

# 太阳磁场和宇宙线实验规律初探

王震江

(云南大学物理系)

## 提 要

本文总结了近20年来太阳磁场、太阳行星际磁场的观测结果,较详细地结出了银河宇宙线在空间分布和随太阳活动变化的时间特性,描绘出一幅比较完整的太阳磁场与宇宙线关系的图像。

对于太阳磁场的研究,得到了一般的结论。给出了宇宙线粒子在太阳系中受太阳磁场调制的四种物理因素。

## 一、引 言

20多年来,对于太阳磁场以及太阳磁场在行星际空间的延伸、变化的规律性研究,主要是在下述两方面同时展开的。一方面是常规观测,另一方面是通过观测银河宇宙线在行星际空间的特性,能谱与通量等来勾画太阳磁场的图像。前者采用的方法是(1)对太阳光球磁场的大规模观测<sup>[15]</sup>; (2)利用飞船上的磁场仪测量行星际空间磁场的延伸分布<sup>[4], [45]</sup>; (3)认为太阳磁场的扇形边界(又称中性片)和日冕极光位置重合,通过测定日冕极光位置和日冕最明亮线的偏振光来确定中性片的位置<sup>[5]</sup>。后者主要是通过地面、气球上和飞船上的宇宙线粒子探测器观测高能银河宇宙线及太阳宇宙线在行星际空间的传播方式、加速机制等<sup>[37], [25], [12], [34], [8], [41]</sup>。只是近5年来,人们才把这两方面的研究联系起来进行综合研究,并取得相当的成果。

关于太阳磁场, Wilcox和Ness<sup>[43]</sup>提出太阳磁场具有扇形结构、在扇形界面上磁场为零(有人证明其磁场不为零<sup>[20]</sup>),而在界面的两边磁场极性相反。Schatten<sup>[32]</sup>和Altschuler<sup>[3]</sup>同时分别提出一个模型:太阳周围有一个和太阳同心的特殊球面,在此球面之外,太阳风把磁场沿径向带入行星际空间,而这个球面与太阳光球之间存在满足Laplace方程的势场。后来,Altschuler<sup>[2]</sup>和Adams<sup>[1]</sup>分别用不同的方法计算了这个方程,并将其结果与实验作了初步的比较。Hoeksema<sup>[15], [16]</sup>根据这个模型计算了扇形界面的位置,并与观测比较,得到了与观测吻合得相当好的1976—1982年之间较完整的扇形界面变化图像,其中包括太阳活动极大的1980年。

银河宇宙线在行星际空间要受到太阳活动的调制。宇宙线怎样受到太阳调制一直是银河宇宙线研究的重要内容。自 Parker[27]提出宇宙线在磁场中的扩散-对流模型以来, 现在普遍认为下述四种因素是影响宇宙线的基本物理因素: 即宇宙线粒子随太阳风的对流、由于太阳风扩展的绝热冷却、通过不规则磁场的扩散以及在大尺度磁场附近的梯度和曲率漂移。所有的理论均与实验有不同程度的吻合。最近的研究还认为宇宙线除了受上述四种因素影响外, 还要受“共同旋转作用区”的影响[24]。

最近几年, Saito[31]、Christon[7]、Jokipii等人[17]、Thomas等人[38],[39]、Burlaga等人[5], 把太阳磁场中性片与宇宙线联系起来, 研究了中性片附近宇宙线分布、宇宙线梯度、宇宙线空间图像以及中性片动力学等问题。

本文试图对上述问题作点规律性总结。试图给出一个较粗糙的三维磁场结构及其与宇宙线的关系图像。对20年来的太阳磁场与宇宙线研究进行综述。

## 二、太阳域中银河宇宙线的时空特性

### 1. 宇宙线的时间特性

#### (1) 地面站的观测( $\sim 1\text{AU}$ )

从地面宇宙线观测站[34],[26]的观测结果表明, 在地球上宇宙线随太阳活动变化的时间特性为:

(i) 在太阳活动极大期, 宇宙线强度处于低值。在太阳活动极小期则反之。如图 1 所示。

(ii) 太阳活动的单双周期内宇宙线强度呈单峰与双峰分布。单峰出现在太阳磁偶矩与自转角速度相反的奇循环期, 而双峰出现在太阳磁偶矩与自转角速度相同的偶循环期[25]。

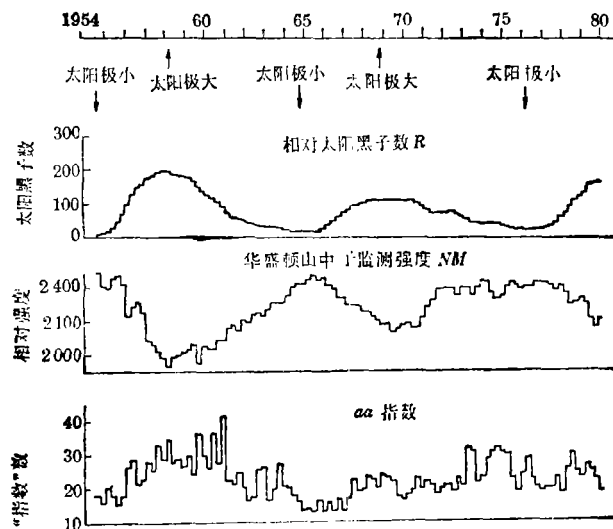


图1. 太阳黑子数R、地磁指数aa和中子强度的观测实验比较。

参看图2(图中阴影区代表磁场反转的时期)。

(iii) 太阳耀斑指数SFI, 地球磁场活动指数 $aa$ , 太阳黑子数 $R$ 与宇宙线强度有密切关系。一般地, 地磁指数与太阳黑子数呈正关联, 有相位差[6]。这两者与宇宙线正好呈反关联[34], 而太阳耀斑指数与宇宙线呈反联[26]。参看图1与图3。

