

太阳辐射能的测量与标准

王炳忠 编著

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书是作者在阅读国内外大量文献资料的基础上，并结合他自己从事日射测定和研究的经验编写成的。全书共十章，介绍了与太阳辐射测量有关的基本概念和基础知识，各类探测器的工作原理和应用，各种标准辐射器和标准辐射表的原理、结构和性能特点，各日射量的积分量和分光量的测量方法和仪器，各类日射仪器的检定、辅助测量仪表以及太阳常数的测定等方面的情况。本书使读者对现代太阳辐射测量的进展有一个全面系统的了解，便于提高对太阳辐射测量的精度。

本书可供具有中专以上文化程度的从事太阳能利用的研究、设计、制造和实际应用的各类工程技术人员，气象部门的观测、计量检定的科研人员以及水文、地理、建筑设计、材料老化、空间技术等方面的人员使用，亦可做大专院校有关专业师生的教学参考书。

太阳辐射能的测量与标准

王炳忠 编

责任编辑 范铁夫 张英娥

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1988 年 9 月 第 一 版 开本：787×1092 1/16

1988 年 9 月 第一次印刷 印张：21 3/4

印数：0001—1,550 字数：435,000

ISBN 7-03-000109-5/TB·5

定价：8.30 元

序

太阳辐射是地球能量的主要来源,它是大气圈、水圈和陆圈上层中发生的各种物理过程和各种生命活动的基本动力。

地球上气候的不同,最主要的原因归根到底是太阳辐射能到达量的不同。太阳辐射的作用既表现在地面和大气的升温和冷却上,又借大气环流而表现出来。由于地球的球形和海陆下垫面物理性质的不同,地球表面吸收太阳辐射而增暖也是不均匀的。这种不均匀的增暖产生了高低纬度间和海洋与大陆间的温度差,它是引起不同气流的形成和维持大气环流的基本原因。大气中的热量和水分随气流而运动,当不同气流相遇时,又会形成云和降水。因此,辐射过程和环流过程的不同组合又会造成各种各样的天气和气候状况。

下垫面蒸发所消耗的热量和空气中水气凝结所释放的潜热,也是太阳辐射能转换的一种形式,这种垂直热量转换和水分交换过程又是紧密相联的。

太阳辐射是研究地球地带性规律的基础,它对自然区划和自然地域综合体类型的划分有着重要的意义。在地球表面,太阳辐射热量与水分的不同组合与转换,还控制着地表许多自然过程,如土壤形成过程,岩石圈的风化与剥蚀过程以及动力地貌过程等。

自然界中,有机物质的形成是自养植物活动的结果。植物在光合作用过程中,利用空气中的二氧化碳与水分形成碳水化合物,将太阳能转变为比较稳定的化学能。而植物群落的可能最高产量又决定于太阳光能投入的多少以及光能的转化效率。因此,提高光能利用效率以获得更多的产量是生物学和农学有待进一步研究的课题。

鉴于太阳辐射能的传递与变换在气象学、地理学、生物学和海洋学等自然科学的研究中有着重要的作用,也和工农业生产和人民生活密切相关,因此,从第一次国际地球物理年和气象卫星发射以来,太阳辐射及其测量的研究有了较快的发展。本书系统地反映了辐射测量的研究与发展概况。作者参阅了大量的文献,不仅介绍了各类辐射测量仪器的历史发展过程,而且详细地叙述了它们的最新进展,提供了各类辐射仪器精密度等技术参数的材料,同时还指出了在某些辐射仪器的应用中应注意的问题。书中按国际标准化组织和国家标准的有关规定,对辐射测量中的术语、名词、符号和单位做了统一的工作,这对克服目前在辐射度量上名词应用的混乱现象将有极大的帮助。

左 大 康

前 言

普照大地的太阳以辐射的方式向地球表面持续不断地输送着能量，这是地球上各种生物和物理过程的最主要的能源。它与国民经济、人民生活息息相关。太阳辐射测量是研究太阳辐射的重要手段，对于工农业生产、国防技术、气象科学以及太阳能利用等也都具有重要的意义。随着科学技术的迅速发展，它对新能源的开发和利用、农业科学种田，以及环境科学、空间技术、军事科学等方面的发展，都将起重要的作用。

正因为如此，详尽地了解与太阳辐射测量有关的原理、仪器、方法和标准等方面的要求日益增长。但是，在我国的有关文献中，这个领域的专著却不多见。1962年由科学出版社出版的译作《太阳辐射能》(К. Я. Кондратьев, Лучистая энергия солнца, Гидрометеиздат, 1954)主要侧重于太阳辐射本身的物理机制方面，测量仪器虽然也有涉及，但也是多从理论上予以推导和阐述。另一本译作是1956年由北京高等教育出版社出版的《气象仪器学》一书，(见第六章参考文献[66])，其内容仅部分触及太阳辐射的测量和仪器，并且，绝大部分是介绍苏联生产的仪器的情况。八十年代初期，由我国计量科学工作者编写的《光辐射测量原理和方法》一书，虽然内容丰富，阐述了光度测量和辐射测量中的基本概念和基础理论，介绍了近年来国际上推荐的典型测量方法，探讨了光辐射测量中存在的问题以及解决的途径等，但对太阳辐射测量涉及极少。尽管从整体上讲，太阳辐射测量是光辐射测量的一部分，但是，由于前者的测量对象是独特的，因此，无论是仪器构造，还是观测方法均有自己的特点。国际上，早就存在着“日射测定学”这一名称，也是日射测定不能用普通辐射测量代替的一个明证。

