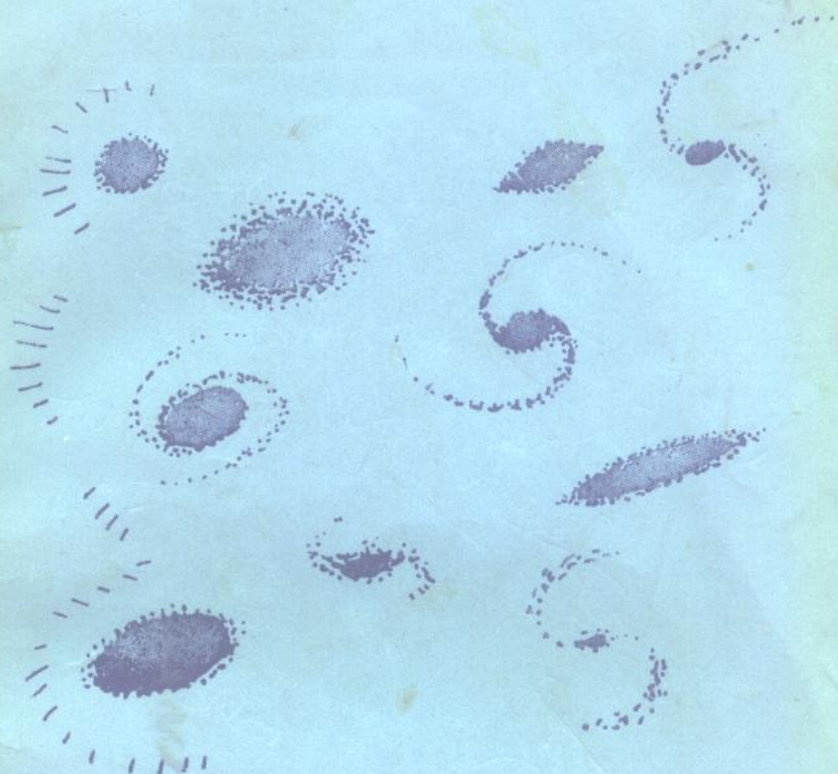


物理学
基础
知识
丛书



彭秋和 黄克谅 编著

49

神秘的宇宙

科学出版社

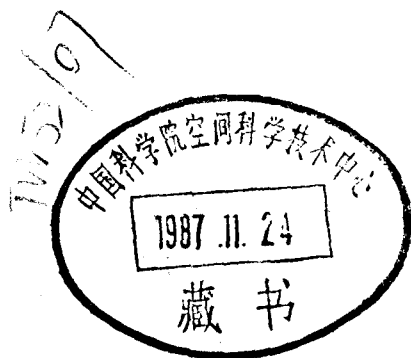
P₁-49

PQH

物理学基础知识丛书

神秘的宇宙

彭秋和 黄克谅 编著



科学出版社

1987

004945

内 容 简 介

本书从物理的角度对宇宙的现状和未来作了一个全面系统的阐述，其中主要介绍了太阳系的问题，恒星演化理论和恒星晚期演化，星系世界和整个宇宙的近期重要研究成果及重大发现。

书中所涉及绝大多数内容是近代天体物理中最前沿的领域。该书文字流畅、叙述通俗，书后附有天文学名词和有关术语解释。

本书可供具中等文化程度的读者阅读。

物理学基础知识丛书

神秘的宇宙

彭秋和 黄克谅 编著

责任编辑 姜淑华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年6月第一版 开本：787×1092 1/32

1987年6月第一次印刷 印张：4 1/4

印数：0001—6,000 字数：92,000

统一书号：13031·3541

本社书号：5238·13—3

定价：0.84元

代 序

1978年8月，中国物理学会在庐山召开年会，不少物理学工作者有感于物理学在提高全民族科学文化水平和实现“四化”中的伟大作用，建议中国物理学会与科学出版社合作，编辑出版一套《物理学基础知识丛书》，有计划有系统地普及物理学的基础知识、介绍物理学的新发展。这一倡议当即得到了广泛的响应。为此，中国物理学会理事会进行了认真讨论，积极热情地支持了这一建议，于是，就在风景绮丽的庐山，在中国物理学会和科学出版社的共同主持下，正式成立了本丛书的编委会，讨论和制定了丛书的编辑方针和选题计划，正式开始了丛书的编辑出版工作。

