

[美]K·R·兰 编 杨建译

天体物理公式

上海科学技术出版社

55.3

57 (682)

1:

天体物理公式

[美] K. R. 兰 编

杨 建 译

上海科学技术出版社

定稿后请尽早交稿，以便及时安排印刷

期 限 表

下列最后之日期本书必须归还

封面设计 赵宜生

天体物理公式

〔美〕K. R. 兰 编

杨 建 译

上海科学技术出版社出版

（上海瑞金二路450号）

总发行所上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 30.75 字数 743,000

1983年4月第1版 1983年4月第1次印刷

印数：1—3,250

统一书号：13119·1039 定价：（科五）3.45元

内 容 提 要

本书是一本手册性的专业参考书,内容丰富,资料新颖,参考价值较大。全书共分5章计201节,包括了天体物理学各主要分支的重要公式的物理意义、各个量的定义、概念和符号等等,再加上46幅附图和69份附表,给出从总星系到基本粒子的重要的天体物理和物理参数和特性。目录较为详细,简明易查。

本书是天文工作者的一本重要参考书。对其他有关领域,如物理、高能物理、原子核物理、粒子物理、地球物理、天体测量、航天等学科的专业人员及高等院校有关专业师生都有一定的参考使用价值。

译者序

K. R. 兰编写的《天体物理公式》一书于 1974 年出第一版, 1980 年出第二版, 作者把天体物理学各个重要领域及分支的最重要及最常用的公式 2100 多种汇集在一本书内, 并尽量给出公式的资料来源、最新修订及应用。天体物理学的研究基本上是定量性的科学, 因而公式的重要性是显而易见的, 这本书的重要性也是不言而喻的。这本书与 1973 年出版的 O. W. 艾伦编写的《天体物理量》(第三版) 是天体物理学参考书中的两本重要的工具书, 而且本书内容更新更详尽, 篇幅也更大。一本是《量》, 一本是《公式》, 相互补充。本书作为一本手册性书籍, 参考价值是较大的。

本书不是一本枯燥的天体物理公式表, 公式在书中成为正文的有机组成部分, 正文说明公式的物理意义、定义、概念及符号, 各章还可以当作有关课题的简要介绍, 但是重点还在重要公式。书中并非都从基本原理开始推导这些公式, 只对简单公式给出推导, 对于繁复的推导及解释性说明, 读者可参考书末附录的大量原始文献及专题论文以及最新的修订及应用这些资料的参考文献(总数近 3500 篇)。这些附录及本书的目录都是经过精心编排的, 因而很容易从大量资料中查找所需的公式或有关资料。再加上 46 幅附图及 69 份附表, 给出从基本粒子到射电星系及类星体等重要的物理和天体物理的参数及特性。这些都大大节省了读者的时间和精力。为了节省篇幅, 本书未列参考文献, 需要查阅的读者, 请查原著。

原书的副书名是《物理工作者与天体物理工作者用的简编》, 这是因为本书大部分内容对物理工作者也是有用的: 开头三章包括很多基础物理学, 而四、五两章虽然内容偏重于天体物理学, 但这些内容的大部分对物理工作者也具有广泛的应用。至于原书的《简编》二字, 不是指书的篇幅多少, 而是指以简明形式给出各种公式及其应用。

原书第五章宇宙学部分用到“宇宙时间”、“宇宙常数”、“宇宙时标”、“宇宙起源”、“宇宙模型”等等名称, 实际上, 宇宙学主要研究人类观测所及的大尺度天体系统的规律性问题, 上述这些名称, 应从这方面来理解, 请读者注意。

本书的翻译工作得到程慕兰同志的协助, 方励之教授校阅全书, 对此表示感谢。原书中已看到的错误及遗漏, 大多已作了改正及补充, 并在改动处右上角以数码号表示, 以译者注或校者注的形式加以说明。对书中的一些基本的物理常数、天文常数分别以 1973 年、1976 年公布的数值, 以及其他一些新公布的数值为依据, 作了订正。书中有些公式的数字系数亦已改为新的更精确的数值, 读者作近似计算时只要少取几位有效数字即可。为区别起见, 由译者改动过的数值一律在左上角打上“*”号。原书 1980 年的增订版, 正文中除了少量改错、加注以外, 基本上没有改动, 但新版增加的参考文献达 1500 篇之多。

限于水平, 书中肯定还存在缺点及错误, 恳请读者批评指正。

原 序

本书的目的在于成为一本天体物理学基本公式参考文献汇编的书。只要有可能，书中所介绍的资料的原始文献以及近来的修订及应用的文献，都予以列出。还列出了早期文献的较容易得到的复印本及英译本。这样，我们提供给读者的是那些常常被忽视的历史上的来龙去脉，并将读者导向主要的最新文献。当然，任何一篇未列出的文献并不意味着对该文献的内容质量有不良看法。为了能在本书内介绍各种各样的概念，故采用了简明的形式并且只对较简单的公式给予推导。详尽的推导及解释性注解可在原始文献或书末选列的参考文献内的书中找到。按照天体物理学的惯例，除非特别注明者外，都采用厘米·克·秒单位制。为了节省篇幅起见，基本常数不是每次都加以定义的，除非特别说明。下列符号表示的意义及数值¹⁾如下：