在国外的出版物中，专门以太阳辐射测量为基本内容的著作也不多，能找到的只有1957年出版的 Янишевский 著的“Актинометрические приборы и методы наблюдения”和1975年出版的 Coulson 著的“Solar and Terrestrial Radiation—Methods and Measurements”。前者只限于介绍苏联日射台站常用的仪器，再加上出版年代较早，内容更显陈旧。后者虽然对常用的日射仪器介绍得较全面，但它根本没有叙及七十年代以来新开发出来的标准辐射表、分光辐射测量以及与日射测量关系密切的二次仪表等内容。与此形成鲜明对照的是，有关太阳辐射仪器和测量方法的大量文献资料，散见于各种文字的期刊、杂志、会议文集和特种出版物中。

另外，近十多年来，我国的各有关单位也积极从事新日射仪器的研制，并且从辐射表头到与其配套的具有自动显示、记录、累计和打印等功能的二次仪表，以及检定设备等均取得了相当的进展。

鉴于上述情况，可以认为，编写一部介绍太阳辐射能测量和标准的书籍，不仅需要，而且是有可能的。作者的目標是编写一部较全面系统并具有手册性质的专著，凡是与太阳辐射测量有关的问题，书中均尽可能地予以反映，以期使具有一般物理基础知识的读者，通过阅读本书对现代日射测量的概念、原理、仪器、技术、方法、标准以及发展历史和当前的水平、今后的动态等，有一较全面的了解。即使有些问题限于篇幅无法展开讨论，亦

列出必要的参考书,为感兴趣者提供深入了解的途径。

全书共分十章,前两章分别介绍了有关太阳本身的一些情况,太阳辐射测量的发展简史以及与日射测量有关的一些基本概念和基础理论知识。由于测量各种辐射的传感器具有共性,因此专设了第三章详加讨论。第四、五两章分别叙述了辐射测量的标准、辐射源和标准辐射表。第六章详尽地介绍了各种基本日射量的测量仪器、观测方法以及它们的安装与维护等内容。各类仪器的性能检定和定度方法将在第七章内进行讨论,本章还讨论了几种特殊辐射量的测量仪器和方法。由于太阳常数的测定工作,在当代具有特别重要的意义,专门在第八章进行全面深入的介绍。各种光辐射的测量和应用则是第九章的内容。在第十章里,集中介绍了辐射测量中所用到的各种通用和专用二次测量仪表。为了便于读者计算,书末附录中收集了日射测量领域里各种常用的数据表。

宥于作者的知识水准和缺少编写这样一部书籍的经验,谬误和不当之处,敬希读者指正。

本书除第十章的整个电气仪表部分由锦州市三二二研究所吴振新所长协助编写外,其余均系作者完成。中国科学院地理研究所所长左大康同志审阅了全部手稿,提出了修改意见,并为本书做序;张真同志在协助搜集国外文献资料,特别是翻译德、法文种资料方面提供了很大的帮助;蒋龙海等同志对大气光学质量进行了专门的计算,并慷慨提供本书引用等等。对于上述来自各方面的帮助,作者在此一并致谢。

王炳志

目 录

序	i
前言	iii
第一章 结论	1
§ 1-1 关于太阳的一些情况	1
1.1.1. 太阳的结构	1
1.1.2. 太阳的电磁波谱	3
§ 1-2 太阳辐射测量的特点	5
§ 1-3 太阳辐射测量发展沿革	6
参考文献	12
第二章 基本概念和基础理论	13
§ 2-1 术语与单位	13
2.1.1. 辐射度量	13
2.1.2. 光度量	16
2.1.3. 物质的辐射度和光度性质	19
2.1.4. 气象辐射量	22
2.1.5. 气象辐射量测量仪器	23
§ 2-2 与辐射测量有关的一些基本定律	25
2.2.1. 基尔霍夫定律	25
2.2.2. 普朗克定律	25
2.2.3. 维恩位移定律	26
2.2.4. 斯忒藩-玻耳兹曼定律	26
2.2.5. 平方反比定律	27
2.2.6. 余弦定律	28
§ 2-3 太阳辐射在大气中的衰减	29
2.3.1. Bouguer-Lambert 定律	29
2.3.2. 均质大气	30
2.3.3. 大气光学质量	31
§ 2-4 与日射测量有关的一些天文知识	34
2.4.1. 天球与天球坐标系	34
2.4.2. 时和真太阳时	35
2.4.3. 太阳与地球之间相对运动的关系	36
2.4.4. 太阳高度角的计算	37
参考文献	39
第三章 辐射探测器	40
§ 3-1 辐射探测器的基本特性	40
3.1.1. 灵敏度	40
3.1.2. 分辨率与通量阈	41