图2. 1a: Zurich 太阳黑子数;  
1b: 宇宙线积分强度;  
1c: 宇宙线强度与  $R_z$  的延迟  
时间, 从  $t-10$  年到  $t$ 。

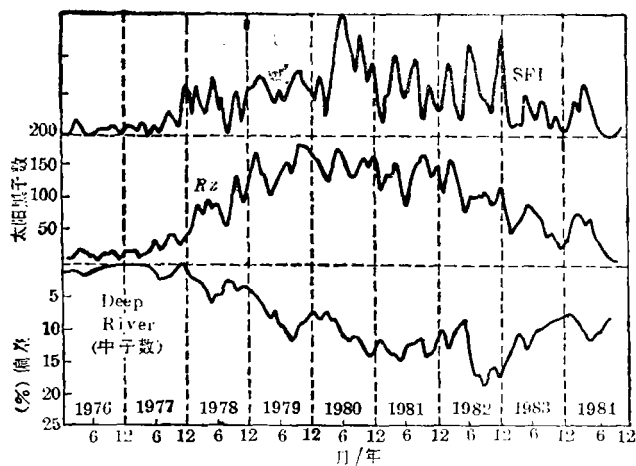
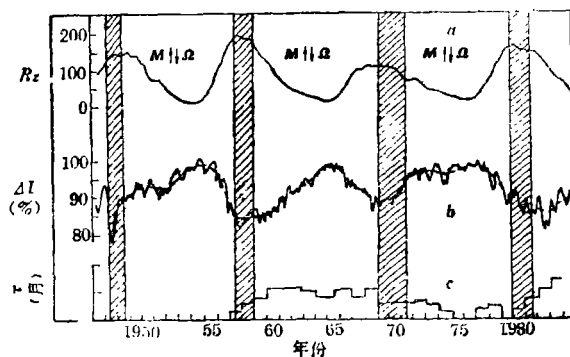


图3. Deep River 中子监测站的 每  
月平均的宇宙线强度的百分偏  
差, 以 1976 年 9—10 月为 100%  
的水平。太阳黑子数月平均  
( $R_z$ ) 及太阳耀斑指数 (SFI) 均  
绘在图上。

(iv) 电子、质子、中子、氦、碳及氧核等均有上述三种特性, 与粒子电荷的正负无关。参看图 4。但太阳活动对不同粒子的调制不一样。即在太阳活动极小期开始的恢复期内, 不同的宇宙线粒子恢复的相位不一样。例如, 在太阳活动第 20 周 (1965—1976 年) 的 1970 年后, 氦密度比电子密度恢复的要快; 在 21 周的 1980 年后, 电子密度比氦密度恢复的要快[13]。参看图 4 的左下部分。

(v) 太阳活动在其单周与双周对宇宙线氧离子的调制不一样, 即在强度极小值前后有相同通量的两个时段内, 虽然其通量相当, 但其能谱具有完全不同的形状。说明单、双周的太阳调制有根本性差别[9]。

## (2) 飞船上的测量 (>1AU)

图 5 给出了先锋 10、11 号飞船测量到的宇宙线强度和时间的关系[40]。在太阳活动极小期的 1976 年, 不对应宇宙线强度的极大; 对于太阳活动极大的 1980 年, 也不对应宇宙线强度的