符 号	意 义	数 值
c	真空中的光速	$2.99792458(1.2) \times 10^{10}$ 厘米·秒 ⁻¹
h	普朗克常数	$6.626176(36) \times 10^{-27}$ 尔格·秒
$\hbar = h/2\pi$	合理化普朗克常数	$1.0545887(57) \times 10^{-27}$ 尔格·秒
k	玻耳兹曼常数	$1.380662(44) \times 10^{-16}$ 尔格·开 ⁻¹
e	电子的基本电荷	$4.803242(14) \times 10^{-10}$ 静电单位
m_e	电子静质量	$9.109534(47) \times 10^{-28}$ 克
G	引力常数	$6.6720(41) \times 10^{-8}$ 达因·厘米 ² ·克 ⁻²
N_A ²⁾	阿伏伽德罗数	$6.022045(31) \times 10^{23}$ 摩尔 ⁻¹
a. m. u. = u	原子质量单位	$1.6605655(86) \times 10^{-24}$ 克
α	精细结构常数	$7.2973506(60) \times 10^{-3}$
e/m_e	电子荷质比	$5.272764(15) \times 10^{17}$ 静电单位·克 ⁻¹
R_∞	里德伯常数	$1.097373177(83) \times 10^5$ 厘米 ⁻¹
a_0	玻尔半径	$5.2917706(44) \times 10^{-9}$ 厘米
$h/(mc)$	康普顿波长	$2.4263089(40) \times 10^{-10}$ 厘米
$r_0 = e^2/(mc^2)$	经典电子半径	$2.8179380(70) \times 10^{-13}$ 厘米
R	气体常数	$8.31441(26) \times 10^7$ 尔格·开 ⁻¹ ·摩尔 ⁻¹
σ	斯特凡-玻耳兹曼常数	$5.67032(71) \times 10^{-5}$ 尔格·厘米 ⁻² ·秒 ⁻¹ ·开 ⁻⁴
σ_T	汤姆孙截面	$6.652448(33) \times 10^{-25}$ 厘米 ²
A ³⁾	天文单位，也称单位距离	$1.49597870 \times 10^{13}$ 厘米
pc	秒差距	$3.08567756 \times 10^{18}$ 厘米 = 206264.806 天文单位距离 = 3.26163342 光年
l.y.	光年	$9.46052841 \times 10^{17}$ 厘米 = 6.32397267×10^4 天文单位距离 = 0.306594847 秒差距
S^{\odot}	太阳质量	1.9891×10^{33} 克

1) 这里的物理基本常数已改用国际科学技术协会科学技术数据委员会正式采用的基本常数的新数值，见 J. Phys. Chem. Ref. Data vol. 2, 4, p. 741 (1973)。这里的天文常数也已改用国际天文学联合会采用的最新数值，见 I. A. U. Information Bulletin 4 37 (1977)。——译者注

2) 根据新测定， $N_A = 6.0220978(63) \times 10^{23}$ 摩尔⁻¹，见 Rev. of Modern Phys. 1980 年 4 月号。——译者注

3) 原文为“a. u.”，即“天文单位”，按国际天文学联合会新规定，用“A”表示“天文单位”，也称“天文单位距离”。——译者注

4) 原文为“ M_\odot ”，即“太阳质量”，按国际天文学联合会新规定，用“ S ”表示“太阳质量”。——译者注

(续表)

符 号	意 义	数 值
R_{\odot}	太阳半径	$6.9599(7) \times 10^{10}$ 厘米
L_{\odot}	太阳光度	$3.826(8) \times 10^{33}$ 尔格·秒 ⁻¹
1eV	1 电子伏	
	与 1 电子伏相当的波长	$12398.520(32) \times 10^{-8}$ 厘米
	与 1 电子伏相当的波数	$8065.479(21)$ 厘米 ⁻¹
	与 1 电子伏相当的频率	$2.4179696(63) \times 10^{14}$ 赫
	与 1 电子伏相当的能量	$1.6021892(46) \times 10^{-19}$ 尔格
	与 1 电子伏相当的温度	11604.50(36) 开

这里以及在全书中，每一个所引用的值后面圆括弧中的数字表示所用值的最后一位或两位数字的标准偏差。(下略)因为本书目的是成为一本参考文献汇编的书，所以目录要比大多数书更详细。各种表格包括了大多数著名的天体的观测资料及物理特征。

(下略)

