

发生在 5 月 16 日太阳耀斑中的 微波射电尖峰辐射^{*}

李小聪[†]

(中国科学院国家天文台 北京 100012)

摘要 对 1991 年 5 月 16 日发生在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 的射电尖峰辐射的持续时间, 偏振和准周期振荡等特点作统计分析, 详细报导了尖峰辐射的左旋偏振和右旋偏振在 2.5, 2.6 GHz 和 3.1 GHz 上的贡献. 在这 3 个频率上, 大量尖峰辐射不仅迭加在微波爆发的上升和极大相上, 还迭加在微波爆发的下降相上. 值得注意的是, 在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 处, 也迭加在发生在主微波爆发后的小爆发上. 尖峰辐射持续了 17 分钟.

描述了发生在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 上尖峰辐射的不同时间尺度的偏振反转. 统计分析表明在 2.5 GHz 以及 2.6 GHz 频率上的尖峰辐射的偏振反转有不同特点, 在 2.5 GHz 频率上的尖峰辐射偏振反转比 2.6 GHz 早 1.5 分钟, 并且在 2.5 GHz 上尖峰辐射偏振方向反转更多.

关键词 太阳: 射电辐射, 物理数据与过程: 偏振

中图分类号: P 162; **文献标识码**: A

1 引言

在太阳耀斑期间发生的太阳射电毫秒级的尖峰辐射主要出现在爆发光滑变化背景上, 低流量密度的少数尖峰辐射发生在爆发的衰减相, Stahli^[1], A. : Gary 等^[2]在 2840 MHz 上观测到一个尖峰辐射事件, 该事件在 2840 MHz 频率上从 86% 右旋偏振反转到 23% 的左旋偏振.

Ji 等^[3,4,5]报道了 1991 年 5 月 16 日发生在 2545 MHz 和 2645 MHz 上的 spike 辐射的持续时间, 偏振反转等特点.

1991 年 6 月 15 日, Zlbec^[6]在 237 MHz, 327 MHz, 408 MHz 和 610 MHz 频率上观测到一个窄带尖峰辐射事件. 他们研究了该事件在 237 MHz, 327 MHz, 408 MHz 和 610 MHz 频率上左旋偏振和右旋偏振的特点, 发现偏振度先从 610 MHz 增加, 接下来是 408 MHz 和 327 MHz. Zlbec^[7]指出偏振有不同的值, 并随时间变化.

对发生在 1991 年 5 月 16 日的太阳射电尖峰辐射事件进行统计分析, 展示尖峰辐射的持续时间, 偏振和准周期振荡等特点.

* 2007-01-08 收到原稿, 2007-03-20 收到修改稿

[†] Li_xiaocong@16.com

2 资料分析

1991 年 5 月 16 日,在北京天文台观测到伴随于 06:38:00 UT 开始的耀斑的一个 type 47 GB 型的射电微波大爆发,它从 0640 UT 开始于 0748 UT 结束.大爆发的流量密度分别在 06:46:28 UT, 06:46:03 UT 和 06:46:48 UT 在 2.5 GHz, 2.6 GHz 和 3.1 GHz 达到极大.伯尔尼大学从 0640 UT 到 0705 UT 在 3.1—50.0 GHz 频率范围观测到这个大爆发.