物理学研究物质的运动规律，物质的结构及其相互作用，它是许多科学技术的基础。从本世纪开始，物理学经历了极其深刻的革命，从宏观发展到微观，从低速发展到高速，由此诞生了量子物理学和相对论，并在许多科学技术领域引起了深刻的变革。本世纪以来，物理学在认识和改造物质世界方面不断取得伟大成就，不断揭开物质世界的奥秘。原子能的利用，使人类掌握了新的能源；半导体科学技术的发展，导致了计算技术和自动控制系统的革命；激光的出现焕发了经典光学的青春；凝聚态物理学的发展，使人们不断创造出许多性能大大提高的材料……。因此，向广大读者宣传物理学的基础知识以及物理学的新发展，乃是提高全民族科学文化水平和实现“四化”的需要。我们编辑出版本丛书的目的，就是试图在这方面贡献一份力量。

本书将着重介绍现代物理学的基础知识，介绍物理学的最新发展，要求注重科学性。我们希望作者发扬创新精神，力求做到题材新颖，风格多样，勇于发表独创性、探索性的见解，以活跃读者思路。在文风上则要求做到准确、鲜明、生动，深入浅出、引人入胜，以说透物理意义为主，尽量少用数学公式。

在编辑出版丛书工作中，我们得到了广大物理学工作者的热情支持和鼓励，还得到老一辈物理学家严济慈、钱临照、陆学善等同志的热情赞助和关怀。美国加州大学热斐尔学院院长吴家玮教授应邀积极参加编委会工作，并约请了美籍学者为丛书撰稿。我们一并在此致以谢意。

《物理学基础知识丛书》编委会

前 言

从穴居时代的原始人到今天生活在宇宙航行时代的现代人，无不神秘地宇宙所吸引，他们都在不断地探索着宇宙的奥秘。然而，在远古时代，人类对宇宙的认识是极其肤浅的，并且往往掺杂着迷信或神话的色彩。随着生产力的发展，社会的进步，对宇宙的认识也越来越深入。现在，人类已拥有口径为6米的光学望远镜、口径100米的射电望远镜和各种各样的精密电子仪器，而且还发射了人造卫星和宇宙飞船。人类不仅利用光学波段，而且能够利用从射电波段（无线电波段）、亚毫米波、红外、X射线直至 γ 射线的整个电磁波谱来研究宇宙。我们已经进入了全波天文学的时代。今天，对宇宙的了解无论在深度上还是在广度上都达到了前所未有的境地。天文学的发展是如此的迅速，即使是几十年前的科学幻想家也是完全无法预料到的。当然，这并不是说我们对宇宙的认识已经十全十美了，事实上，宇宙仍存在着无穷无尽的奥秘。随着这些奥秘一个一个地解开，人的认识也就无限深入、无限发展。

本书的目的就是想把我们已经认识到的宇宙图象展现在读者面前。同时也告诉读者，在今天的天文学发展水平上，还有哪些未解之谜正在激励着人们去努力探索。不过，由于这本小册子的性质，我们不可能对天文学的现状和未来作一全面系统的阐述，这里只打算将现代天文学中最激动人心的若干课题介绍给读者。

本书共分三章。第一章介绍太阳物理、太阳系物理中最

重要、最棘手的问题。第二章主要介绍恒星的晚期演化。恒星演化理论的建立是本世纪天文学最辉煌的成就之一，而恒星的晚期演化却是整个恒星演化理论中最不成熟的部分，同时，它涉及到的重要天体和新奇现象也最多。第三章介绍星系世界直至整个宇宙的突出研究成果。近20年来，这个领域里有许多极为重大的发现，这些发现促进了天文学前沿领域里的研究工作，使我们的认识大大地提高了一步。

鉴于读者的天文基础知识各不相同，为了便于阅读，对于本书涉及到的天文名词，我们尽可能地在正文中予以解释。本书书末还附有名词解释一节，对那些正文中用到了但未予解释的天文学名词和术语予以说明，供天文学基础知识不多的读者参考。