K. R. 兰

加利福尼亚州帕萨迪纳市加州理工学院
马萨诸塞州梅德福德市塔夫茨大学

1974 年 10 月

目 录

译者序

原序

第一章 连续谱辐射	1
1.1. 静电场	1
库仑定律 泊松方程 静电偶极子	
1.2. 静磁场	1
安培定律 毕奥及萨伐尔定律 磁矢量势 磁偶极子	
1.3. 在物质中的电磁场——本构关系	3
欧姆定律 磁导率及介电常数 折射率 极化率及电极化 电极化率及磁化率	
1.4. 感生电磁场	4
法拉第定律 磁通量	
1.5. 电荷守恒的连续性方程	4
1.6. 麦克斯韦方程组	4
麦克斯韦微分方程及积分方程组 传导电流密度及对流电流密度	
1.7. 边界条件	5
1.8. 电磁场的能量密度	5
1.9. 坡印廷能通量	5
1.10. 电磁动量及辐射压力	5
1.11. 洛伦兹力定律	6
力的定律 回转频率及回转半径 在均匀恒定电场及(或)磁场中带电粒子的运动	
1.12. 平面电磁波	6
波动方程 相速及群速 坡印廷能通量及能密度 在导电介质中的平面波	
1.13. 平面波的偏振——斯托克斯参量	7
1.14. 平面波的反射及折射	8
斯涅耳定律 反射系数 透射系数 皮层厚度 雷达截面 布儒斯特角 辐射压力	
1.15. 色散关系	9
一群束缚电子的折射率 气体的折射率 一群原子的折射率 等离子体的折射率 克喇末-克朗尼格关系式	
1.16. 洛伦兹坐标变换	11
1.17. 电磁场的洛伦兹变换	11
1.18. 在运动物质或旋转物质中的感生电场[单极(同极)感应]	11
1.19. 匀速运动的点电荷的电磁场	12
1.20. 矢势和标势(推迟势和利纳德-维谢尔势)	12
1.21. 加速点电荷的电磁辐射	13
1.22. 电偶极子和磁偶极子的电磁辐射	13

1.23.	黑体的热辐射	14
	普朗克定律 维恩定律 瑞利-琼斯定律 维恩位移定律 斯忒藩-玻耳兹曼定律 辐射能密度 灰体有效温度 行星温度及反照率 观测到的流量密度 流量单位及 星等 运动黑体的辐射	
1.24.	辐射转移和观测亮度	19
	吸收系数、发射系数及光学深度 基尔霍夫定律 通过一团吸收云看到的亮度	
1.25.	单电子的磁致辐射或回转辐射(回磁辐射及同步加速辐射)	19
	每单位立体角辐射的功率 临界频率 总辐射功率 回转频率、回转半径及螺距角 多普勒频移后的回转频率 每单位频率间隔辐射的 n 次谐波的平均功率 每单位频率 间隔内辐射的平均总功率 不同偏振的角谱 偏振度 能量损失率及半衰期 中等相 对论性电子发出的功率 由于回转辐射所致吸收及功率 在强磁场中 n 次谐波的量 子化同步加速辐射功率的近似公式	
1.26.	一个粒子系综的同步加速辐射	25
	单色及幂律电子谱的体发射率、总强度及线偏振度和圆偏振度 电子能量、磁能量及 总能量	
1.27.	在等离子体中的同步加速辐射	28
	每单位频率间隔辐射的总功率、临界频率 楚托维奇-拉津效应 拉津临界频率及渐 近的低频频谱 同步加速辐射的热吸收	
1.28.	同步加速辐射频谱的附加修正	29
	同步加速自吸收 自吸收的临界频率 同步加速辐射损失 回旋加速回转	
1.29.	单电子的韧致辐射(自由-自由辐射)	31
	卢瑟福偏转公式 辐射的总功率 微分散射截面 辐射及光子截面 最大及最小碰 撞参量 莫特偏转公式 相对论性电子的韧致辐射 屏蔽效应 辐射能量损失及碰 撞能量损失	
1.30.	等离子体的韧致辐射(自由-自由辐射)	33
	体发射率 自由-自由冈特因子 吸收系数 光学深度及发射量 韧致辐射的自吸收 强度及总光度 在强磁场中的电子韧致辐射	
1.31.	光致电离和复合(自由-束缚)辐射	35
	爱因斯坦光致电离公式 克喇末吸收截面 自由-束缚冈特因子 复合截面的米尔恩 关系式 等离子体辐射的体发射率 自由-束缚冈特因子的近似公式 最小光度	
1.32.	天体物理等离子体	38
	热速度及平均动能 粒子平均间距及平均库仑能量 等离子体频率 回旋加速频率 或回转频率及回转半径 德拜屏蔽半径 横波及纵波的折射率 黑体辐射强度 辐射 能量密度 基尔霍夫定律 吸收系数 有效碰撞频率 平均自由程	
1.33.	在等离子体中电磁(横)波的传播	41
	存在磁场时的传播 阿普顿及哈特里色散关系 寻常波及非常波 准纵传播 法拉 第旋转及旋转量 准横传播 无磁场时的传播 电导率、吸收系数 群速 辐射脉冲 的时间延迟及频散量 脉冲星	
1.34.	在等离子体中纵(P 波模)波的传播: 等离子体的谱线辐射和切伦科夫辐 射	43
	纵波频率 纵波的折射率 朗道阻尼 等离子体波的电磁辐射 等离子体波的振幅 光学的切伦科夫辐射圆锥及强度 在等离子体中电子的切伦科夫辐射的角谱及频谱	