2.5 GHz 到 50 GHz 的爆发时间曲线见图 1.从图 1 可见,射电微波大爆发有宽频谱,频率和时间曲线向高频漂移.大量尖峰辐射迭加在 3.1 GHz 的微波爆发上.

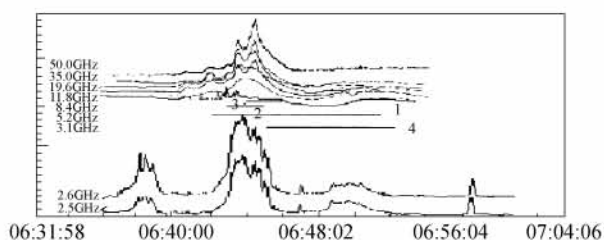


图 1 2.5GHz—50.0 GHz 频率范围微波爆发的时间曲线尖峰辐射偏振反转时段

线 1 标出尖峰辐射发生时段 线 2 标出大多数尖峰辐射发生左旋偏振时段

线 3 标出大多数尖峰辐射发生右旋偏振时段 线 4 标出大多数尖峰辐射发生左旋偏振时段

Fig. 1 Time profiles of the microwave burst in the ranges of 2.5GHz—50.0 GHz

Line 1 marks the time interval in which spikes occur.

Line 2 marks the time interval in which most spikes are left — polarized.

Line 3 marks the time interval in which most spikes are right — polarized.

Line 4 marks the time interval in which most spikes are left — polarized

在 2.5 GHz,微波爆发是 38%左旋偏振,爆发 B 是强的 64%的左旋偏振.在 2.6 GHz,微波爆发是 71%左旋偏振,爆发 B 是 89%的左旋偏振.有意思的是弱左旋偏振的主爆发后发生的小爆发 B 在 2.6 GHz 和 2.5 GHz 是左旋偏振,但爆发在 3.1 GHz 无偏振,见图 2.

在 2.5 GHz 和 2.6 GHz,从 06:42:53 UT 到 07:00:37 UT,大量高偏振的尖峰辐射迭加在微波爆发连续背景上,持续时间从十毫秒到几百毫秒.

我们观测到 38 个时段的尖峰辐射(约 152 秒),约 763 和 786 个尖峰辐射分别发生在 2.6GHz 和 2.5 GHz,但只有 194 个同时发生在两个频率上.3.1 GHz 上同时未记录到尖峰辐射.

结果表明,主爆发上尖峰辐射平均持续时间在 2.5 GHz 是 148 ms 而在 2.6 GHz 是 136 ms,小爆发上迭加的尖峰辐射平均持续时间在 2.5 GHz 是 190 ms 而在 2.6 GHz 是 186 ms.

在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 尖峰辐射的平均持续时间分别是 169 ms 和 161 ms,这意味

尖峰辐射的平均持续时间朝高频降低. 这与 Droge^[8], Gudel^[9]关于尖峰辐射的统计相符.

在 2.5 GHz, 2.6 GHz 和 3.1 GHz, 我们进行尖峰辐射偏振的观测, 在 2.5 和 2.6 GHz, 大多尖峰辐射的偏振度在 10%—100% 之间. 在 3.1 GHz, 大多尖峰辐射的偏振度在 0%—60% 之间.

表 1 2.5 GHz 和 2.6 GHz 尖峰辐射参数

Table 1 The parameters of the spikes at 2.5 and 2.6 GHz

时间 Time	频率. Fre.	持续时间 Duration	流量 Flux	偏振度 Degree of Polarization
(UT)	(GHz)	(ms)	(sfu)	(%)
06:42:53→	2.5	148	309.0	64.2
06:45:54	2.6	136	209.4	68.1
06:46:03→	2.5	190	270.1	53.5
06:48:01	2.6	186	207.6	53.7
06:48:10→	2.5	278	214.6	49.1
07:00:37	2.6	258	162.5	54

从表 1 可见, 爆发的上升相, 在频率 2.5 GHz 和 2.6 GHz 处, 194 个尖峰辐射的平均偏振度分别是 64.2% 和 68.1%, 在爆发的衰减相处, 分别是 49.1% 和 54.1%, 因此爆发的上升相的尖峰辐射平均偏振度比爆发的衰减相时高.

