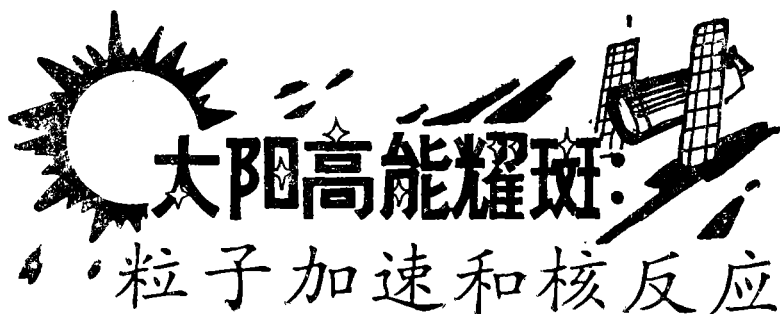


宇宙之中,从地球磁层、恒星大气、活动星系到类星体,到处都存在着等离子体,它们经常产生爆发现象。这种宇宙等离子体爆发的最普遍特性,是能量脉冲式的释放,以及粒子被加速到非常高的能量。在许多情况下,爆发的能量大部分以高能粒子的形式输出。在形形色色的宇宙爆发现象中,最



吴 铭 蟾

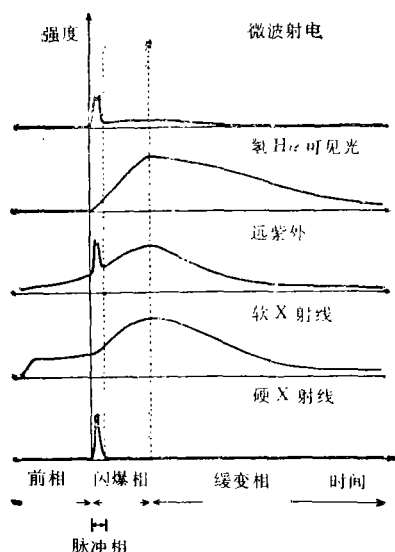


图 1 太阳耀斑爆发在不同波段辐射强度随时间变化的示意图

经常发生也是最容易被研究的要算是太阳耀斑。

太阳耀斑是太阳大气局部空间中的爆发现象,在观测上表现为从射电波、可见光,紫外线和软硬 X 射线的辐射流量的突然性爆增,(见图 1)。在电磁辐射爆增的同时,还伴随大量高能粒子和等离子体的喷发,物质凝固的抛射以及激波的传播等多种效应。

一个大耀斑的空间尺度只有 10^4-10^5 公里,时间尺度也只有 10^2-10^3 秒,而释放的总能量可高达 10^{32} 尔格的量级。也就是说,每秒释放 10^{29} 尔格的能量。在如此有限的空间范围,如此短促的时间内突然释放那么多的能量并迅速转换和传输,实为太阳大气中的高能现象。

当今,太阳物理学上比较流行的看法是,耀斑的能量是储存在太阳大气强磁场中的非势能,通过磁对消和重联的方式突然释放出来。第 21 太阳活动周(1976—1986 年)期间,耀斑研究的最大进展是: 在大量耀