1.35.	谐振子的散射	48
	经典阻尼常数 每单位立体角辐射的功率 散射截面 辐射的总功率 总散射截面	
1.36.	束缚电子的瑞利散射	49
1.37.	自由电子的汤姆孙散射	49
	汤姆孙散射截面 克莱因-仁科散射截面 散射辐射的角分布 在强磁场中的汤姆孙散射	
1.38.	自由电子的康普顿散射与逆康普顿辐射	50
	静止电子的康普顿频率及波长变化 相对论性电子的散射频率及散射截面 同步加速辐射体的逆康普顿阻尼 同步加速射电源的最大亮度温度 射电源角大小的限制	
1.39.	小球的瑞利散射	52
	振荡球的偶极矩 散射截面及辐射功率 效率因子 散射辐射的偏振 复数折射率及散射截面	
1.40.	恒星的消光及红化	54
	球的消光、吸收及散射截面 消光所致星等变化 星际红化曲线及消光随波长的变化	
1.41.	任意大小的均匀球的米氏散射	54
	散射辐射的强度 消光截面 吸收截面 散射功率 极限情况 爱里衍射花样	
1.42.	雷达反向散射	56
	雷达截面及反向散射截面 自由电子及不良导电球的反向散射截面 行星的反向散射截面 瑞利判据 反向散射的角分布及表面粗糙度 朗伯定律 转动体的反向散射 带宽 延迟-多普勒反向散射截面 等离子体的反向散射截面 等离子体的反向散射频谱	
1.43.	电子密度起伏所引起的相位变化及散射角	59
1.44.	闪烁图	60
	强度起伏的功率谱 展源的效应 调制指数 源的临界大小 强度的几率分布 去相关时间及去相关频率 辐射脉冲的增宽 速度测量	
第二章	单色(谱线)辐射	63
2.1.	原子的参数	63
	经典电子半径 第一玻尔轨道半径 谱线频率 无限大质量的里德伯常数 康普顿频率及波长 塞曼位移——拉莫尔进动频率 玻尔磁子及核磁子 精细结构常数	
2.2.	爱因斯坦几率系数	65
	自发辐射、受激发射及自发吸收的爱因斯坦系数 与系数有关的公式	
2.3.	电偶极子自发辐射的爱因斯坦几率系数	65
	偶极子的平均辐射功率 电偶极子辐射系数 电偶极子矩阵元 电偶极子的强度	
2.4.	电偶极子发射系数与经典阻尼常数及振子强度的关系	66
	经典阻尼常数 振子强度 腊希-托马斯-库恩求和定则	
2.5.	磁偶极子自发辐射的几率系数	66
	磁偶极子发射系数 磁偶极子矩阵元 磁偶极子的强度	
2.6.	电四极子自发辐射的几率系数	67
	电四极矩 电四极矩的平均辐射功率 电四极矩发射系数 电四极矩的强度	
2.7.	辐射转移	67
	辐射转移方程 源函数 光学深度 发射及吸收系数 局部热动平衡的源函数 转移方程的解	

天本勿里学

)