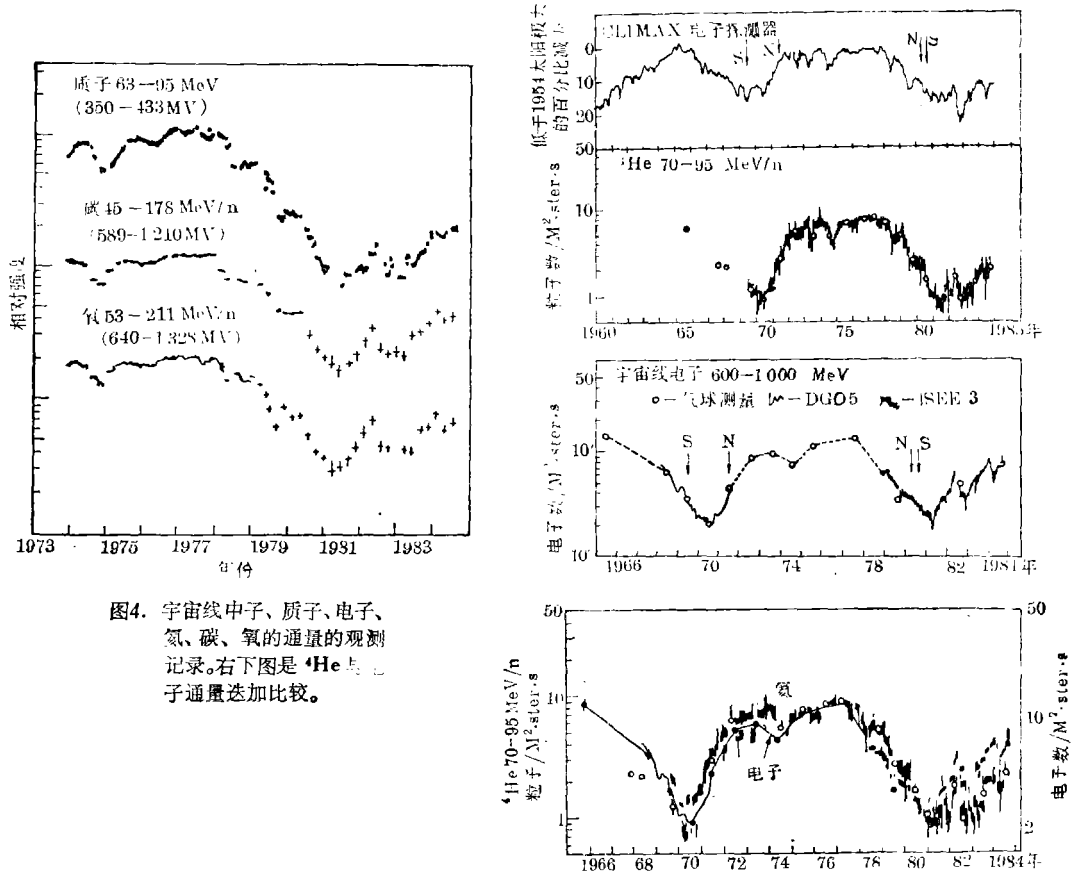


图4. 宇宙线中子、质子、电子、氦、碳、氧的通量的观测记录。右下图是<sup>4</sup>He与电子通量迭加比较。

极小。与1AU处的情形比较均表现出1—2年的延迟。另外的研究表明[10]太阳调制是以740 km/s的速度向行星际空间传播,是典型太阳风速(400km/s)的1.85倍。

目前,飞船测量到的宇宙线强度还未覆盖1个完整的22年磁周期。这就无法比较>1AU的行星际空间中宇宙线是否出现单峰与双峰的变化特点。过去一直认为地球上观测到的单双峰特性是地-日磁场的作用结果。倘若在>1AU处也观测到宇宙线的单双峰特性,将会证明地球磁场对宇宙线的影响不是主要的。如果情形正是如此的话,单双峰的特性就是太阳磁场的某种性质的反映。这将是一个重要的判别性观测,在不久的将来就会得到证实。

除了单双峰特性外,图5中也显示出上段总结的几个特点。

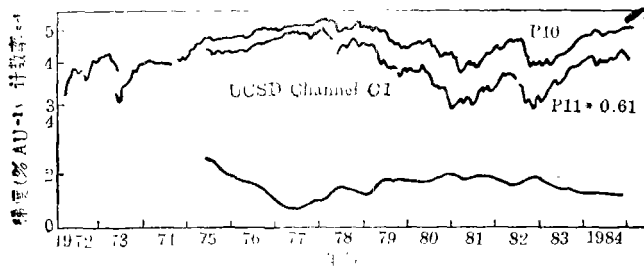


图5. 飞船Pioneer10,11号上UCSD探测器测量的宇宙线强度和梯度。

## 2. 宇宙线的空间特性

### (1) 宇宙线沿太阳半径方向的变化

表1是到1986年为止,飞船对于宇宙线径向梯度的测量估计值[8]。从表中看出,所有宇宙线梯度均大于1,说明银河宇宙线强度随离开太阳的距离增加而增大。这表明,在外太阳域(>约10AU)太阳活动的影响逐步减小。这一点亦由Kayser等人[19]的研究结果证实,其结果是太阳风的质子密度、通量、压力和动量具有  $r^{-2}$  的半径图像。Roelof的研究[29]指出在内太阳域(<10AU)出现常数梯度( $\sim 2\% \text{AU}^{-1}$ )。并且,太阳对宇宙线的调制在内太阳域很弱,而在5—10AU调制增强。

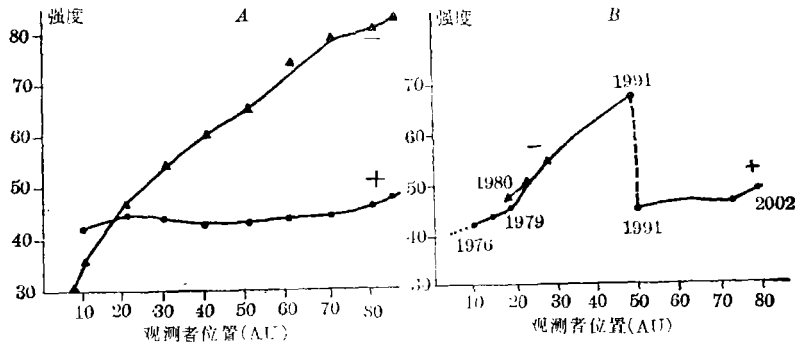


图6. 黄道面内不同的日心距离上在  $A^+$  与  $A^-$  时期的 1GV 质子强度(左图), 对于1976—2002年内 1GV 的质子的计算强度值(右图)。太阳的磁场极性已标出。

Gall等人[11]用模型计算了在外太阳域受激波影响的宇宙线变化,给出了图6所示的宇宙线在不同的太阳周内将显示出不相同的径向梯度(图6中的  $A^+$  表示太阳北半球磁场向外,  $A^-$  反之)。