本书介绍的绝大多数是近代天体物理中最前沿的领域。由于涉及面很宽，而作者的水平有限，因此，错误和缺点在所难免，望读者批评指正。

目 录

第一章 太阳的王国	(1)
§1.1 太阳上空的爆发——耀斑	(1)
惊人的发现 太阳活动 耀斑爆发 耀斑与地球 磁场与耀斑	
§1.2 “M区”之谜与冕洞	(7)
“M区” 太阳风 冕洞	
§1.3 光和热的源泉——热核反应	(12)
能源危机 热核反应 放热的聚变核反应 光和热的源泉——“氢燃烧”	
§1.4 失踪的中微子之谜	(19)
秘密天使 失踪的太阳中微子 可疑的踪迹	
§1.5 存在第十颗行星吗?	(25)
哥白尼的不朽功勋 从开普勒到牛顿 “笔尖下的行星”——海王星的发现 存在第十颗行星吗?	
§1.6 太阳系是怎样起源的?	(31)
太阳家族 康德和拉普拉斯学说 灾变学说 说 二十世纪的星云说	
第二章 恒星世界之谜	(41)
§2.1 超新星和恒星之死	(41)
瑰丽的“客星” 恒星的衰亡 小质量恒星的归宿 中等质量恒星的厄运 大质量恒星灾难性的毁灭	
§2.2 白矮星	(50)

惊人的密度 白矮星的结构 简并电子
气 质量极限

§ 2.3 脉冲星和中子星 (58)

射电天文学的辉煌成就 高速旋转的中子
星 “灯塔效应” 光速圆柱面
内部结构和星震 中子星与超新星爆
发 毫秒脉冲星 奥本海默极限

§ 2.4 黑洞 (69)

从拉普拉斯到史瓦西 不可思议的黑洞
冻结星——恒星坍缩形成黑洞的过程
黑洞的搜寻 御夫座 ϵ 星——轰动一时
的黑洞候选者 天鹅座X-1——是第一
一个发现的黑洞吗?

第三章 星系世界中的新挑战 (82)

§ 3.1 活跃的星系核 (82)

巨大的爆发 谜一般的类星体 活跃的
星系核 需要借助于黑洞吗?

§ 3.2 类星体红移论争 (92)

星系退行与哈勃定律 类星体的挑战 非
宇宙学红移 宇宙学红移

§ 3.3 质量短缺之谜 (103)

星系的质量 下落不明的物质 星系包层
——下落不明物质的藏身地 是中微子
还是原始黑洞?

§ 3.4 宇宙将怎样演化? (112)

从奥伯斯佯谬说起 宇宙的大尺度观测特征
是大爆炸还是稳恒态? 宇宙的未
来

附录 名词解释 (123)

第一章 太阳王国

§ 1.1 太阳上空的爆发——耀斑

惊人的发现

1859年9月1日，两位英国天文学家正在用望远镜观测太阳黑子，他们发现，在一大群形态复杂的黑子群上空突然出现了一个极为明亮的斑点，它在几秒钟内迅速地扩大成为纤维状结构，闪现出新月形的刺目光芒，很快变成耀眼的一片。尔后它以100公里/秒以上的速度掠过黑子群，亮度缓慢减弱直至消失。这个现象——现在称之为耀斑——出现后不久，地球上许多地方发生电讯中断，高纬度地区看到了强烈的极光，同时，许多地磁站记录到特别强的磁暴。这一串连锁反应式的戏剧性事件使科学家们目瞪口呆。太阳上究竟出了什么乱子呢？为什么会出现耀斑这种短时间的爆发呢？它又为什么会引起磁暴、极光、电讯中断等一系列的地球物理效应呢？