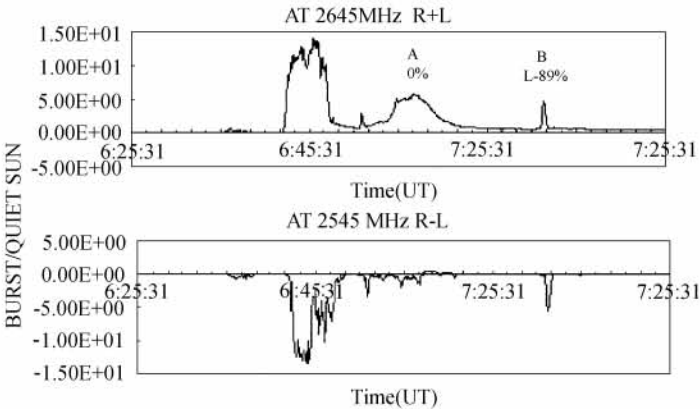


图 2 微波爆发偏振

Fig. 2 Polarization of the microwave burst

尖峰辐射的偏振特点取决于频率, 所有发生在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 的尖峰辐射, 2.6 GHz 上的平均偏振度比 2.5 GHz 的高. 另外, 具有 60% 的右旋偏振于 06:43:45 UT 首先出现在 2.5 GHz, 之后偏振方向反转了 35 次. 在 2.6 GHz, 尖峰辐射首次偏振方向反转出现在 06:45:14 UT, 之后偏振方向反转了 16 次. 在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 频率上, 发现尖峰辐射偏振反转具有不同时间尺度. 但在 3.1 GHz 处, 没有偏振反转出现.

06:42:53 UT 到 06:45:54 UT,在主微波爆发上升相约 180 s 时间间隔,尖峰辐射的偏振方向主要以左旋偏振为主,而从 06:46:03 UT 到 06:48:01 UT 在主微波爆发的衰减相,偏振方向主要以右旋偏振为主,在 06:48:10 UT 之后,主爆发后发生的小爆发期间,尖峰辐射偏振方向又再次以左旋偏振为主,尖峰辐射的偏振反转时段在图 2 中用线标出.

表 2 尖峰辐射典型的偏振反转
Table 2 Reversal Polarization of Spikes

时间 Time	尖峰	频率 Fre.	偏振度 Degree of	时间	尖峰	频率	偏振度 Degree of
(UT)	(MHz)		(%)	(UT)		(MHz)	Polarization (%)
06:47:19.6	A	2545	R60	06:47:57.4	A	2645	R45
06:47:20.3	B	2545	L70	06:47:59.2	B	2645	L63
06:47:20.6	C	2545	R29	06:47:59.6	C	2645	L91
06:47:20.7	D	2545	L75	06:47:59.8	D	2645	L86
06:47:20.9	E	2545	R51	06:48:00.4	E	2645	R42
06:47:21.0	F	2545	L65	06:47:57.4	A	2545	R35
06:47:21.2	G	2545	L46	06:47:58.0	B	2545	L39
06:47:21.3	H	2545	R59	06:47:59.6	C	2545	R19
06:47:21.5	I	2545	L67	06:48:00.5	D	2545	R40
06:47:21.6	J	2545	R50				

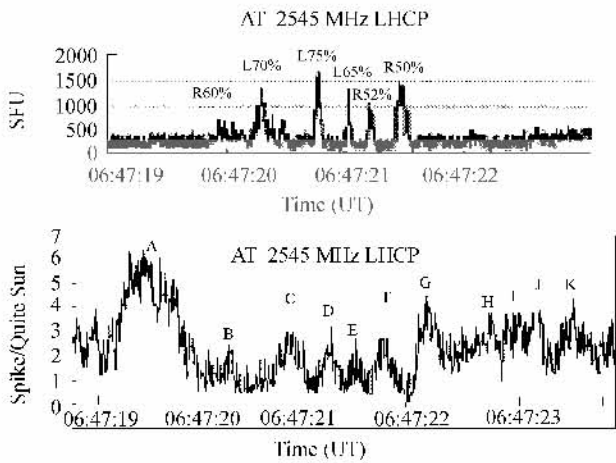


图 3 2.5 GHz 发生在 06:47:19 UT 尖峰辐射偏振方向快速反转的典型例子
Fig. 3 Quasi-oscillation of 2.5 GHz spike LHCP occurring at 06:47:19 UT