### (2) 宇宙线沿日纬的分布

表1 宇宙线径向梯度的近期估计<sup>[8]</sup>

研 究	平均周期 天	飞船	$v$ $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	时 间	$Gr$ $\% \text{AU}^{-1}$
Lockwood and Webber [1984]	26	V1, V2, P10, IMP8	(800, 400, $\infty^a$ ) <sup>b</sup>	1975—1982	$3.0 \pm 0.3$
Venkatesan et al. [1984]	27	V1, V2, IMP 8	500和 $\infty$	1977—1982	2—4
Decker et al. [1984]	26	V1, V2	$\infty$	1981—1982	2 <sup>c</sup>
Venkatesan et al. [1985]	27	V1, V2, P10, P11, IMP8	500	1977—1982	3
Van Allen and Randall [1985]	25	P10, P11	$\approx 440^d$	1972—1984	$2.06 \pm 0.20$
Christon et al. [1986]	1	V1, V2	$\infty$	1981—1983	$2.25 \pm 0.08$
Webber et al. [1986]*		V1, V2, P10, P11, IMP8	600	—1984	2.23

$T$  (动能)  $\geq 70 \text{MeV}$

a.  $\infty$ : 无漂移对应的瞬时传输速度

b. 三个不同值的混合

c. 或者设  $C\theta = 0$ , 则  $Gr = 2\% \text{AU}^{-1}$ , 或者设  $Gr = 0$ , 则  $C\theta = 0.4\% \text{deg}^{-1}$

d. 取值范围250—750

\* 由笔者加上(取自Webber et al., 1986)

表 2 宇宙线角度梯度的近期估计<sup>[8]</sup>

研究	r(AU)	时间	能阈(MeV)	中值刚度(GV)	梯度
Newkirk et al.[1986]	1	1974—1977	106	0.9	$G_{\lambda_{mg}} = -0.4\% \text{deg}^{-1} (-23\% \text{AU}^{-1}, 1\text{AU处})$
Christon et al.[1986]	~12	1981—1983	75	1.6	$G_{\Delta} = -0.2\% \text{deg}^{-1} (-1\% \text{AU}^{-1}, 12\text{AU处})$

表2给出了部分宇宙线纬向梯度的结果<sup>[8]</sup>。表中的  $\lambda_{mg}$  是代表以中性片为参考面时相对于中性片的角度,  $G_{\lambda_{mg}}$  是以  $\lambda_{mg}$  为变量的梯度;  $\Delta$  表纬度角,  $G_{\Delta}$  表纬度梯度。

Yadav 等人<sup>[44]</sup>的研究给出当以中性片为参考面时纬向梯度  $G_{\theta}$  为:

$$G_{\theta}(\%) = -0.036|\theta| \quad (0 \leq \theta \leq 30^\circ)$$

他们关于中性片和宇宙线梯度及太阳风速关系的图像绘在图7中。Newkirk<sup>[23]</sup> 的研究给出表3, 其结果表明在1980年前后, 纬度梯度未发生变化, 两个时期内梯度对于地磁刚度的依赖相同。图8给出了宇宙线通量  $U$  与中性片的日纬  $\lambda_{mg}$  的图像。图中的光滑曲线满足方程

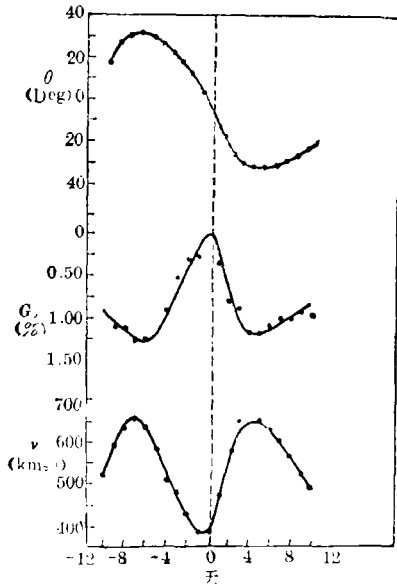


图7. 太阳磁纬、宇宙线梯度和太阳风速度的变化, 横标表示1974年穿过中性片前后的天数<sup>[44]</sup>。

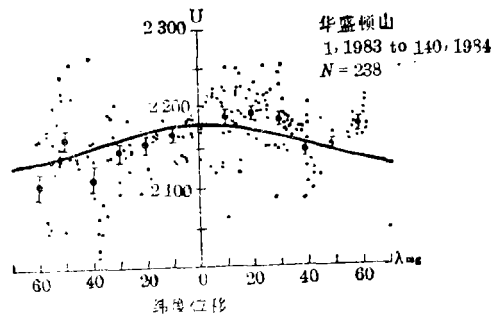


图8. 宇宙线通量与中性片的日纬图像, 右上角的“1, 1983 to 140, 1984”表示“1983年占一天到1984年占140天”。

表 3 宇宙线监测器参数与相对纬度梯度

探测系统	参 考	$P_M(\text{GV})$	1971—1972		1983—1984	
			$-a_1/a_0$	$P_F$	$-a_1/a_0$	$P_F$
Huancayo	Simpson and Wang 1970	35 (18—70)	$0.001 \pm 0.002$	$6 \times 10^{-1}$	$0.008 \pm 0.002$	$8 \times 10^{-3}$
Mt. Washington	Lockwood and Webber 1967, 1979	13 (6—30)	$0.026 \pm 0.008$	$1 \times 10^{-3}$	$0.024 \pm 0.006$	$10^{-5}$
IMP-8(106MeV)	Garcia-Munoz et al. 1975	0.9 (0.5—1.7)	$0.23 \pm 0.07$	$5 \times 10^{-4}$	$0.14 \pm 0.03$	$2 \times 10^{-5}$