太阳活动

耀斑并不是太阳上空唯一的奇特现象。它的出现不是孤立的，而是与太阳上空的其它一些现象与过程密切相关。

太阳从整体上来说是的稳定的，长期以来没有什么明显的变化。然而，在太阳上空的局部区域，却有许多不稳定的活动现象。在这些活动现象中，与耀斑关系最密切的是发生在

太阳光球层的黑子。光球是太阳大气最下面的一层，其厚度只有300公里左右，我们观测到的太阳光基本上都从这一层发出，肉眼看到的太阳边缘就是光球的边界。在太阳的光辉圆面上经常可以看到一些黑点，这就是黑子。实际上，黑子并不是“黑”的。黑子的温度大约为4500K，比光球的温度（约6000K）低了一千多度，因此，看上去才显得黑了。

黑子有大有小，大的黑子直径可达10万公里以上，小的则不过几千公里。黑子比较喜欢集体行动，在日面上常常成群地出现。一般来说，大多数黑子集中分成两群，分别称为前导黑子和后随黑子。经过一个多世纪的资料积累，天文学家发现，黑子的数目是逐年变化的，有的年份多，有的年份少，平均有一个11年的周期。黑子还有一个有趣的特点：它们都有磁性。大黑子的磁场很强，有的可达几千高斯（1高斯 = 10^{-4} 特斯拉），远远大于周围地区的磁场强度。

天文学家经过多年的观测后发现，耀斑与黑子有密切的关系。耀斑大多数出现在黑子群里，特别是磁场很强、磁场结构复杂的大黑子群。在黑子数比较多的年份，耀斑活动也



图1-1 太阳耀斑。A为1969年6月的一个大耀斑刚爆发时的照片；B为耀斑亮度最大时的照片

强，黑子数少的年份，耀斑活动就减弱。耀斑与黑子、磁场的这种关系为解开耀斑之谜提供了线索。

耀斑爆发

耀斑是太阳大气中的猛烈爆发现象，其过程十分复杂，至今尚未完全搞清楚。耀斑爆发时发出强烈的辐射，不仅有可见光，还发出射电辐射、紫外线、红外线、X射线和 γ 射线，喷出大量的高能粒子（电子、质子等）流，同时，还伴随有物质的运动、抛射、冲击波等等。耀斑内的电子密度很低，一般为每立方厘米 10^{18} 个电子（物质密度相当于 10^{-11} 克/厘米³，远低于地球大气的密度）。耀斑的温度是不均匀的，低温部分为1万度左右，而高温部分可达几十万度甚至上千万度。

耀斑最大的特点就是来势凶猛。一般来说，耀斑出现时在短短的几分钟内亮度迅速地增加，20—30分钟后消失。在耀斑不长的一生中，它要释放大量的能量，一个特大耀斑释放的总能量可高达 10^{26} 焦耳，相当于100亿颗百万吨级氢弹释放的总能量。考虑到大耀斑的横向尺度不过是几千公里，远小于太阳的半径（70万公里），如此巨大能量的瞬间释放，不能不说是一件惊天动地的大事。

耀斑与地球

耀斑爆发时发出的强烈辐射和大量高速粒子流无疑地会对地球产生巨大的影响。如果地球本身没有大气层（特别是臭氧层和电离层）和磁层的双重保护，耀斑爆发对地球上的人类和生物界将会是一场毁灭性的灾难。虽然如此，耀斑产生的其他方面影响却仍然不可忽视，有的甚至严重影响了我们的生活和工作。其影响主要表现在两方面，一方面是由于

爆发时抛出的高能粒子（电子和质子）流产生的电磁骚扰。这些高能粒子的速度很高，可达1000—2000公里/秒，从太阳抛出后，经过不长的时间便到达地球，与地球的磁场相互作用，产生磁暴。一部分粒子在地球磁场的作用下轨道发生偏转，从两极进入地球大气，同大气中的分子、原子碰撞，产生光彩夺目的极光，在地球高纬地区可观测到。

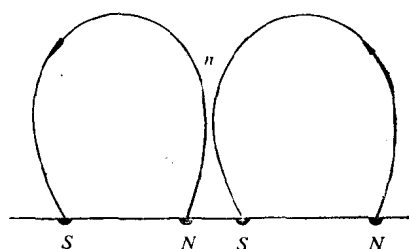
另一方面的影响来自耀斑爆发时产生的强烈X射线。我们知道，地面上的短波通讯是靠地球大气的低电离层对短波无线电波的反射来进行的。一旦电离层受到骚扰，短波通讯就会受到影响。耀斑产生的X射线会使地球大气中电离层的电离度猛烈增加，降低了低电离层对短波无线电波的反射作用，从而引起讯号减弱，有时，在一个大耀斑爆发之后甚至会出现短波通讯的中断。