3.1.3. 时间常数	42
3.1.4. 线性度	42
3.1.5. 温度特性	42
3.1.6. 有效系数 η	43
3.1.7. 量子效率 ζ	43
3.1.8. 稳定度	43
§ 3-2 热探测器	43
3.2.1. 热电偶、热电堆	43
3.2.2. 变阻测辐射热器	48
3.2.3. 热电探测器	49
3.2.4. 量热器	50
§ 3-3 光电探测器	50
3.3.1. 光伏型探测器	51
3.3.2. 光电导型探测器	51
3.3.3. 光电子发射型探测器	54
参考文献	58
第四章 标准辐射源	59
§ 4-1 全辐射体辐射测量的基本原则	59
§ 4-2 全辐射体辐射器的误差源	60
4.2.1. 有关温标和表面温度测定的问题	60
4.2.2. 斯忒藩-玻耳兹曼常数的取值	61
4.2.3. 全辐射体内部温度的均匀性	63
4.2.4. 全辐射体式腔体发射率的确定	63
4.2.5. 杂散辐射	66
4.2.6. 几何因子	67
4.2.7. 大气中吸收的影响	68
§ 4-3 现代的全辐射体辐射器	68
4.3.1. 高温全辐射体	68
4.3.2. 低温全辐射体	70
§ 4-4 标准灯	74
4.4.1. 全辐照度标准	74
4.4.2. 光谱辐亮度标准	76
4.4.3. 光谱辐照度标准	77
参考文献	78
第五章 标准辐射表	80
§ 5-1 标准辐射表的物理基础	80
5.1.1. 绝对日射测定原理	80
5.1.2. 绝对直接日射表的结构	84
5.1.3. 绝对直接日射表的灵敏度	87
5.1.4. 孔径和环日辐射对直接日射测量的影响	89
§ 5-2 绝对直接日射表的测量误差	93
5.2.1. 静态误差	95
5.2.2. 动态误差	100

§ 5-3 现代的绝对直接日射表	102
5.3.1. Angström 补偿式绝对直接日射表	102
5.3.2. PACRAD 绝对直接日射表	105
5.3.3. ACR 绝对直接日射表	108
5.3.4. PMO 绝对直接日射表	112
5.3.5. CROM 绝对直接日射表	114
5.3.6. H-F 型自校准腔体式辐射表	114
5.3.7. 带冷却器的绝对直接日射表	116
5.3.8. 其他绝对辐射表	117
参考文献	118
第六章 全辐射量的测量	120
§ 6-1 直接日射的测量	120
6.1.1. 几种常用的直接日射表	121
6.1.2. 自动追踪太阳装置	127
6.1.3. 观测时间	128
6.1.4. 仪器的安装与维护	128
§ 6-2 总日射的测量	129
6.2.1. 早期总日射测量仪器	129
6.2.2. 现代总日射表	131
6.2.3. 特殊用途的总日射表	135
6.2.4. 总日射表的一些新进展	138
6.2.5. 总日射表的安装与维护	142
§ 6-3 散射日射的测量	143
6.3.1. 散射日射测量装置	143
6.3.2. 测量散射日射装置的安装	146
6.3.3. 记录的修正	148
§ 6-4 反射日射和地表反射系数的测定	150
6.4.1. 测量仪器	150
6.4.2. 仪器的安装	151
§ 6-5 全辐射和长波辐射的测量	152
6.5.1. 早期的全辐射和长波辐射测量仪器	153
6.5.2. 现代全辐射和长波辐射测量仪器	154
6.5.3. 全辐射表的安装与维护	164
6.5.4. 记录与数据的处理	164
§ 6-6 自由大气辐射的测量	165
§ 6-7 日照的测量	169
6.7.1. 1981年以前的主要日照仪器	169
6.7.2. 暂时标准日照计与日照新定义	170
6.7.3. 符合新定义的日照计	171
参考文献	175
第七章 辐射测量仪器的检定	178
§ 7-1 辐射仪器的分类	178
7.1.1. 一些基本定义	178

7.1.2. 辐射仪器的精密度	179
7.1.3. 各类辐射仪器的技术特性指标	179
§7-2 各项技术性能的测定和调整	179
7.2.1. 温度响应特性的测定及调整	180
7.2.2. 余弦响应特性的测定及调整	185
7.2.3. 响应时间的测定与调整	185
7.2.4. 非线性度的测定	186
7.2.5. 倾斜效应的测定	188
§7-3 辐射仪器的定度	189
7.3.1. 直接日射表	189
7.3.2. 总日射表	189
7.3.3. 反射系数表	195
7.3.4. 全辐射表和净全辐射表	195
§7-4 日射测量标准及其传递系统	203
7.4.1. 历史沿革	203
7.4.2. 世界辐射测量基准(WRR)	206
参考文献	209
第八章 太阳常数的测量	211
§8-1 引言	211
8.1.1. 定义与意义	211
8.1.2. 简短的历史回顾	211
§8-2 地面测量	214
8.2.1. Smithsonian 研究所的工作	214
8.2.2. Nicolet 的工作	216
8.2.3. NRL-Johnson 的工作	217
§8-3 从大气中进行的测量	218
8.3.1. 气球测量	218
8.3.2. 飞机测量	223
§8-4 从大气外进行的测量	227
8.4.1. 宇航器测量	228
8.4.2. 火箭测量	236
8.4.3. 一些最新结果	238
参考文献	239
第九章 太阳辐射的分光测量	242
§9-1 分光手段	242
9.1.1. 滤光器	242
9.1.2. 光谱仪器	249
§9-2 太阳辐射分光测量的应用	256
9.2.1. 大气混浊度的测量	256
9.2.2. 紫外辐射测量	261
9.2.3. 大气含水量(降水)的测量	266
9.2.4. 光合有效辐射的测量	269
§9-3 地外太阳光谱辐照度的测量	279