其中:  $P_M$ —中值刚度, ( )—范围50%,  $a_1/a_0$ —相对纬度梯度,  $P_F$ —统计误差概率

$$U = a_0 + a_1 \sin^2 \lambda_{mg}$$

其中  $a_0 = 2179 \pm 3$ ,  $a_1 = -56 \pm 13$ 。

上述研究是以中性片为参考面进行的,除此而外,还有以太阳赤道面和黄道面为参考面的研究,表4正是这两种情况[24]。因为对于太阳纬向范围的探测,目前的飞船只能达到平均  $24^\circ$  的日纬范围[42],而地球对于太阳的运动只在日纬  $\pm 7^\circ.5$  的范围内摆动。在太阳高纬区和极区的观测不能做出。因而对整个日纬范围的图像还不能得到,这对于研究太阳磁场和宇宙线是很大的限制。

### 3. 理论方面的工作

在解释观测到的宇宙线变化规律时提出了许多模型与理论。目前比较成功的模型是由 Kota和Jokipii提出的[21]。在这个模型中考虑了粒子对流、能损、扩散和漂移四种物理因素;并且还考虑了太阳域中性片倾斜角变化的影响和太阳磁场极性的反转;比较完善地解释了宇宙线强度的单双峰的时间特性,如图9所示。模型还预言了宇宙线在中性片附近的纬向分布和不同经纬度的径向分布。在一组适当的参数下,这个模型能得到与所有主要观测结果一

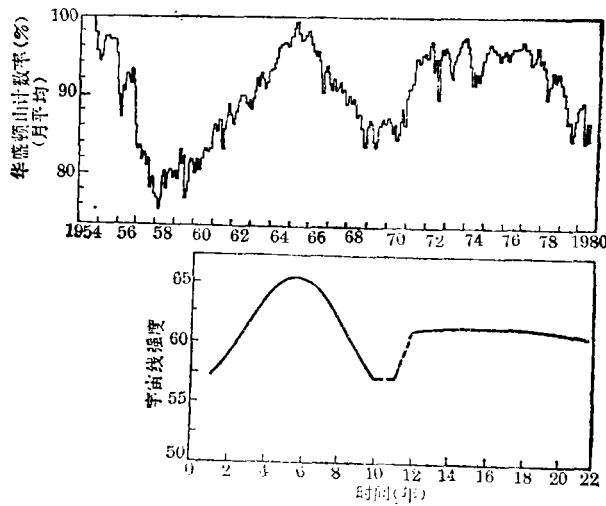


图9. 上部分是Mt. Washington中子计数率的月平均。下部分是模型预言的太阳周变化[33]。

表 4 一些近期的纬度梯度估计 [24]

刚度或能域	参考面	大域中的位置 AU	时间	纬向梯度 $\frac{1}{U} \frac{dU}{dz}$ (%AU <sup>-1</sup> )		参 考
				对正的	不对正的	
GV ~10GV	赤道	1	1961—1967	...	-1到-8% AU <sup>-1</sup>	Barker和Hatton[1971]
	赤道	1	1962—1967	-0.7到-7% AU <sup>-1</sup>	-1到-11% AU <sup>-1</sup>	Antonucci和Marocchi[1976]
	赤道	1	1967—1972	+1.8到+8.6% AU <sup>-1</sup>	-1到-11% AU <sup>-1</sup>	Antonucci et al. [1978]
	黄道	1	1965—1969	...	负	Swinson和Kananen[1982]
>0.5GV	赤道	1	1969—1975	...	正	
	赤道	1	...	...	离开有大冕洞的半球	Agrawal et al. [1978, 1980]
	黄道	1	...	...	7% AU <sup>-1</sup>	Owens et al. [1980]
	黄道	1-3	106年	+40到120% AU <sup>-1</sup>	...	Laurukhine et al. [1981]
0.5GV	黄道	2-5	1977—1979	+~1% AU <sup>-1</sup>	...	Roelof et al. [1981, 1983]
0.5GV	黄道	2-5	1977—1979	0	...	Venkatesan et al. [1985]
>0.7GV	黄道	8-13	1977—1980	+ ~2% AU <sup>-1</sup> 或0	...	Decker et al. [1983]
5GeV	中性片	1	1965—1983	-~2% AU <sup>-1</sup>	< 0.5 % AU <sup>-1</sup>	Newkirk和Fisk[1985]

致的结论[22]。

理论方面的研究文章很多,这里不去一一评述,原因是各种理论都只能在一个较小的范围内解释观测结果,不象上面提到的理论那样成功。

### 三、太阳磁场与行星际磁场

#### 1. 行星际磁场的扇形结构

在本文的引言中谈到过扇形结构。我们把20多年来的对太阳磁场扇形结构的研究结果总结如下:

(1) 太阳磁场中性片是一个相对于太阳赤道面卷曲的流动片,参看图10。中性片把行星际磁场分成上下两部分,这两部分的磁场极性相反。11年内中性片上下磁场极性改变一次,22年完成一次周期变化。

