水泥、砖和木板三种材料组成, 当室内外温度给定时, 求每分钟流过每平方米墙的热量.
- 5.16 试由流体力学的连续性方程和动量方程导出声速表达式, 并求 $T = 0\text{K}$ 时自由电子的声速.
- 5.17 圆柱形容器中的气体被一活塞封闭, 当作用在活塞上的力随时间做余弦变化时, 求活塞运动速度 $v(t)$.
- 5.18 一根细长金属棒以基频做纵向振动, 问在何种频率范围内振动为等温振动?
- 5.19 在一长为 l 的管内储有两种 CO_2 气体, 其中一种为放射性气体, 开始时放射性气体的分子数密度有一梯度, 求每秒通过管子中点的截面的放射性气体分子数和质量.
- 5.20 试用量纲分析法证明刚性小球在黏性流体中运动时所受到的力 $f = A\eta v r$.

- 5.21 求旋转圆筒黏度计测得气体的粘滞系数与圆筒的转速、石英丝的扭角和圆筒的尺寸的关系。
- 5.22 一载有电流的金属管,内表面维持在温度 T_0 ,求达到稳定态时,管内的温度 $T(r)$ 和管的外表面的温度。
- 5.23 容器内气体被一个带有面积为 A 的小孔的隔板分成两部分,两部分气体有相同的温度,但压强不相同。求证每秒通过小孔的气体质量为 $M = \sqrt{\mu/2\pi RT} A (p_1 - p_2)$ 。
- 6.1 已知道路的网格分布。求从格点 A 一步一步更接近格点 B 的路线数。
- 6.2 一节电池可处在正常态或失效态,处在正常态的概率为 p 。正常电池的电动势为 $\mathcal{E}$,失效电池的电动势为 0。有 N 节电池与一个电阻串联。试求电阻消耗的平均功率。
- 6.3 某经典谐振子具有确定的能量,但运动经常被随机中断,重新开始。求振子出现在位置 x 的概率密度。
- 6.4 “红”、“绿”两种细菌被食菌物随机吞食,但“红”、“绿”两菌的总数保持不变。若吞食无选择性,求“红菌”的生存概率。若以 1% 的优势选吃“红菌”,结果如何。
- 6.5 原子可在一维点阵上随机跳动。已知原子的初始位置,求原子在 N 次跳动后的平均位置及原子位置的涨落。
- 6.6 醉汉可往东西南北四个方向行走。求他走出三步离原地仍不超出两步距离的概率。
- 6.7 在立方体盒子中,粒子能量为 $\epsilon(n) = nh^2/2mL^2$, $n = n_x^2 + n_y^2 + n_z^2$ 。试给出当 $n = 0, 1, 2, 3, 4$ 时,能级 $\epsilon(n)$ 的量子态及简并度 $g(n)$ 。
- 6.8 在二维各向同性谐振子势中,粒子能量为 $\epsilon(n) = \epsilon_0 + nh\nu$, $n = n_x + n_y$ 。试证能级的简并度为 $g(n) = n + 1$ 。
- 6.9 在三维各向同性谐振子势中,粒子能量为 $\epsilon(n) = \epsilon_0 + nh\nu$, $n = n_x + n_y + n_z$ 。试证能级的简并度为 $g(n) = (n+1)(n+2)/2$ 。
- 6.10 在三维轴对称谐振子势中,若 $\nu_r/\nu_z = m_r/m_z$,试证:粒子能量为 $\epsilon(j_1, j_2, j_3) = \epsilon_0 + (j_1/m_r + j_2/m_z + j_3) E_s$, 式中 $0 \leq j_1 \leq m_r - 1$, $0 \leq j_2 \leq m_z - 1$, $j_3 \geq 0$, $E_s = m_r h \nu_z$; 能级的简并度为 $g(j_1, j_2, j_3) = (j_2 + 1)(j_3 + 1) + m_z j_3 (j_3 + 1)/2$ 。
- 6.11 在三维各向异性谐振子势中,粒子具有简并能级吗? 为什么。
- 6.12 每个粒子的能量只能取两个值 $\epsilon_1 = 0$ 和 $\epsilon_2 = \epsilon > 0$ 。求体系的熵 S 及温度与内能的函数关系 $T(U)$ 。何时温度 $T < 0K$ 。正负温度系统接触时,能量怎么流动。
- 6.13 自旋量子数为 $1/2$ 的粒子构成定域粒子系。求体系状态数与总自旋的关系。
- 6.14 由具有两个能级的粒子构成的粒子系,从热库吸热而使某粒子产生了一次跳跃。求粒子系及热库的熵变。求粒子分布函数。
- 6.15 粒子系由具有两个能级的粒子构成。求粒子平均能量的最大值。求体系的熵与上能级占有数的关系。
- 6.16 粒子系由具有两个能级的粒子构成。求体系的熵与能量的关系。求出现负温度的条件。