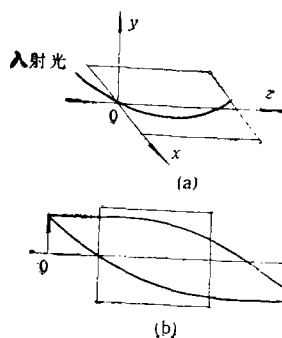


图 4 光在 xoz 平面轨迹及成像原理

线从 xoy 平面入射,求出平行于 xoz 平面的入射光线的传播轨迹及它们的成像原理如图 4 所示。

通过改变物体的位置,调整梯折元件的尺寸以及梯度分布特性等因素,我们可以根据设计要求得到不同的象质,如正、倒立像;放大、缩小像以及虚、实像等。

如图 5。

由于梯折透镜可以作得很小,其光学特性是棒长的周期函数,而且消像差性能好,因此在光学仪器特别是在微型光学仪器中有重要应用。如利用低色差梯折

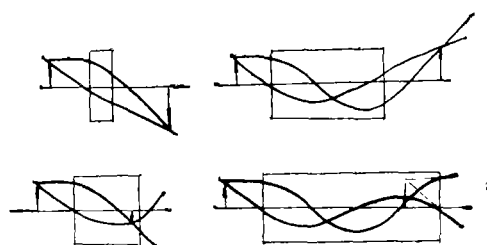


图 5 梯折介质所成的各种像

棒透镜的医用内窥镜;将梯折微透镜作成网络板,可用于复印机、高速摄影机等性能都很好。

梯折光学经过十几年的发展,已为我们展现了美好的前景,要达到完善的目标还有很多的工作要做,诸如,合乎各种规格要求的梯折材料的制造;适用于任意梯折元件光学系统的光线追迹程序的确立;精确的测试方法的研究;高级像差的分析与计算以及色差的消除等都有待于梯折光学工作者的进一步努力。

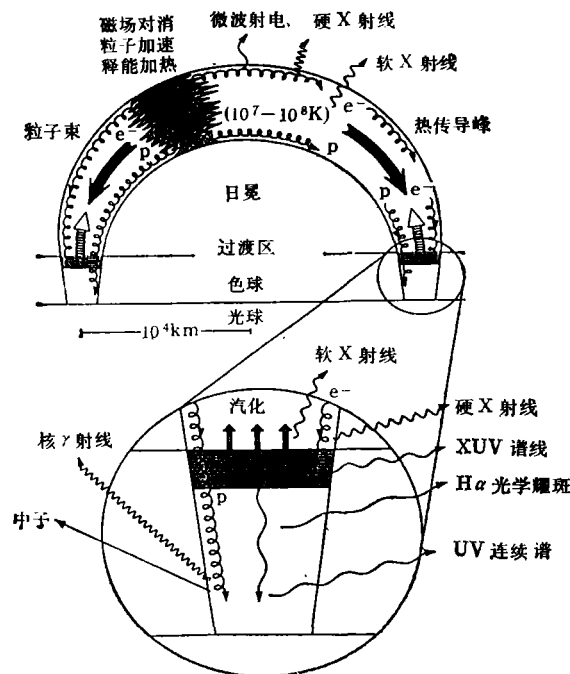


图2 耀斑单环模型中各种暴增辐射的产生

在耀斑多波段观测资料的分析基础上,已经能归纳出一幅简化了的耀斑爆发的物理图象(图2)。在太阳大气中存在一个磁环,它植根在光球之下而穿过色球层,环的上部位于日冕中。由于某种机制未明的初始扰动,在日冕中环的某处形成一个超高温(10^6-10^7K)的耀斑核心,并且脉冲式地加速电子和质子。这些被加速的粒子束一股又一股地在环内沿磁力线向下快速运动,它们猛烈地轰击密度比日冕高得多的色球环足处的等离子体,在整个过程中,快速粒子在环的不同高度与不同温度和密度环境中的等离子体相互作用,从而产生微波射电爆、紫外爆和硬X射线爆,而在环足处产生 H_α (氢巴耳末线,波长 $6563\text{\AA}$)的耀斑。在环足处的色球物质急剧“蒸发”,反过来使环内密度急增,与此同时,耀斑高温核的热传导锋接着向下传播,在这种错综复杂上下交混的过程中,又产生热性的软X射线爆。这个过程只持续短短的几十秒至100多秒的时间,爆增辐射具有显著的脉冲特征,称为耀斑的脉冲相。实际上,即使是一个中等级别的耀斑,脉冲相的过程也决非一个单环所能概括,而是由许多磁环内非热粒子和热过程的复合而成,而且磁环与磁环之间还存在相互作用,使得耀斑过程变得异常复杂。