2.8.	线辐射的共振吸收	68
	线吸收系数 频谱强度分布 局部热动平衡谱线 吸收系数 谱线积分吸收系数	
2.9.	在局部热动平衡条件下的谱线强度	69
	光学深度及吸收系数 谱线的强度 观测到的天线温度 元素的柱密度及相对丰度	
2.10.	局部热动平衡条件不满足时的谱线强度	70
	吸收系数及发射系数 统计平衡方程 电离及复合 碰撞感应跃迁 碰撞电离和三体复合 双电子复合 电离氢区的非局部热动平衡的能级粒子数	
2.11.	禁线、复合光谱、巴耳末减幅和行星状星云	73
	禁线的电子碰撞激发 禁戒跃迁的波长、跃迁几率及碰撞强度 由禁线强度得出的电子密度及温度 由氢及氦谱线得出的电子密度及温度 星际吸收 射电频率致辐射 行星状星云的质量及距离 氢及氦的复合辐射 双光子发射 由巴耳末减幅得出的电子密度及电子温度 由精细结构吸收特征得出的密度	
2.12.	原子复合谱线和电离氢(HII)区	83
	复合谱线频率 里德伯常数及原子质量 射电频率复合谱线的谱线温度 谱线发射量 氢原子的振子强度 束缚-束缚冈特因子 赖曼、巴耳末、帕邢、布喇开、普丰、汉弗莱斯及皮克林线系 氢及氦的宇宙相对丰度 射电频率谱线宽度、谱线温度及连续谱温度	
2.13.	原子精细结构	93
	罗素-桑德斯耦合 原子量子数 原子光谱的选择定则 精细结构跃迁的能量及频率 电偶极子辐射的谱线强度 格罗特里安图 原子单位 薛定谔波方程 哈密顿算符 伯格-多奇洛-奥恩斯坦求和定则 其他求和定则 在最丰富电离级中最丰富元素的最强原子谱线 在类星体中最可能发现的吸收谱线的波长	
2.14.	原子的超精细结构	108
	原子核自旋及磁矩 朗德 g 因子 超精细跃迁的能量及频率 在射电频段的超精细跃迁 1420 兆赫(或 21 厘米)中性氢谱线 中性氢柱密度 自旋温度、运动温度及辐射温度 星际及星系际中性氢	
2.15.	分子的谱线辐射	110
2.15.1.	分子跃迁的能量及频率	110
	分子量子数 双原子分子光谱的选择定则 洪德耦合情况(a)及(b) Λ 型双重性 转动跃迁的能量 转动常数及转动惯量 振动跃迁的能量 玻恩-奥本海默近似 莫尔斯势 转动-振动能级 弗兰克-康登原理 反演双重线跃迁 Λ 双重线跃迁 在行星及卫星大气中已证认的气体 已观测到的星际分子	
2.15.2.	谱线强度和分子丰度	120
	转动跃迁及转动-振动跃迁的峰值吸收系数 自旋温度、运动温度及辐射温度 碰撞寿命及辐射寿命 微波激射源的谱线强度及宽度	
2.15.3.	分子的形成及破坏	123
	丰富分子的离解能及电离电势 光致离解及光致电离 在紫外波段的星际辐射场 分子及离子的光致破坏率 气体交换反应及反应率常数 阿赫尼厄斯因子及激活能 离子-分子反应及其反应率常数 缔合分离反应及其反应率常数 电荷交换反应及其反应率常数 分子在尘粒表面上的复合 粘附系数、撞击时间、蒸发时间及吸附能量 表面复合的反应率常数 星际微粒质量、半径、质量密度及数密度 辐射缔合反应及其反应率常数 辐射缔合的截面 间接辐射缔合或逆预离解 辐射吸附、光致分离、离解复	

合及辐射复合	
2.16.	恒星大气的谱线辐射——夫琅和费光谱和生长曲线·····129
	夫琅和费谱线 舒斯特-史瓦西大气模型和米尔恩-爱丁顿大气模型 出射强度及表面 通量源函数 史瓦西-米尔恩方程 爱丁顿近似 吸收深度的米尔恩-爱丁顿解 等值宽 度 激发温度、总速度及湍流速度 在太阳中元素的相对丰度 质量密度、气体压力 及电子压力质量吸收系数、罗斯兰德平均不透明度及普朗克平均不透明度 有效温度
2.17.	改变发射谱线频率的效应·····137
	正常塞曼效应 反常塞曼效应 强磁场的塞曼效应——帕邢-巴克效应、二次塞曼效应 及热辐射的圆偏振 氢原子的斯塔克效应 多普勒频移 射电星系及类星体的红 移 引力红移 折射效应
2.18.	多普勒致宽(高斯轮廓)·····153
	谱线强度分布 最可几湍流速度、均方根湍流速度、平均湍流速度 半极大全宽度 运动温度及多普勒温度 由于汤姆孙散射的致宽
2.19.	自转源或膨胀源引起的致宽·····155
	投影的赤道线速度 恒星自转 膨胀速度
2.20.	碰撞致宽(斯塔克致宽或压力致宽)·····156
2.20.1.	离子致宽——准静态近似·····156
	霍尔茨马克分布 氢的线性斯塔克效应及二次斯塔克效应 英格利斯-特勒极限
2.20.2.	电子致宽——碰撞近似·····158
	洛伦兹色散轮廓 林德霍尔姆-弗利理论 斯塔克效应的谱线位移及谱线致宽
2.20.3.	类氢原子谱线辐射的碰撞致宽的谱线翼公式·····160
2.20.4.	与中性氢原子碰撞所致的范德瓦耳斯致宽·····162
2.20.5.	辐射原子与基态原子相互作用所致的共振致宽·····163
2.21.	自然致宽(洛伦兹色散轮廓)·····163
	经典阻尼常数 洛伦兹色散轮廓 韦斯科夫-维格纳解 量子力学阻尼常数及平均寿命
2.22.	合成的多普勒、洛伦兹和霍尔茨马克谱线致宽(佛格特轮廓)·····164
	佛格特轮廓 佛格特函数 对佛格特轮廓的霍尔茨马克轮廓改正
第三章	气体过程 ·····166
3.1.	气体的微观结构·····166
3.1.1.	玻耳兹曼方程、福克-普朗克方程、波戈留波夫-玻恩-格林-柯克伍德-伊冯 方程系、麦克斯韦分布函数及符拉索夫方程·····166
3.1.2.	碰撞-碰撞之间的平均自由程和平均自由时间·····168
3.1.3.	粘滞性和雷诺数·····169
3.1.4.	电导率及迁移率·····170
3.1.5.	扩散及磁雷诺数·····171
3.1.6.	热导率及普朗特数·····172
3.2.	气体热力学·····173
3.2.1.	热力学第一定律及理想气体定律·····173
3.2.2.	热容量、分子热及比热·····173
3.2.3.	绝热过程·····173
3.2.4.	多方过程·····174