由于我们人类的现实活动离不开远距离无线电通讯，为了避免或减轻耀斑造成的危害，连续对太阳进行观测，弄清耀斑爆发的过程和机理便具有极大的价值。我们无法控制耀斑的爆发，目前需要的是准确预报耀斑的爆发时间。然而，象地震预报一样，耀斑预报是一个极为困难的任务，我们目前还不能准确地作到这一点，最多只能估计在日面上哪些区域可能出现耀斑，而出现的时间和耀斑的规模就很难预料了。预报工作中，错报、漏报和虚报的百分比相当大。揭开耀斑之谜已成为现代太阳物理的一个重大课题。

磁场与耀斑

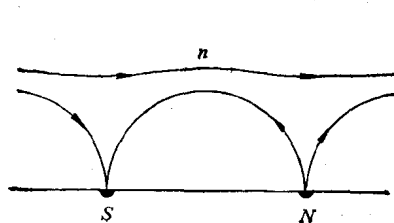
太阳耀斑释放的巨大能量从哪里来？能量是怎样聚积在一个不大的区域里的？又是通过什么过程很快地被释放？电子、质子等怎样被加速到高能状态？任何一个耀斑模型都必须回答这些问题。

目前，天文学家的注意力集中在耀斑与磁场的关系方面。观测表明，95%以上的耀斑发生在太阳活动区，特别是磁场构形很特别的区域。这使人们想到，磁场可能是引起耀斑爆发的原因。从能量的数值来看，耀斑区域聚积的磁能是足够了。问题在于磁场的能量怎样聚积起来，又怎样释放出去。事实上，太阳耀斑理论都是在寻找将磁场能量转换为粒子能量的机制，目前在这方面已取得很大进展。



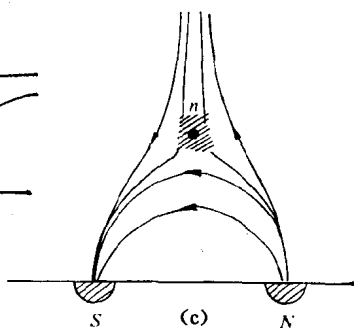
(a)

(a) 两个双极黑子相靠时挤压出中性线



(b)

(b) 双极黑子磁场上面有一个水平磁场时形成的中性线



(c) 倒Y形开放磁场形成的中性线和电流片模型。在阴影区里磁力线再连接

图1-2 中性层示例， n 为中性线

最引人注目的耀斑理论是所谓磁中性层理论。在天体中，磁场总是和等离子体“冻结”在一起的。当等离子体运动时，磁场也运动。因此，当方向相反的磁场被挤压而靠在一起时，在某些点、线或面附近磁场就为零。这些点、线、面分别称为中性点、中性线、中性面。太阳黑子附近，磁场很强，而且形状复杂，等离子运动的结果完全可能形成某些中性点、中性线、中性面。上面图1-2是中性层的例子。图中的 N 和 S 指黑子的磁性。象一般磁铁分两个极(N 和 S)一样，黑子的磁场也有极性：黑子常是成对出现的，一个黑子的磁性为 N 极，另一个就一定是 S 极。 n 代表中性点或中性线。耀斑理论认为，耀斑就产生在中性层。方向相反的磁场互相挤压的结果，在中性层附近就形成强的电流，称为电流片。电流片把两边的磁能转化为电流片中荷电粒子的动能，

于是粒子便从电流片两端高速地流出去。图1-3是电流片的示意图。

图1-2 (a) 是较早期的耀斑模型。近年来，图1-2 (c) 形式的中性层理论比较受到重视，在那里，磁场成为倒Y字形，最上面部分的磁场是开放型，开放型磁场和封闭型磁场的交界处形成中性线。由于等离子体的不稳定，中性线附近形成电流片，磁场断开，然后又