偏振方向主要以右旋偏振为主时,在 2.5 GHz 和 2.6 GHz 频率上发现尖峰辐射偏振方向具有短时间(ms)和长时间(min)的快速反转. 反转特点显示在表 1 以及表 2 和图 3. 从图 3 可见,在 2.5 GHz 频率上,于 06:47:19 UT 开始的尖峰辐射偏振反转由 R60%→L70%→R29%→L75%→R51→L65→R52. 尖峰辐射偏振方向反转了 6 次.

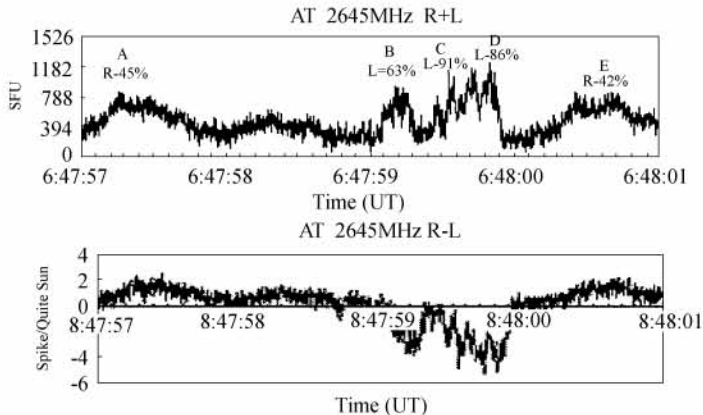


图 4 2.6 GHz 发生在 06:47:57 UT 尖峰辐射偏振方向反转的典型例子
Fig. 4 Typical polarization reverse of spikes occurred at 06:47:57 UT at 2.6 GHz

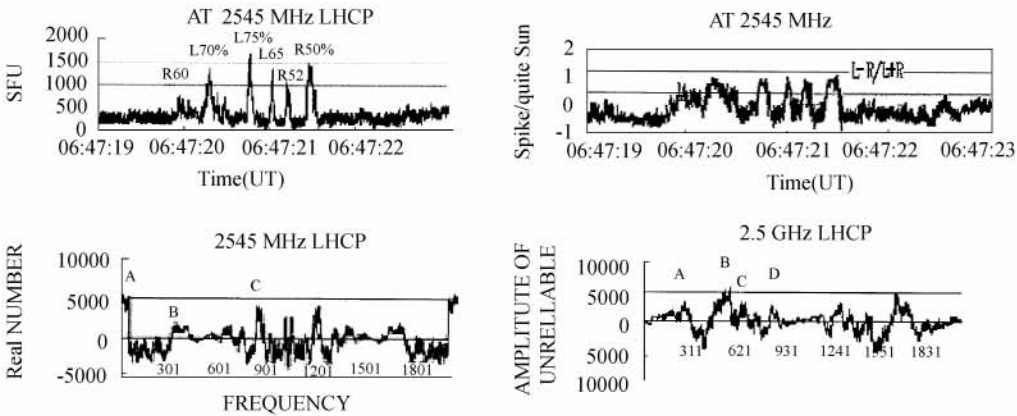


图 5 2.5 GHz 尖峰辐射 LHCP 发生在 06:47:19 UT 的准周期振荡
Fig. 5 Quasi—oscillation of 2.5 GHz spike LHCP occurring at 06:47:19 UT

图 4 显示 06:47:57 UT 发生在 2.6 GHz 处尖峰辐射偏振方向反转的典型例子. 06:47:57 UT 到 06:47:59 UT, spikes 偏振是右旋, 06:47:59 UT 到 06:47:59 UT, 偏振是左旋, 之后偏振又变为右旋.