9.3.1. 地面测量	278
9.3.2. 空中测量	280
9.3.3. 地外太阳光谱辐照度的最新资料	283
参考文献	283
第十章 日射测量的辅助仪表	286
§ 10-1 瞬间量测量仪表	286
10.1.1. 模拟指示仪表	286
10.1.2. 比较式仪表	294
10.1.3. 数字式仪表	295
10.1.4. 模拟图示仪表	296
§ 10-2 累积量测量仪器仪表	300
10.2.1. 模拟图示仪表	300
10.2.2. 电量计	300
10.2.3. 电子积算器	303
§ 10-3 综合测量仪器仪表	306
10.3.1. 晶体管、中小规模集成电路仪表	306
10.3.2. 智能型仪表	312
§ 10-4 专用测量仪器仪表	317
10.4.1. Ångström 直接日射表控制单元	317
10.4.2. 绝对直接日射表控制单元	318
参考文献	319
附录	320
1. 太阳高度与大气光学质量对照表	320
2. 日地平均距离的修正值 ($\times 10^{-4}$)	323
3. 1981 年格林尼治经度的太阳赤纬 δ (度)	324
4. 真太阳时与时角对照表	325
5. 时差 $\Delta \tau$ (min) (真太阳时减平太阳时)	326
6. 太阳辐照度在大气界外的光谱分布	327

第一章 绪 论

§ 1-1 关于太阳的一些情况

1.1.1. 太阳的结构

太阳是距离地球最近的一颗恒星。根据最新的测定，日地间的距离为 1.49597892×10^8 km。从地球上望去，太阳的张角为 $31'59''$ ，把角度换算成弧度再乘上日地距离，便得出太阳的直径为 1.392×10^6 km，这是地球直径的109倍。就体积而论，则比地球大130多万倍。太阳的体积硕大，其质量亦很可观。根据万有引力定律，在已知地球质量为 6.0×10^{21} t的情况下，可推算出太阳的质量为 1.989×10^{27} t，即太阳的质量为地球的33万倍。知道了体积和质量，就不难求得太阳的平均密度为 1.4 g/cm³，即比水重近50%，实际上，太阳各处的密度相差悬殊，外层的密度很小，内部在承受外部巨大压力的情况下，密度高达 160 g/cm³。正因为如此，日心的引力要比地心的引力约大29倍。

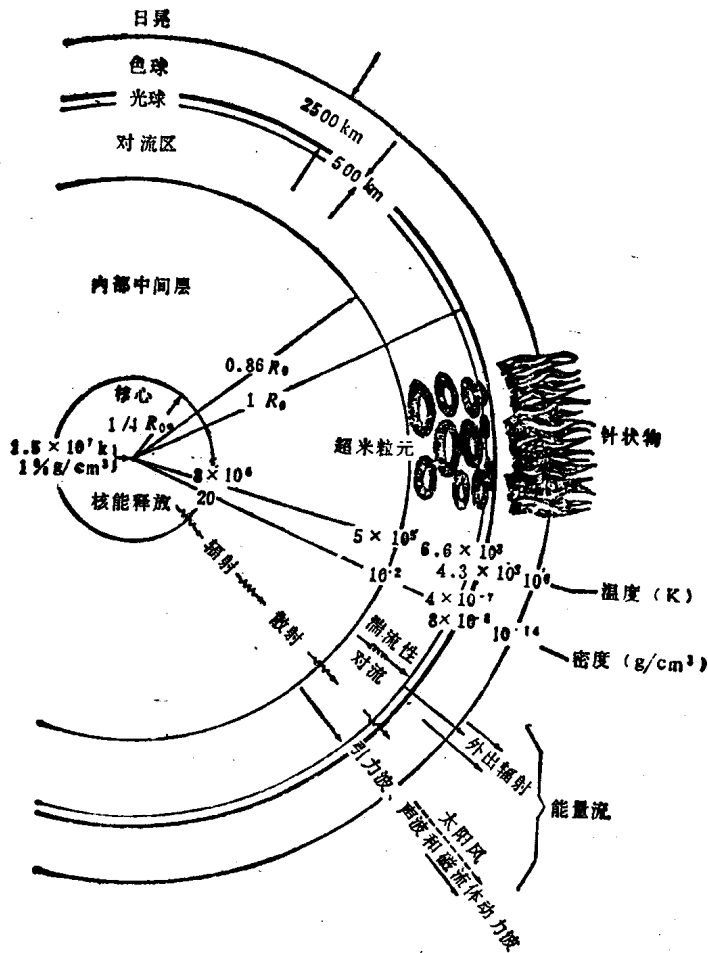


图 1.1 太阳的结构示意图 (7)

8910035

粗略地讲,太阳是由大气和内部两大部分组成的。太阳大气自里向外分为光球、色球和日冕三个层次,内部自外向内则是对流层、中介层和核心三个层次(图1.1)。虽然,从远处望去,太阳像是一个稳定的发光体,其实它时刻处于激烈的运动之中,黑子群的出没,日珥的变化,耀斑的爆发等都是明证。此外,通过望远镜还可以观察到变化着的米粒组织、针状物、喷焰、冲浪等等。

太阳物质的组成,就质量来说,氢占78.4%;氦占19.8%;至于种类繁多的金属和其他元素,总计只占1.8%。

太阳一刻不停地发射着巨大的能量,每秒钟内太阳辐射的总能量约为 3.83×10^{33} erg。在这当中地球所能接收到的只占全部辐射能的22亿分之一。尽管如此,它仍是地球上最多的能源。太阳表面的温度有六千度,而内部温度可达一二千万度,内部压力有3400多亿标准大气压。由于太阳内部的温度极高,压力极大,物质早已离子化了,呈等离子体态。不同元素的原子核相互碰撞,引起了一系列核子反应。太阳的能源包括两种核反应:一是碳-氮循环;一是质子-质子循环。