3.2.5.	热力学第二定律及气体的熵.....175
	热力学第二定律 熵及玻耳兹曼常数 应用玻耳兹曼常数的理想气体定律 阿伏伽德罗数及洛喜密特数 单原子气体的熵的萨库尔-特特罗德方程 光子气的熵
3.2.6.	合并的第一及第二定律.....176
	焓 亥姆霍兹函数及吉布斯函数——在定容或定压下的自由能 独立变量的记忆符号图 麦克斯韦关系式 共轭变量 自由能及配分函数 单原子气体的自由能
3.2.7.	能斯脱热定理.....179
3.2.8.	热力学量的涨落.....179
3.3.	统计性质及状态方程.....180
3.3.1.	非简并的理想气体.....180
3.3.1.1.	能量和速度的麦克斯韦分布函数.....180
3.3.1.2.	理想气体的能量密度及状态方程.....181
3.3.1.3.	激发态粒子数密度的玻耳兹曼方程.....182
3.3.1.4.	沙哈-玻耳兹曼电离方程.....182
3.3.1.5.	电离球的斯特龙根半径.....187
3.3.2.	简并气体——数密度、能量密度、熵密度及状态方程.....188
3.3.2.1.	费密-狄拉克统计法及函数.....188
	在绝对零度时的能量——费密能量 电子密度及简并温度 费密理想简并电子气的状态方程 简并态的状态方程
3.3.2.2.	简并电子气的状态方程——白矮星.....190
	简并电子气的张德拉塞卡极限质量 白矮星 由电子及原子核组成的零温度等离子体的能量及压力 零温度等离子体的最大半径及最小质量
3.3.2.3.	简并中子气(中子星)的状态方程.....198
	理想费密简并中子气的状态方程 中子星物质的状态方程 中子星的最大与最小的质量及半径 中子星物质的超流性
3.3.2.4.	中微子气的数密度、能量密度、熵密度及状态方程.....200
	零静质量中微子气体 中微子气体的数密度、能量密度及熵密度 中微子气体的状态方程
3.3.3.	光子气.....201
3.3.3.1.	爱因斯坦-玻色统计法.....201
	光子气的临界密度
3.3.3.2.	光子气的状态方程、能量密度及熵.....202
	光子气的状态方程 辐射常数及斯忒藩-玻耳兹曼常数 光子气的比熵
3.4.	气体的宏观结构——维里定理.....203
3.4.1.	克劳修斯维里定理.....203
	克劳修斯维里定理 庞加莱定理 张德拉塞卡-费密维里定理 转动惯量、动能、引力势能及磁能
3.4.2.	里特关系式.....204
	里特关系式——球的绝热不稳定性 磁场及广义相对论对球的动力学不稳定性效应
3.4.3.	简并物质的张德拉塞卡极限质量.....205
	简并电子气的张德拉塞卡极限质量 自转对张德拉塞卡极限质量的效应

3.4.4.	存在磁场或外压力时引力收缩的条件——动力稳定性的最大磁场及最大质量	205
3.4.5.	引力收缩、流体动力学时间尺度及开尔文-亥姆霍兹收缩时间	206
3.4.6.	转动流体块状物的稳定平衡椭球	207
	转动流体块状物的稳定外形 维里方程的压力及转动项 均匀椭球的引力势 麦克劳林球体的转动速度及角动量 麦克劳林球体的最大角速度及偏心率 雅可比椭球的角动量 在麦克劳林球体及雅可比椭球间的分支点 在雅可比椭球及梨形位形间的分支点 洛希卫星系统的转动速度及轨道半径的极限 密近双星系统的洛希极限及演化 琼斯卫星系统的转动速度及轨道半径的极限	
3.5.	气体的宏观结构——流体动力学	210
3.5.1.	质量守恒的连续性方程	210
3.5.2.	欧拉方程(纳维尔-斯托克斯及伯努利方程)	210
3.5.3.	能量方程	211
3.5.4.	大气——流体静力学平衡、气压方程、标高、逃逸速度、恒星风及日冕	213
3.5.5.	对流——史瓦西条件、普朗特混合长度理论、瑞利及努珊数、保辛涅斯克方程	216
3.5.6.	声波——速度、能量密度及太阳能通量	220
3.5.7.	等熵流——气体的绝热射流	222
	气体的绝热流 辐射为主的气体的绝热膨胀 正在膨胀的非热射电源的流量变化	
3.5.8.	激波	224
	激波的兰金-雨高尼奥方程组 强及弱激波方程 激波波阵面的厚度 激波的阻尼 超新星爆发及相对论性激波 辐射为主的激波	
3.5.9.	流体动力学引力波	227
3.5.10.	引力不稳定性的琼斯条件	228
	琼斯速度、琼斯长度及琼斯质量 自转及磁场对引力收缩的效应	
3.5.11.	阿耳文磁流体力学波	229
3.5.12.	湍流	230
	湍流及雷诺数 湍流的速度相关函数及能谱函数 湍流的动能及能量耗散率 柯尔莫戈罗夫能谱 与大小及湍流速度有关的柯尔莫戈罗夫定律 激波或阿耳文波对湍流的阻尼 海森堡能谱 大气及行星际介质的湍流谱	
3.5.13.	吸积	232
	稳定种子天体的质量吸积 运动天体的吸积的霍伊尔-利特尔顿公式 在流动气体中的吸积 由白矮星或中子星吸积的光度 吸积的阻力	
3.5.14.	恒星的变化性及振荡理论	234
	恒星光度及径向速度的变化性 球的绝热径向振荡的波动方程 径向振荡的本征值基谱模、脉动常数及周期比 线性、非绝热脉动效应 非粘滞性球的径向及非径向振荡的开尔文模式 振荡的粘滞性阻尼	
3.5.15.	流体及等离子体中的不稳定性	238
	由于密度变化所致瑞利-泰勒不稳定性 由于弯曲磁力线所致槽纹不稳定性及交换不稳定性 漂移波不稳定性 由于密度变化及剪切流所致开尔文-亥姆霍兹不稳定性 由于速度不均匀性所致双流静电不稳定性 电子-离子不稳定性及离子声波 电磁速度空间不稳定性 水龙管及镜式不稳定性 撕裂不稳定性、磁场重新连接及太阳耀斑	