典型的尖峰辐射准周期振荡的例子见图 5. 图 5 中, 尖峰辐射 a 振荡周期是 0.0036, 尖峰辐射 b 振荡周期是 0.0018, 尖峰辐射 c 振荡周期是 0.0016, 尖峰辐射 d 振荡周期是 0.0012, 平均振荡周期是 0.0020.

3 讨论

一般认为尖峰辐射是由电子回旋脉塞不稳定激发, 而且尖峰辐射的偏振对等离子参数非常敏感. 这意味着尖峰辐射主要由电子回旋脉塞不稳定激发的辐射频率取决于等离子频率和回旋频率之比 ω_p/Ω_e . 而偏振方向的反转依赖于 X 和 O 模式波辐射的交替. 理论计算指出, $\omega_p/\Omega_e \approx \sqrt{2}$ 是尖峰辐射的标准点, 当 $1 < \omega_p/\Omega_e < \sqrt{2}$ 时, 辐射主要为

二次谐波 X 模式;当 $\omega_p / \Omega_e > \sqrt{2}$, 偏振方向将变为二次谐波 O 模式. 我们假射尖峰辐射是由二次谐波引起, 因此 ω_p / Ω_e 在 $\sqrt{2}$ 附近变化时, 将出现尖峰辐射偏振反转.

另一种可能是来自 MHD 波的磁流管的准周期震荡调制等离子密度和具有不同时间尺度的磁场强度, 能使 ω_p / Ω_e 的值在 $\sqrt{2}$ 附近变化, 导致尖峰辐射偏振反转见文^[10].

致谢 我们要感谢 K. Arzner 博士与我们进行了讨论, 特别要感谢 A. Magun 博士和钱善皆教授的有益建议. 我们还要感谢 NOAA/SEC 提供有价值的资料.

参 考 文 献

- 1 Stahl, M. and Magun, A. ; 1986, Solar Phys. , 104, 118
- 2 D. Gary, G. Hurford & D. Flees., ; 1990, BBSO, # 0316
- 3 Jin Sheng, zhen , Fu Qijun, Li, . Xiaocong et. al. 1990
- 4 Jin, S. Z ; Li, X. C. ; Ji, H. R. et. al. , 1993, ChA&A, 17, 406
- 5 Jin, S. Z ; Li, X. C. ; Ji, H. R. et. al. , 1993, AcApsS, 13, 277J
- 6 Zlobec, P. & Karlicky, M. ; 1998, Solar Physics, v. 182, Issue 2, 477
- 7 Zlobec, H. at al. ;2003, Huar Obs. Bull. , 27(2003) 1, 115
- 8 Droge, E. Z. ; 1967 Space . Sci. rev. , 66, 214
- 9 Gudel, M. and Benz, A. O. ;1990, Astron Astrophys. ,231, 202
- 10 Hung, G. L. ; 1990, Adv. Space RES. , 10, No. 9, 173

Millisecond Radio Spikes Occurring on May 16

LI Xiao-cong

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

ABSTRACT The duration, polarization degree and quasi-oscillation of the millisecond radio analyzed. Spikes at 2.5 and 2.6 GHz are statistically. The contributions of the left and right-hand circular polarizations on the spike emissions at 2.5, 2.6, and 3.1 GHz are reported in detail. In these three frequencies, a lot of radio spikes are superposed not only on the rising and maximum phases, but also on the decay phase. It is noticed that, the spike emissions continue for 17 minutes at 2.5 and 2.6 GHz, they are also superposed on the small bursts following the main burst. The reversals of polarization sense of the spike emissions at 2.5 and 2.6 GHz with different time scales are introduced. The statistical analysis shows that there are different the features of the polarization reversals of the spike emissions at 2.5 and 2.6 GHz. The polarization reversals of the spike emissions at 2.5 GHz is 1.5 minute later than those at 2.6 GHz, and there are more polarization reversals at 2.5 GHz than those at 2.6 GHz.

Key words The Sun; Radio Radiation, Physical data and Process; Polarization