碳-氮循环过程: ① 碳原子 C_6^{12} 与一个质子相碰撞形成 N_7^{13} , $C_6^{12} + H_1^1$ 与 N_7^{13} 之间的质量差,按爱因斯坦定律转化成能,以 γ 射线的形式发射出去; ② 同位素 N_7^{13} 不稳定,遂衰变为碳的同位素 C_6^{13} , 同时发射出一个正电子; ③ C_6^{13} 再同一个质子碰撞形成一普通的氮 N_7^{14} , $C_6^{13} + H_1^1$ 与 N_7^{14} 之间的质量差也转化为能,以 γ 射线的形式发射出去; ④ N_7^{14} 同第三个质子碰撞,形成不稳定的氧的同位素 O_8^{15} , $N_7^{14} + H_1^1$ 与 O_8^{15} 之间的质量差转化为能,以 γ 射线的形式发射出去; ⑤ O_8^{15} 再衰变为 N_7^{15} , 同时发射出一个正电子; ⑥ 最后, N_7^{15} 同第四个质子相碰撞,蜕变成 C_6^{12} 和一个 α 粒子。这六个步骤周而复始地

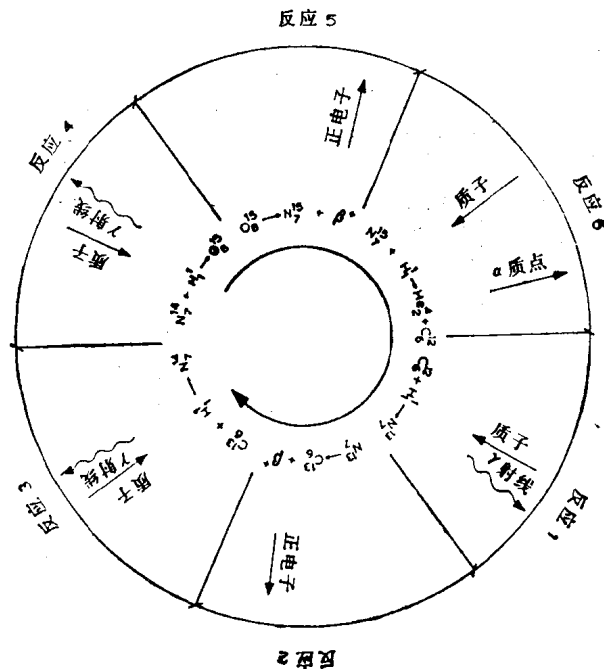
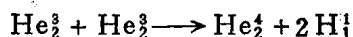
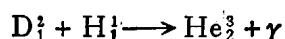
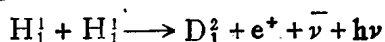


图 1.2 碳-氮循环示意图

循环,每一个循环的末尾形成一个 α 粒子,如果忽略过程细节,给人的印象似乎这是四个质子碰撞的结果,而参与反应的碳、氮,其总量不变,受到消耗的只是氢(图 1.2)。

质子-质子循环过程: 这个循环可写成如下的反应式:



这里 D_1^2 是重氢(又名氘,是氢的同位素), e^+ 是正电子, $\bar{\nu}$ 是中微子, $h\nu$ 是光子。

两种反应都使四个氢原子核合成为一个氦原子核(α 粒子)。

氢核的质量是 $1.672 \times 10^{-24} \text{g}$,氦核的质量为 $6.644 \times 10^{-24} \text{g}$ 。从四个质子形成一个 α 粒子的质量损耗是 $\Delta m = (4 \times 1.672 - 6.644) \times 10^{-24} \text{g} = 0.044 \times 10^{-24} \text{g}$,占四个质子质量的0.7%。根据爱因斯坦定律

$$E = mc^2$$

一克质量可转化为 $9 \times 10^{20} \text{erg}$ 的能量,所以,在消耗一克质子的情况下所转化的能量为

$$9 \times 10^{20} \text{erg} \times 0.7\% = 6.3 \times 10^{18} \text{erg}$$

太阳为了维持每秒 $3.8 \times 10^{33} \text{erg}$ 能量的辐射,每秒要消耗 $6.03 \times 10^8 \text{t}$ 的氢核燃料。实际的质量损失为 $6.03 \times 10^8 \text{t} \times 0.7\% = 4.22 \times 10^6 \text{t}$ 。

由于太阳上氢的储量十分丰富,只要有2%的氢转变为氦,按目前的辐射量水准足够维持两亿年,实际的太阳寿命,远比这个数字要大,为几十亿年。

那末,前述两种循环过程有无主次之分呢?总的来讲,都在发挥作用,由于碳-氮循环要求的温度比质子-质子循环的高,一般认为太阳能主要是质子-质子循环供给的。

1.1.2. 太阳的电磁波谱

电磁波是由同时存在又互相联系且呈周期性变化的电波和磁波构成的。电波和磁波彼此互相垂直,并且它们均垂直于电磁波的传播方向(图 1.3)。电磁波一般用波长、频率或波数来表征。