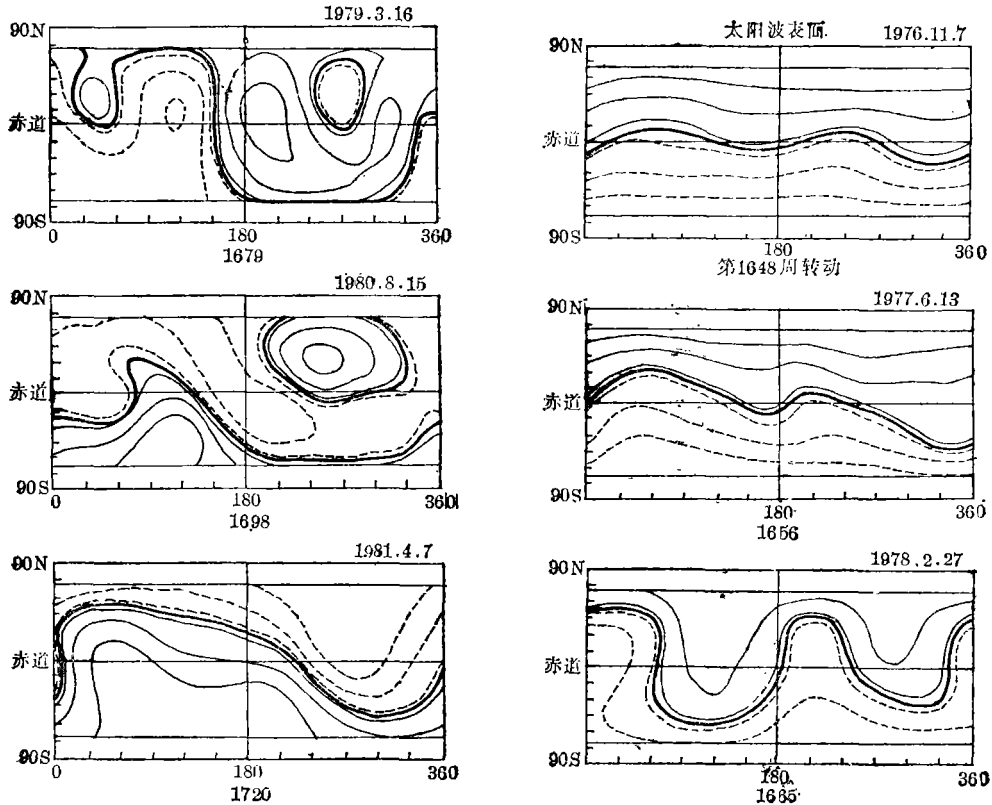


图 10 1.5Rs 和 5Rs 之间的扇形边界面图



(2) 在太阳活动极小的1976年,中性片在太阳纬度方向的扩展不超过 $16^\circ$ [38]。而利用K-型日冕仪最大光度曲线确定的中性片在1976年是 $\sim 15^\circ\text{N}$ 到 $30^\circ\text{S}$ 的范围[5],参考图10。

(3) 1976—1977年,中性片具有四扇形结构,此时位于 $1.75R_\odot$ 的中性片方程为 $\gamma = 8^\circ \cos 2(\phi - 52^\circ)$ ,其中 $\gamma$ 是太阳纬度, $\phi$ 是太阳经度,参考图11。

(4) 1978—1979年,中性片从四扇形变成双扇形,位置改变到 $\sim 50^\circ$ 的日纬。而在太阳活动极大的1980年,中性片位置趋于 $\sim 90^\circ$ [16]。

(5) 在太阳活动极大期,扇形结构变得异常复杂,无一般规律可寻。但在极大期的前后,扇形结构比较简单(双或四扇形)。不过在极大期前后,扇形边界面两边的磁场极性发生改变,即磁场极性发生倒转,参看图12[15],[16]。

另外,太阳两极的磁场观测,Svalgaard[36]考虑到由于太阳自转轴对于黄道面有 $\sim 7^\circ$ 倾斜,致使测量到的极区磁场发生年度变化,以确定极区场强,其结果具有形式为 $11.5 \cos^2 \theta$  (G)的尖峰变化(其中, $\theta$ 角表太阳余纬)。Stanford地磁仪的最北极望远镜的测量结果图示在图13中,从图中明显看到极区太阳磁场的图像出现每年一次的周期变化,证实了Svalgaard等人的想法。从此图还看到,极区磁场极性倒转发生于1979年底[16]。

### 2. 中性片与太阳风和宇宙线的关系

(1) 对于太阳风的测量,由于使用飞船,空间上已达到 $\sim 40\text{AU}$ 的范围。近年来的研究结果如下:

(i) 在太阳活动较弱的年份,位于 $1\text{AU}$ 处的中性片附近的太阳风速处于极小, $\sim 400\text{km/s}$ 。这种极小的图像在太阳活动极小期最狭窄,并随太阳活动的增强而增大。若1969—1980年的太阳循环具有代表性的话,则速度图像的高斯半宽度将随离开中性片的角度在 $\sim 8^\circ - \sim 30^\circ$ 的范围内变化[24]。

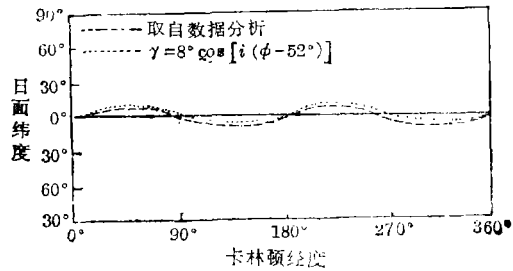


图 11

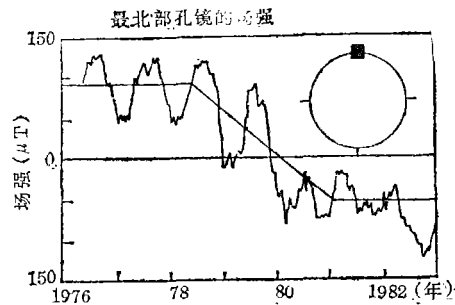


图 12 粗线表示源表面的中性线,虚线表示磁场的极性为负(指向太阳),实线表示磁场的极性为正。时期1976—1982年。

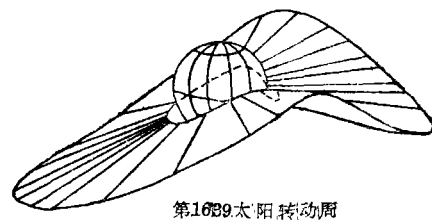


图 13 10天平均的均场记录。从1979年5月到1982年12月。极性反转前,极区平均场强为 $95 \mu\text{T}$ ,反转后,约为 $45 \mu\text{T}$