每一种模型只能解释一部分观测特征,而把耀斑看成是一个粒子加速器还是恰如其分的。

在耀斑物理过程的观测研究中,一个非常重要的发现是太阳 γ 射线和中子,这表明太阳耀斑不是单纯

的粒子加速器而且还是核反应堆。早在60年代,就有人进行过详细的计算,结果表明,耀斑中完全可以产生核反应,它们的产物应是 γ 射线谱线、中子和高能粒子的碎片,并且在地球附近应可观测到足够的流量。太阳物理学家期望能通过观测到的证据来证实上述的理论预测。但是太阳耀斑的 γ 射线只能在地球大气层外才能检测到。为此目的,美国新罕布什州大学的丘普在轨道太阳天文台“OSO-7”上安置了一架 γ 射线光度计,来监测太阳耀斑。1972年8月初太阳上出现一个面积虽然不大,但磁结构非常致密而复杂的活动区。从8月2日到8月7日连续爆发了好几个大耀斑,丘普的 γ 射线光度计终于首次捕捉到了太阳耀斑爆发时的 γ 射线。8月4日的耀斑中出现四条 γ 射线的发射线,它们是 0.51MeV 、 2.22MeV 、 4.44MeV 和 6.13MeV 谱线,而8月7日耀斑中只出现 0.51MeV 和 2.22MeV 两条 γ 射线谱线。

利用这两个耀斑的 γ 射线资料,许多人先后作了各种理论解释工作,初步获得了太阳耀斑 γ 射线的特性和起源的实际知识,与早先的理论预测相当符合。理论计算表明,耀斑的超高温还不足以点燃太阳大气物质产生热核反应。耀斑 γ 射线是加速粒子和其它原子核同太阳大气相互作用而产生的核反应的产物。

产生耀斑 γ 射线谱线的机制有四种。最强的 2.223MeV 谱线是氢俘获中子时产生,即 ${}^1\text{H}(n, \gamma){}^2\text{H}$,而中子是 ${}^4\text{He}$ 和重核在裂变时产生,在质子-质子碰撞时偶尔也会产生中子。 0.511MeV 谱线是正负电子对的湮灭所产生 $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ 。如果正负电子对的速度很高,也可形成连续谱。正电子的来源有两个,一是核子之间的碰撞产生 π^+ 介子,它的衰变产生正电子;另一个是核子间的碰撞所产生的放射性核也发射正电子。 4.438MeV 和 6.129MeV 谱线分别为 ${}^{12}\text{C}$ 和 ${}^{16}\text{O}$ 的核退激所产生。所谓核退激是指原子核与高能粒子碰撞而处于受激态,通过 γ 射线的发射而回到基态。核退激还能产生许多其它 γ 射线谱线、多普勒加宽谱线以及 γ 连续辐射。由于多数受激的能态寿命很短,所以核退激的 γ 谱线是耀斑中高能粒子核反应的很好的指示器。第四种 γ 射线的产生机制是 π^0 介子的衰变, $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$,在耀斑的高能质子与质子的碰撞中完全可能产生 π^0 介子。

高能天文卫星“HEAO-1”和“HEAO-3”、太阳峰年卫星“SMM”和“火鸟”卫星都先后检测到了太阳耀斑的 γ 射线。从1980年到1986年,即太阳活动第21周峰年后的下降期,总共记录到约200个大于 0.3MeV 的 γ 射线耀斑,其中大于 10MeV 的有12个,更特殊的是在2个 γ 射线耀斑中检测到了大于 50MeV 的中子。对这些 γ 射线高能耀斑进行详细研究,获得了耀斑加速粒子和核反应的珍贵信息。比如1980年6月7日,6月21日,1981年4月27日,1982年

6月3日等耀斑都是很有名的,常作为典型研究的 γ 射线耀斑被引用。

从1980年6月7日 γ 射线耀斑(图3)以及其它耀斑同射电和硬X射线的时间轮廓的对比,发现 γ 射线的脉冲峰与射电和硬X射线的峰对应得很好,但略有延迟,这说明非相对论性和相对论性粒子是在耀斑脉冲相的1秒之内被加速的。4月27日 γ 射线耀斑出现许多条 γ 射线谱线也是比较引人注意的。1980年6月21日和1982年6月3日耀斑,不仅被“SMM”记录到 γ 射线,而且还检测到中子。更重要的是瑞士