波长 λ 为在周期波传播方向上同一瞬间两相邻同相位点间的距离。国家标准中,关于波长的单位是米(m)和埃(\AA),也常用纳米(nm)或微米(μm)为单位。这些是国际单位制中的分数词头,它们之间的换算关系如下:

$$1 \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-6} \mu\text{m} = 10^{-9} \text{ nm} = 10^{10} \text{ \AA}$$

频率 f 为单位时间内的周数,单位是赫兹(Hz)。

波长和频率的关系式为

$$\lambda f = c \tag{1.1}$$

式中 c 为电磁波在真空中的传播速度,第十五届国际计量大会(1975)推荐并为我国国家标准所采纳的 c 值为 $(2.99792458 \pm 0.000000012) \times 10^8 \text{m/s}$ 。

波数 σ 是波长的倒数, $\sigma = 1/\lambda$,其单位为 m^{-1} 或 cm^{-1} 。

电磁波具有极宽的波谱,从 10^{-15}m 的宇宙射线到长达数公里乃至数千公里的交流电或长电振荡,构成一个完整的电磁波系列——电磁波谱(图 1.4)。

以电磁波形式或粒子形式传播能量的过程称为辐射。不同的辐射源所发射的电磁波的波长范围是不同的。根据最新的探测结果,太阳辐射的波长范围,包括从 1\AA 以下的字

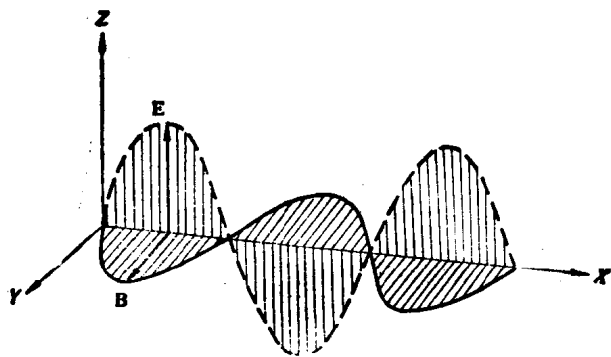


图 1.3 电磁波

宇宙射线直至无线电波的电磁波谱的绝大部分。从以上所述内容不难看到，可见光，即人眼所能感觉到的那一部分电磁辐射，在整个电磁波谱中只占很小一部分，即在 $0.380\text{--}0.760\mu\text{m}$ 之间（也有将此界限定为 $0.400\text{--}0.780\mu\text{m}$ 的）。大气上界处太阳辐射能随波长的分布情况，在附录 6 中有详细的数据。能量在各波段内的大体分布情况，则如表 1.1 所列。

在可见光范围内，由于波长的不同，反映到人眼里就产生不同的颜色感觉。颜色视觉正常的人，在光亮条件下，能看到可见光的各种颜色。它们从长波一端向短波一端的顺序是：红色（700 nm）、橙色（620 nm）、黄色（580 nm）、绿色（510 nm）、蓝色（470 nm）、紫色（420 nm）。表 1.2 是各种颜色的波长和光谱范围。此外，人眼还能在上述两个相邻的颜色范围的过渡区域看到各种中间色彩。人们经常将这些中间色称为橙黄

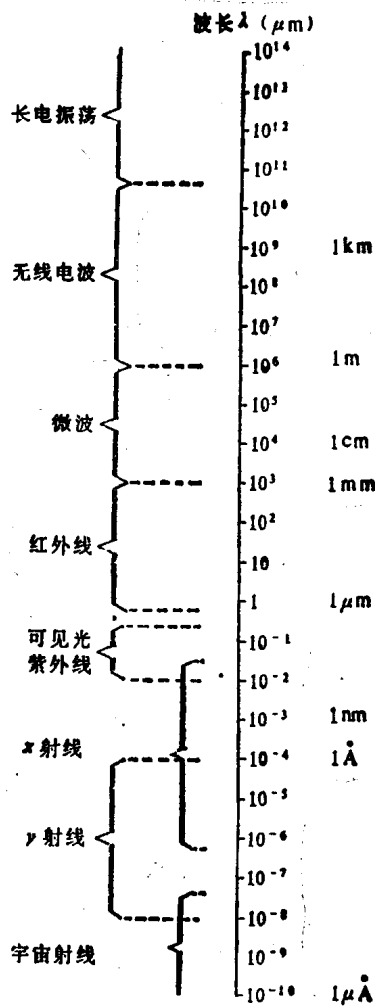


图 1.4 电磁波谱

表 1.1 地外各光谱段太阳辐照度分布状况

光谱段	波长范围	辐照度 (W/m^2)	占总量的百分比
宇宙射线		6.978×10^{-8}	
X 射线	至 1.0 nm	6.978×10^{-7}	
超紫外线	至 $0.2 \mu\text{m}$	6.978×10^{-4}	
紫外线			
紫外-C	$0.20\text{--}0.28 \mu\text{m}$	7.864×10^0	0.57
紫外-B	$0.28\text{--}0.32 \mu\text{m}$	2.122×10^1	1.55
紫外-A	$0.32\text{--}0.40 \mu\text{m}$	8.073×10^1	5.98
可见光			
可见-A	$0.40\text{--}0.52 \mu\text{m}$	2.240×10^2	16.39
可见-B	$0.52\text{--}0.62 \mu\text{m}$	1.877×10^3	13.36
可见-C	$0.62\text{--}0.78 \mu\text{m}$	2.280×10^3	16.68
红外线			
红外-A	$0.78\text{--}1.40 \mu\text{m}$	4.125×10^3	30.18
红外-B	$1.40\text{--}3.00 \mu\text{m}$	1.836×10^3	13.43
红外-C	$3.00\text{--}100.00 \mu\text{m}$	2.637×10^1	1.98
无线电波			
厘米波段	$0.1\text{--}10.0 \text{ cm}$	6.978×10^{-9}	
分米波段	$10.0\text{--}100.0 \text{ cm}$	6.978×10^{-10}	
米波段	$1.0\text{--}20.0 \text{ m}$	6.978×10^{-9}	