收缩不稳定性

第四章 核天体物理学与高能粒子	245
4.1. 早期发现的基本粒子、符号及定义	245
4.1.1. 电子、质子、中子、光子以及它们的反粒子	245
4.1.2. 符号、命名法及单位	245
4.1.3. 结合能、质量亏损、质量盈余、原子质量、质量分数、敛集率、能量释出、幻数及质量定律	247
4.1.4. α 衰变及其他天然核反应	286
4.2. 热核反应率	287
4.2.1. 截面的定义及倒易定理	287
4.2.2. 非共振中子俘获截面	288
4.2.3. 非共振带电粒子截面	289
4.2.4. 中子及带电粒子的共振截面——布赖特-维格纳形状	289
4.2.5. 反应率、平均寿命及产能	290
4.2.6. 非共振反应率	290
4.2.7. 共振反应率	292
4.2.8. 逆反应率及光致衰变	294
4.2.9. 电子屏蔽——弱屏蔽及强屏蔽	295
4.2.10. 超密态核反应	297
4.3. 弱相互作用过程	298
4.3.1. 电子中微子、 μ 中微子、 μ 子、 π 介子及弱相互作用理论	298
μ 子衰变及 μ 中微子 中微子反应截面 费密普适耦合常数 弱相互作用矩阵元 含时微扰理论的黄金定则 中微子-中微子及中微子-核相互作用 费曼-盖尔曼弱相互作用流 矢量及轴矢量耦合常数 矢量耦合及 β 衰变 轴矢量耦合及中子半衰期 电-电相互作用哈密顿算符	
4.3.2. β 衰变	301
β 衰变及电子中微子 β 衰变的质量条件 费密跃迁及伽莫夫-特勒 β 衰变跃迁 β 衰变跃迁几率及半衰期 费密函数及 ft 值 恒星中 β 衰变的不相容原理抑制 热激发核的 β 衰变——光致 β 衰变 虚 β 衰变 正电子俘获感生的 β 衰变	
4.3.3. 电子俘获	304
电子俘获的质量条件 电子俘获至连续谱轨道 简并气体及非简并气体的恒星相空间函数 相对论性及非相对论性气体的费密能量	
4.3.4. 乌卡过程	306
在简并气体中电子俘获及 β 衰变的中微子能量产生 乌卡壳层及对流区 正电子俘获及乌卡过程 质子俘获电子及中子俘获正电子的俘获率以及中微子光度 零温度中子星的中子、质子及电子密度 存在强磁场的乌卡中微子光度 修正的乌卡过程 修正的乌卡反应及 π 介子反应的中微子光度 中子星的光子光度及中微子冷却	
4.3.5. 中微子偶发射	310
4.3.5.1. 中微子韧致辐射及中微子同步加速辐射	310
简并气体及非简并气体的中微子自由-自由辐射 复合到 K 壳层的中微子自由-束缚辐射 中微子同步加速辐射	