(ii) 在极区冕洞上方出现 $\sim 600\text{km/s}$ 的高速太阳风的稳定区, 在中性片或这种稳定区内太阳风速没有出现与太阳循环一致的变化[24]。

(iii) 在太阳活动剧烈的年份, 中性片附近不存在太阳风速的大尺度结构[24]。

(iv) 观测到的太阳风速与相对于中性片的角距离的关系大致为 $v_{sw} = a + b\sin^2\lambda_D$  (其中 $a \sim 383\text{km/s}$ ,  $b \sim 3050\text{km/s}$ ,  $\lambda_D$ 为离开中性片的角度)[24]。

(v) 太阳风速较低的区域往往观测到较大的宇宙线通量。但低速太阳风并不永远对应着宇宙线增强。即低速太阳风对于有限区域的宇宙线增强仅是必要条件[14]。

(2) 对于宇宙线与中性片的关系在文章的第二部分谈过一些。现在我们给出另外的结果。下面我们只给出一些结论, 详细的讨论请参考文献[31], [35], [28]。

(i) 宇宙线密度的显著减小与中性片倾角的突变很好相关(中性片倾角的大偏离伴随着宇宙线的减少)[31]。

(ii) 在太阳活动极大前后, 中性片南北纬度的代数差相同时, 对应的宇宙线强度是不一样的。说明存在着宇宙线对于太阳磁场极性的某种依赖性[35]。

(iii) 在太阳北半球磁场向外时(1970—1980年), 正粒子沿极区进入地球, 负粒子沿赤道进入地球。在太阳北半球磁场向内时(1959—1970年, 1980—1991年)。正负粒子的位置正好交换一下[28], 参看图14。

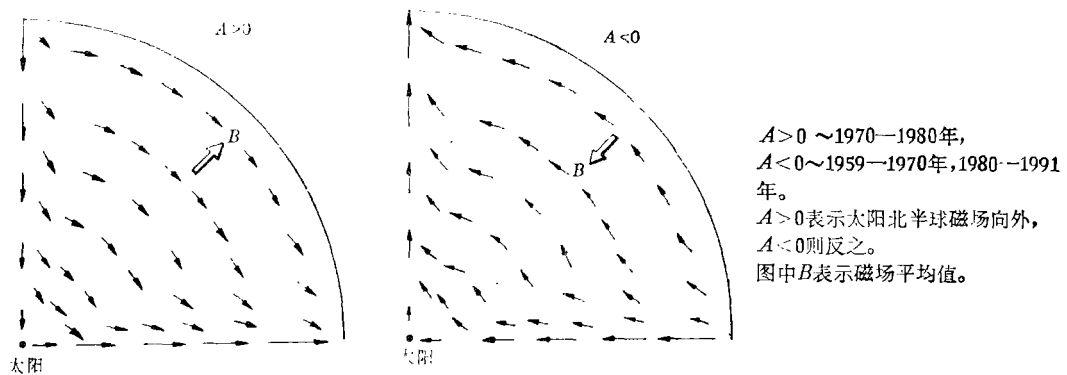


图14. 质子在子午面内的漂移速度场分布图。

### 3. 关于太阳磁场和行星际磁场的一些理论

关于IMF(行星际磁场)的结构与中性片的特性, 有许多人根据不同的方法做了许多工作。方法之一是通过“视线”磁场的观测为势场模型的计算提供边界条件, 这个边界称为源表面。这个源表面与中性面的交线对应着 $B_r = 0$ 的曲线[15]。方法之二是认为日冕流动片就是 IMF 的中性片, 如引言所述。

关于扇形结构, Schulz 认为[33]是由太阳偶极型磁场导致的; 并且, 这个偶极型磁场的极轴相对于太阳自转轴旋转, 从而形成扇形结构; 而 IMF 的四扇形结构则是太阳磁场四极矩分量的结果。Burlaga 指出, 磁偶子的极轴对于太阳自转轴倾斜 $\sim 20^\circ \sim 15^\circ$ [5]。Bruno 等人的研究则表明四极矩对磁场的贡献是偶极子的17%[4]。另外的研究则认为[30], [18], 太阳的四扇形结构起因于太阳风速的不均匀, 不是源于磁四极矩。

Thomas 和 Smith[39]在研究 IMF 的结构时, 提出了两种 IMF 演化的假设。其一, 假定

中性片随太阳活动的加剧而越来越偏离太阳赤道面,在太阳活动的极大期,中性片偏转到 $\sim 90^\circ$ 并继续翻转,从而完成太阳磁场极性的倒转任务。其二,日冕在太阳活动极大时变得异常复杂,这意味着存在几个中性流动片;太阳用消散其前一循环的角向磁场,并同时建立极性相反的新磁场的方式来完成极性倒转。其过程请参阅文献[28]。

#### 四、总 结

上面的所有内容,对我们了解太阳磁场与行星际磁场,银河宇宙线受调制等问题提供了一定的资料。同时也向人们提出了这样一些问题:中性片如何产生?中性片为何随太阳活动而变?中性片为什么出现双扇形和四扇形交替变更的结构?太阳磁场为什么会反转等等?解决这些问题是那样的棘手,但又那样的诱人。诚然,这些问题的解决将为我们提供进一步认识太阳磁场的线索,对于了解恒星磁场将是一个帮助。