色、蓝紫色等等。另外还有一些无法称道的颜色。

表 1.2 光谱颜色波长及范围⁽⁴⁾

颜色	波长(nm)	范围(nm)
红	700	640—750
橙	620	600—640
黄	580	550—600
绿	510	480—550
蓝	470	450—480
紫	420	400—450

应当指出,颜色与波长的关系并非完全固定的,还受到光的强弱的影响。总的规律是:除 572 nm(黄)、503 nm(绿)和 478 nm(蓝)三点是不变的颜色外,其余的颜色均会在光增强时,向红色或蓝色变化。另外,人眼辨别颜色的能力在不同波长处是不一样的。在某些部位,只要波长改变 1 nm,人就能感觉到颜色的差异,而在多数部位,需要改变 1—2 nm 才能被感觉出来。

§ 1-2 太阳辐射测量的特点

在辐射测量中,通常广泛采用以下两点假设:

第一,辐射的波动性质并不会导致辐射能的空间分布偏离几何射线所定义的路径,因此可以应用几何光学的所有理论和定律。

第二,辐射能是不相干的,因此可以忽略干涉效应。

本书所论及的辐射测量,主要涉及电磁辐射的基本量——辐射能和辐射通量,辐射的空间特征量——辐照度以及辐射的时间特征量——曝辐量。

同其他物理量的测量相比,辐射度量中所具有的准确度水准是最低的,千分之几的准确度就是世界水平了,即使能达到 1% 的准确度,也要通过采取许多措施和细心地工作,对于一般辐射测量来说,5% 的准确度是有代表性的。

建立辐射标准有三种途径:第一种是以普朗克理论为基础的温度准确已知的全辐射体辐射源——黑体辐射源,其辐射功率测定的不确定度为 10^{-2} 数量级;第二种是建立在电补偿方式基础上的绝对辐射表,其测定不确定度为 10^{-3} 数量级;近年来又开发出一种基于内量子效率测定的所谓自校准光电二极管,据有关文献材料报道,其测定的不确定度可达 10^{-4} 数量级。应当指出,由于受光谱范围和辐照度水准的限制,作为太阳辐射测量基准的,只有第二种途径是可行的。迄今为止,太阳辐射测量基准一直沿用以太阳做辐射源,用电补偿式绝对辐射表测定的方式,来进行辐射仪器的定度、校准和标准传递。

那末,辐射测量的准确度何以如此低劣呢?通常认为,主要是由以下两方面的原因造成的:

其一,测量过程中,从辐射源到接收器周围的所有物体(包括介质)都在不停地强弱不等地吸收、散射和发射着辐射能。

其二,辐射能的分布是多元的,它随波长、位置、方向、时间、偏振等方面都有自己的分布。可以比较一下,测量准确度很高的电量测量,它就没有如此众多的分布,至多仅呈

时间分布。

图 1.5 给出了影响辐射测量的各个因素。这些因素表征了辐射测量中的特点。当然,这还只是真实情况的一个简化,它并没有表现出多次散射、发射和吸收的细节,而仅仅是指出了主要的干扰源。这些都是进行精密测量时所着重考虑之处。

此外,辐射度量学中还有一个特别突出的问题,就是名称、符号、定义和单位的使用十分混乱。这虽然不是一个重要的物理问题,但它确实妨碍着学科的发展。这大概是由于对辐射测量感兴趣的领域颇多,而又各有自己的侧重、习惯用语和表达方式,从而形成了不同的名称用于同一概念和同一名称用于不同的概念的现象。另外,也存在着一些习以为常但又不够严谨的说法,例如,常把辐射能的多少和辐照度的强弱称为不同的辐射强度。其实辐射强度是另有所指的(详见 § 2-1)。

为了贯彻 1981 年 7 月 14 日经国务院批准的、由中国国际单位制推行委员会颁布的《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》,和 1982 年 5 月至 7 月先后经国家标准局批准发布的、由“全国量和单位标准化技术委员会”提出的有关量和单位的 15 项国家标准(即 GB 3100, GB 3101 和 GB 3102.1—13),为了克服混乱,本书将遵循国家标准给出的名称、定义、符号和单位。