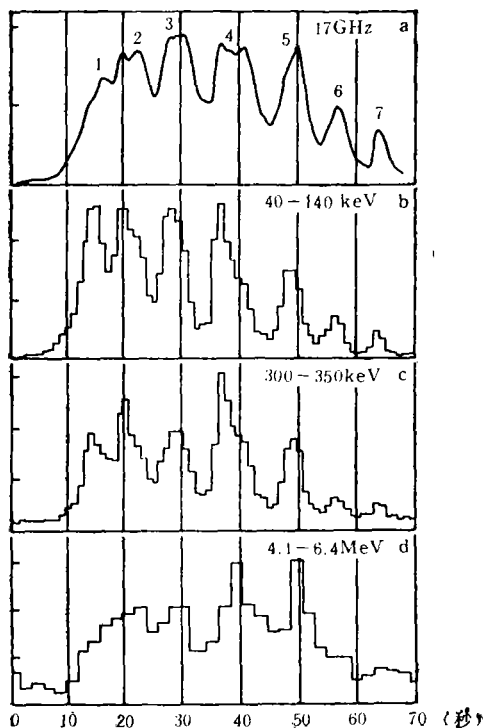


图3 著名的1980年6月7日 γ 射线耀斑横轴是世界时03时12分00秒起算的秒数

a. 射电微波 b. c. 硬X射线 d. γ 射线
 γ 射线的脉冲峰略为落后于射电和硬X射线

弗劳希约地面中子监测站还记录到6月3日耀斑的中子(图4)。地球上能检测到耀斑中子说明中子的能量非常高。因为中子的半衰期是11分钟,光线从太阳到地球需8分钟,所以到达地球的耀斑中子必须具有 $8/9$ 的光速,这意味着太阳耀斑能把中子加速到GeV级。

太阳耀斑粒子加速和核反应的知识在第21个太阳活动周中获得飞速增长。但需深入研究的关键性问题和细节还不少。要透彻理解耀斑,至关重要是要获得高空间分辨和高时间分辨,多波段耀斑细节。现行的第22周的耀斑观测除开动全球各种地面太阳仪器之外,还将利用美国的 γ 射线天文台“GRO”,日本的

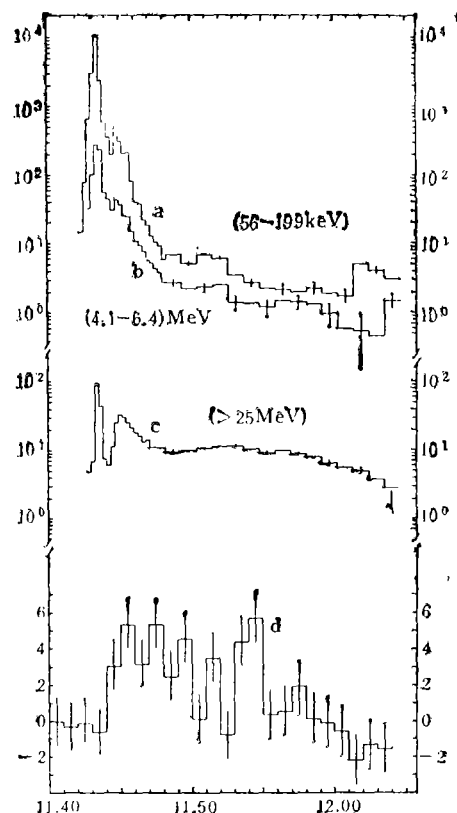


图4 著名的1982年6月3日伴有地面中子记录的 γ 射线耀斑

a. 硬X射线 b. c. γ 射线, d. 地面中子监测。
横轴为世界时。

“太阳-A”,欧洲的尤里西斯等卫星运载的硬X射线仪器,以及美国的汽球载 γ 射线设备(GRID),进行国际性的高能耀斑物理研究。1990年是黑子数峰值年,而高能耀斑大部分出现在峰值年之后,预期今后几年将会捕获相当多的太阳高能耀斑爆发。90年代将是太阳耀斑研究的黄金时期。

(上接第24页)

文献进行仔细搜索,想从“废纸”堆中找到有用的工具。

资料并不缺少。陈氏引用的是G. H. Hardy与F. E. Wright的经典的数论著作(1979年第5版)。这本书确实讲到了莫比乌斯反演的各个方面,但并未对可能会有物理应用有任何提示。书中还有一个非常巧妙的关于拉曼诺佳(Ramanujan)和 $\sum e^{2\pi i k m/n}$ 与 $\sum \mu(n/d)d$ 相等的证明。第一个求和是对 k 进行的,它只能取 n 的余数并不能与 n 有公因子;第二个求和是对 d 进行的, d 必须是 m 和 n 的公因子。人们肯定会问,这么巧妙的关系到底有什么内涵与价值。

(赫彬译)