现在尚不能用简单模型来解决上述问题,因为太阳除了是一个磁球外,同时还是一个大的气体、等离子体球。太阳内部的流体动力学问题,磁流体力学问题,能量传输过程等等问题,都是十分复杂的。所以用一个简单模型想解决太阳磁场问题未免太过于理想化了。

关于宇宙线调制,只有当清楚知道太阳磁场构形之时,才能给出比较圆满的答案。目前对于宇宙线调制机制的研究,都是在不太清楚太阳磁场的情况下进行的,这可能客观上阻碍了对宇宙线调制本质的了解。因此应该积极从太阳磁场方面来探讨宇宙线调制机理。

感谢喻传赞老师对此工作的指导和支持

#### 参 考 文 献

- [1] Adams, J. and Pneuman, G. W., *Sol. Phys.*, **46** (1976), 185.
- [2] Altschuler, M. D. et al., *Sol. Phys.*, **51** (1976), 345.
- [3] Altschuler, M. D. and Newkirk, G. Jr., *Sol. Phys.*, **9** (1969), 131.
- [4] Bruno, R. et al., *J. Geophys. Res.*, **87** (1982), 10339.
- [5] Burlaga, L. F. et al., *J. Geophys. Res.*, **86** (1981), 8893.
- [6] Chirkov, N. P., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 489.
- [7] Christon, S. P. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 445.
- [8] Christon, S. P. et al., *J. Geophys. Res.*, **91** (1986), 2867.
- [9] Cummings, A. C. et al., *J. Geophys. Res.*, **91** (1986), 2896.
- [10] Forman, M. A. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 400.
- [11] Gall, R. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 384.
- [12] Garcia-Munoz, M. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 409.
- [13] Garcia-Munoz, M. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 497.
- [14] Gold, R. E. and Venkatesan, D., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 405.
- [15] Hoeksema, J. T. et al., *J. Geophys. Res.*, **87** (1982), 10331.
- [16] Hoeksema, J. T. et al., *J. Geophys. Res.*, **88** (1983), 9910.
- [17] Jokipii, J. R. and Kota, J., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 449.
- [18] Kaburaki, O. and Yoshii, Y., *Sol. Phys.*, **64** (1979), 187.
- [19] Kayser, S. E. et al., *Astrophys. J.*, **285** (1984), 339.

- [20] Klein, L. and Burlaga, L. F., *J. Geophys. Res.*, **85** (1980), 2269.  
[21] Kota, J. and Jokipii, J. R., *Astrophys. J.*, **265** (1983), 573.  
[22] Kota, J. and Jokipii, J. R., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 453.  
[23] Newkirk, G. Jr. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 469.  
[24] Newkirk, G. Jr. and Fisk, L. A., *J. Geophys. Res.*, **90** (1985), 3391.  
[25] Otaola, J. A. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 493.  
[26] Pandey, P. K. et al., *Proc. 19th ICRC*, **5** (1985), 63.  
[27] Parker, E. N., *Phys. Rev.*, **110** (1958), 1445.  
[28] Potgieter, M. S., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 425.  
[29] Roelof, E. C., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 417.  
[30] Saito, T. et al., *Planet. Space Sci.*, **26** (1978), 431.  
[31] Saito, T. and Swinson, D. B., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 441.  
[32] Schatten, K. H. et al., *Sol. Phys.*, **9** (1969), 442.  
[33] Schulz, M., *Astrophys. Space Sci.*, **24** (1973), 371.  
[34] Shea, M. A. and Smart, D. F., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 501.  
[35] Smith, E. J. and Thomas, B. T., *J. Geophys. Res.*, **91** (1986), 2933.  
[36] Svalgaard, L. et al., *Sol. Phys.*, **58** (1978), 225.  
[37] Swinson, D. B. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 437.  
[38] Thomas, B. T. and Smith, E. J., *J. Geophys. Res.*, **86** (1981), 11105.  
[39] Thomas, B. T. et al., *J. Geophys. Res.*, **91** (1986), 2889.  
[40] Walker, F. et al., *Proc. 19th ICRC*, **5** (1985), 189.  
[41] Webber, W. R. and Lockwood, J. A., *J. Geophys. Res.*, **86** (1981), 11459.  
[42] Webber, W. R. and Lockwood, J. A., *Astrophys. J.*, **302** (1986), 511.  
[43] Wilcox, J. M. and Ness, N. F., *J. Geophys. Res.*, **70** (1965), 5793.  
[44] Yadav, R. S. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 461.  
[45] Burlaga, L. F. et al., *Proc. 19th ICRC*, **4** (1985), 396.

(责任编辑 刘金铭)

## The Preliminary Study on the Experimental Regularity between Solar Magnetic Field and Cosmic Ray

Wang Zengjiang

(Department of Physics, Yunnan University)

### Abstract

In the paper, author has summarized the observed results of the solar magnetic field (SMF) and of the interplanetary magnetic field (IMF) done recent two decades; given in more detail the spatial distribution and the time characteristics of the galactic cosmic rays in interplanetary space which varies with solar activity; depicted a more complete picture of mutual relationship of SMF and cosmic rays (CRS).

---

The general results are obtained for the studying of SMF. The four basic physical factors that cosmic rays would be modulated by SMF in the solar system is given.