4.3.5.2.	电子偶湮没中微子	313
4.3.5.3.	光激中微子过程	314
4.3.5.4.	等离子体中微子过程	315
4.3.5.5.	光致库仑中微子及光子-光子中微子	316
4.3.5.6.	μ 子及 π 介子中微子过程	316
4.3.6.	中微子不透明度	317
4.3.7.	太阳中微子	319
4.4.	元素的核合成	321
4.4.1.	元素的丰度	321
4.4.2.	寻常恒星的核合成过程——能量产生阶段及反应率	322
	氢燃烧——质子-质子循环 氢燃烧——碳-氮-氧双循环 氦燃烧—— 3α 俘获过程 及 α 俘获过程 碳燃烧及氧燃烧 硅燃烧 s 过程、 r 过程及 p 过程	
4.4.3.	平衡过程	329
4.4.4.	爆炸式燃烧过程	331
4.4.5.	核素丰度方程	333
4.4.6.	稀有轻元素的形成——散裂反应及宇宙核合成	336
	在恒星表面的质子及在星际空间的宇宙线所致散裂反应 散裂反应形成的 Li^6 、 Be^9 、 B^{10} 及 B^{11} 在恒星中及在太阳系中轻元素的丰度 轻元素的对流损耗 散裂截面、产生率及 Q 值 D 、 He^3 、 He^4 及 Li^7 的宇宙核合成	
4.4.7.	超新星爆发中的快速热核反应	342
4.5.	高能粒子	344
4.5.1.	高能粒子的形成	344
4.5.1.1.	在原子核场中 γ 射线吸收所形成的电子-正电子偶	344
4.5.1.2.	带电粒子形成的电子-正电子偶	344
4.5.1.3.	两个光子碰撞形成的电子-正电子偶	345
4.5.1.4.	在原子核场中由 γ 射线形成的 μ 子偶	345
4.5.1.5.	带电粒子碰撞形成的反冲(撞出)电子	345
4.5.1.6.	正电子湮没形成的光子	346
4.5.1.7.	原子核相互作用形成的 π 介子、 μ 子、正电子、电子、光子及中微子	347
4.5.1.8.	逆康普顿效应所致高能光子的发射	347
4.5.1.9.	相对论性电子或 μ 子的韧致辐射所致高能光子发射	348
4.5.1.10.	相对论性电子的同步加速辐射(磁韧致辐射)所致光子发射	349
4.5.1.11.	核反应的光子发射	349
4.5.1.12.	太阳 X 射线及 γ 射线辐射	349
	太阳 X 射线及 γ 射线辐射 软 X 射线的热辐射 硬 X 射线、非热电子及微波辐射 薄靶及厚靶模型 热韧致辐射的通量 回转频率及回转同步加速辐射 厚靶硬 X 射线 通量及电子谱 可能观测到的天体物理 γ 射线的能量、源、截面及源的半衰期 产生 中子反应及质子产生的中子的微分能谱 产生 π 介子反应及质子产生的 π 介子的 微分能谱 正电子发射核及其为质子碰撞所产生 在质子加速时次级粒子的产生 在质子减速时次级粒子的产生 在地球上期望从太阳来的中子通量	
4.5.2.	高能粒子的能量损耗机制	356

目 录

4.5.2.1.	带电粒子因电离所致能量损耗	356
4.5.2.2.	电子因韧致辐射所致能量损耗	358
4.5.2.3.	电子因康普顿散射所致能量损耗(逆康普顿效应)	358
4.5.2.4.	电子因同步加速辐射(磁韧致辐射)所致能量损耗	359
4.5.2.5.	光子因光电效应、康普顿散射及电子偶的形成所致能量损耗	360
4.5.3.	高能粒子的起源	361
4.5.3.1.	宇宙线电子、质子及正电子的能谱	361
4.5.3.2.	高能粒子的加速机制	364
	费密加速机制 作为高能粒子源的脉冲星及自转中子星 高能粒子受超新星爆发的加速 已观测到的超新星遗迹	
4.5.3.3.	高能光子的起源	371
	弥漫 X 射线及 γ 射线背景的微分能谱 星系际热气体的热韧致辐射 逆康普顿辐射 分立 X 射线源 可变 X 射线源 γ 射线爆发 双天体吸积所致 X 射线辐射	
第五章	天体测量学和宇宙学	379
5.1.	方位	379
5.1.1.	地球形状	379
5.1.2.	在天球上的坐标	382
5.1.3.	岁差、章动、光行差及折射	384
5.1.4.	球面三角	386
5.1.5.	坐标变换	387
5.2.	时间	389
5.2.1.	历书时	389
	平太阳的黄经 回归年 儒略日数	
5.2.2.	世界时	389
5.2.3.	恒星时	390
	平恒星日、平太阳日	
5.2.4.	时间的计量——原子时	390
	原子时——铯跃迁 历书时——世界时 协调时及改正世界时	
5.2.5.	天体的年龄	391
	放射性衰变及地球的年龄 赫罗图、核合成与恒星及银河系的年龄 球状星团及银河星团的年龄及其他参数 射电源的年龄	
5.2.6.	宇宙时间尺度	403
	哈勃图及宇宙时间尺度 均匀的、各向同性的、膨胀宇宙的弗里德曼时间	
5.3.	距离	405
5.3.1.	月球、太阳及行星的距离	405
	月球视差 开普勒第三定律 太阳视差及天文单位距离 行星的轨道要素、半径、质量、密度、反照率及温度的表 行星距离的提丢斯-波得定则	
5.3.2.	近邻星的距离——周年视差、长期视差、动力学视差及太阳运动	407
5.3.3.	移动星团的距离及统计视差	410
	自行及统计视差 二星流	
5.3.4.	银河系自转及运动距离	411