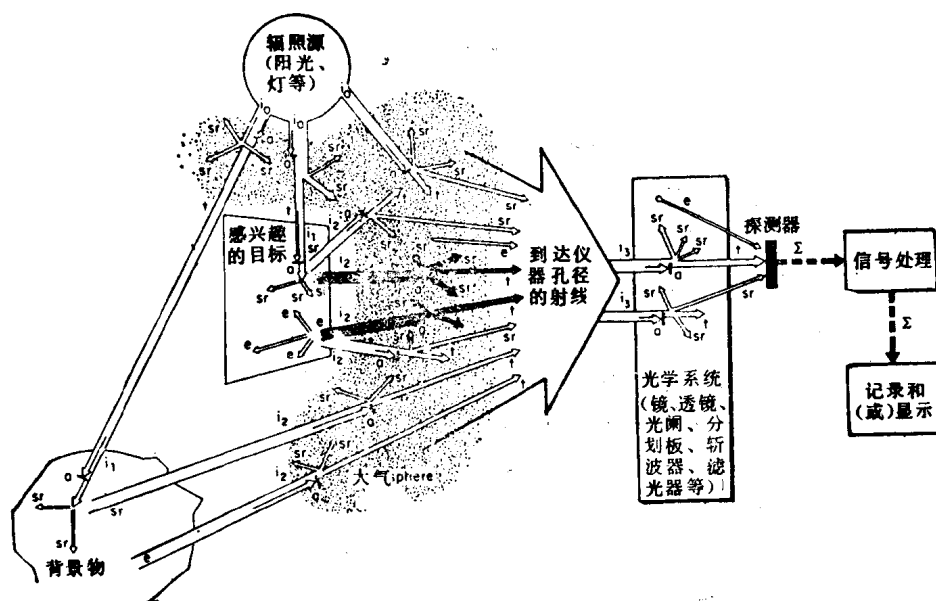


图 1.5 辐射测量状况⁽⁹⁾

§ 1-3 太阳辐射测量发展沿革

太阳辐射测量进展过程中的重要事件,按年代的先后排定;对于年代久远的仪器介绍得稍详细些,能收集到图片的一并刊列,以期对太阳辐射测量的发展历史有一概括的了解。

1825 年,英国天文学家 W. Herschel 发明黑球日射表,其外形与玻璃温度表相似,只是球部较大,内装深蓝色液体,用以增进对太阳辐射的吸收。

后来, Crova 对 Herschel 的仪器进行了改进,为了促进对太阳辐射的吸收,他采用

的是将球部涂黑,而不是将酒精染色的办法。温度表装在一个金属壳内,太阳辐射通过 10 mm 的孔和一系列光阑射到球部上,这样还可以减少风对读数的影响,仪器的外观如图 1.6 所示。

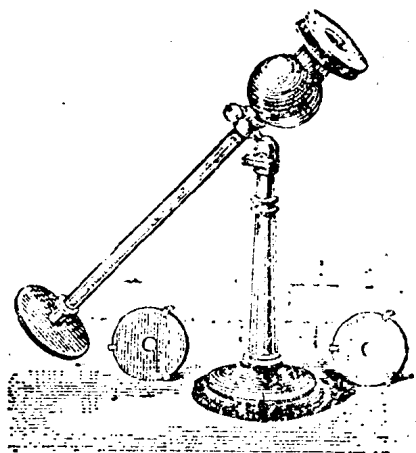


图 1.6 Crova 太阳辐射表

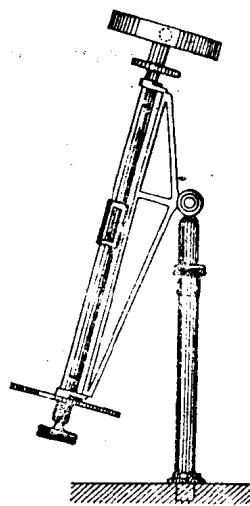


图 1.7 Pouilett 太阳辐射表

1837 年,法国人 Pouilett 首次将他设计的仪器称为直接日射表,其辐射接收器是一个直径为 10 cm、厚 2 cm 的扁平的圆柱形容器,其中装满了水,容器的曝光面涂黑,其他侧面镀银,以减少辐射热交换,一支温度表从背面的中心插入容器,测量容器内的水温(图 1.7)。测量时,不停地以温度表为轴来旋转接收器,以便使液体充分地混合均匀,提供有代表性的温度测量值。这种仪器的最大缺陷是受风的影响大。

后来,Violle 为了克服上述不足之处,他将温度表的球部置于一个双层球形外壳的中央(图 1.8),球壁间环以恒温冰水浴,入射孔径前有快门。观测时,先关闭快门,直至得到一平衡的温度值。然后,打开快门,测量温度上升速率。知道了温度表球部的热容,能量的吸收速率就可计算出来。

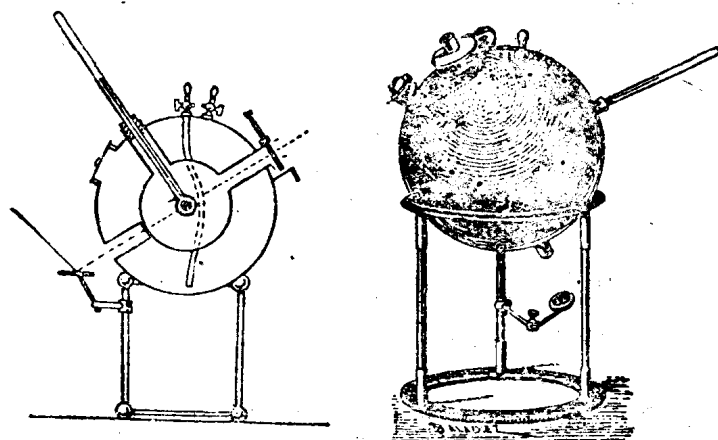


图 1.8 Violle 太阳辐射表

1876 年,俄国人 O. Фрелих 制出了第一台使用热电堆做感应器的辐射接收器。

1881 年,Langley 发明了变阻测辐射热表——这是一台灵敏的电阻温度表,可以用