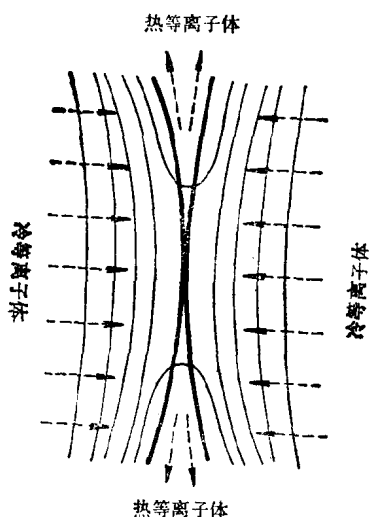


图1-3 电流片的一种可能模型。粗实线为电流片，细实线为磁力线，虚线为等离子体的运动方向

连结，重新组成。在这个过程中释放出巨大能量，同时产生向上和向下的高速粒子流。观测表明，耀斑可能是首先来自于日冕中的某个小区域。由它产生的高速粒子向下运动并冲击太阳表面，生成了被我们观测到的光学辐射。这似乎对上述理论有利。

还有其它一些理论，如磁力线的扭转。然而，实际上这里说的只是磁场能量的聚积过程，还没有讨论磁能释放的具体过程，以及粒子加速的机制。磁能释放的过程非常复杂，提出的理论也很多。至于粒子的加速，这是宇宙线物理和天体物理中的一个老问题了，至今没有很好地解决。在这方面的研究中，等离子体的各种波动过程受到很大重视。地球大气中常传播着声波，但有磁场的等离子体却可以传播各种各样的波，如通常的声波、磁声波、阿尔文波等等。在等离子体中，只要某个物理量发生扰动，它常会以某种波的形式传播出去。波都携带着能量。波和波之间可以发生作用，波和粒子之间也要发生相互作用。结果，波的能量和粒子的能量互相转化。在一定的条件下，波的能量转化为粒子的能量，从而使粒子加速。

目前的耀斑理论非常多。但还没有一个公认能说明全部观测事实的理论。观测也不能完全否定许多模型。因此，现在是许多理论共存的局面。总的来说，从耀斑与磁场的关系入手去解开耀斑之谜，看来是正确的道路。

§ 1.2 “M区”之谜与冕洞

“M区”

这是一个奇怪的名字，要说明它还得从地球谈起。地球是一个巨大的磁体，人们早就发现，地磁场并不是固定不变

的，它经历着各种起伏和扰动，其中有一种扰动是瞬时性的，称为地磁扰动，较强的地磁扰动称为磁暴。强的磁暴发生时常伴随着极光的出现，还可能同时出现短波无线电通讯的中断。读过上一节就一定会想到，这种强磁暴是太阳耀斑爆发所造成的，的确如此。

然而，较弱的磁暴大多数同耀斑没有关系。虽然如此，从上世纪中叶起，人们就发现，这种磁暴具有周期为27天的重现性质。巧得很，27天正好是太阳的自转周期，那么自然会联想，磁暴是与太阳有关的。人们设想，太阳表面某一长期存在的固定区域在不断地发射高速粒子，它们到达地球后同地磁场相互作用产生了磁暴。由于太阳在自转，这个固定区域也跟着转动，它发出的粒子流到达地球时的强度就不断地变化，一会儿强，一会儿弱，有一个27天的周期。这样，由它引起的磁暴也就有27天的周期。

六十多年前人们就开始在太阳表面上寻找这个不断喷射高速粒子流的固定区域。这个“神秘”的区域使天文学家伤透了脑筋，困惑了半个多世纪还找不到它的踪迹。由于这个“神秘”的区域同地球磁暴密切相关，而“神秘”（mystery）和“磁暴”（magnetic storm）两个词的第一个英文字母碰巧都是M，因此便称它为“M区”。

“M区”究竟是什么？这个谜直到十几年前宇宙航行时代的到来才开始被揭开。

太阳风

五十年代末期，美国天文学家帕克从理论上预言，太阳大气外层应不断地向行星际空间吹出高速的气流，称为太阳风。这个理论预言不久便得到了证实。1962年，飞往金星的“水手2号”宇宙飞船在行星际空间遨游时，的确探测到了太