参 考 文 献

1 Gong Xiufen, Liu Xiaozhou, Zhang Dong. Influence of tissue composition and structural features of biological media on the ultrasonic nonlinearity parameter. Chinese J of Acoustics, 1993, 12(3): 265~270

2 Gong X F, Feng R, Zhu C Y, et al. Ultrasonic investigation of the nonlinearity parameter *B/A* in biological media. J Acoust Soc Am, 1984, 76: 949~950

3 Zhang Dong, Gong Xiufen, Ye Shigong. Acoustic nonlinearity parameter tomography for biological specimens via measurements of the second harmonics. J Acoust Soc Am, 1996, 99(4): 2397~2402

4 Zhang Dong, Gong Xiufen. Experimental investigation of the acoustic nonlinearity parameter *B/A* tomography for excised pathological tissues. Ultrasound in Medicine and Biology, 1999, 25(4): 593~604

5 Zhang Dong, Chen Xi, Gong Xiufen. Study of the second harmonic sound field from a circular piston source and the influence in the nonlinearity parameter tomography. Chinese J of Acoustics, 1999, 24(1): 98~104

6 Lucas B G, Muir T G. The field of a focusing source. J Acoust Soc Am, 1982, 72(4): 1289~1296

7 Lucas B G, Muir T G. Field of a finite-amplitude focusing source. J Acoust Soc Am, 1983, 74(5): 1522~1528

8 龚秀芬, 冯 若, 石 涛. 动物软组织非线性声参量 *B/A* 的研究. 科学通报, 1986, 31(14): 1104~1106

(1999-04-13 收稿, 2000-01-05 收修改稿)

1998年德令哈的狮子座流星雨目视观测及初步分析

赵海斌[①②] 李广宇[①②] 徐品新[①②] M. C. de Lignie[③] M. Langbroek[③]

(①中国科学院紫金山天文台, 南京 210008; ②中国科学院国家天文观测中心, 北京 100012; ③Dutch Meteor Society, Netherlands)

摘要 根据中国-荷兰狮子座流星雨联合观测队1998年11月13日至18日在紫金山天文台德令哈观测站观测所得的数据, 及同期中国其他地方的观测数据, 分析了1998年狮子座流星雨的分布特征, 提出此次地球所遭遇的流星群带呈3层结构.

关键词 狮子座流星雨 *ZHR* 质量分布

1833年11月13日凌晨, 美国东北部观测到了每小时的流星数达50 000个以上的十分壮观的狮子座流星暴, 激起了天文学家研究的热情, 促成了现代流星天文学的诞生. 狮子座流星群的母体是周期为33.25 a的55P/Tempel-Tuttle彗星, 由于受天王星[1]和木星[2]的共振摄动, 只有紧随彗星前后的流星体不会逃逸, 故地球上每隔约33 a左右可能见到一次较强的狮子座流星雨. 1995~2001年又到了狮子座流星雨的峰年, 据预测中国和西太平洋地区是1998年观测狮子座流星雨的最佳地点[3], 根据中国科学院和荷兰科学文化教育部的合作协定, 紫金山天文台和荷兰流星协会(Dutch Meteor Society)组成了联合观测队, 从1998年11月13日起, 在中国青海省德令哈地区进行了连续6夜的观测. 当时该地区天气相当晴好, 联合观测得到了理想的成果[4].

1 观测方法

荷兰流星协会是目前世界上最大的流星组织之一, 观测水平和观测仪器均属世界一流. 本次合作观测取得了大量目视、照相和摄像资料. 本文主要分析讨论目视观测资料. 目视观测的方法是: 观测者手持录音机平躺仰视, 快速口述出现流星的特征: 群属、亮度(以星等记)、

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

其他特征 (流星速度的快慢、颜色、是否有流星余迹等) 记录在录音机中(录音机有同步记录时间的功能), 观测结束后再作笔录整理.

我们在相距 65 km 的两点(德令哈站: 东经 97° 43′ 42.5″, 北纬 37° 22′ 41″, 海拔 3 275 m; 乌兰站: 东经 98° 23′ 48″, 北纬 37° 08′ 52.3″, 海拔 3 299 m) 同时进行观测. 目视流星出现的高度一般在 80~110 km 之间, 在这样的两个地点能同时观测到相同的流星, 可以以此求出流星的轨道根数.

2 观测结果及归算

本次流星雨回归的以火流星为主的第 1 个峰值, 比预报提前了约 16 h, 并没有出现在西太平洋地区. 但由于德令哈地处在中国西部, 当时当地的观测条件非常好, 中国-荷兰观测队又做了充分的准备, 故观测取得了完全的成功. 以 Jos 的观测为例, 17, 18 与 19 日 3 个凌晨, 他共观测到流星 1 786 个, 其中狮子座流星 1 249 个(火流星 69 个), 偶发流星(指无法归入任何流星群的流星) 394 个, 还有金牛座流星 124 个和麒麟座 α 流星 19 个. 最亮的流星竟达−12 等, 推算应该重达 4.4 kg. 取得这样丰硕的观测结果, 对于队中许多已经有二三十年观测经历的观测者来说也是第一次.

2.1 *ZHR* 的归算

每小时天顶率(*ZHR*) 是对不同观测者在不同观测条件下的观测资料归一化处理的结果, 我们归算的结果如图 1 所示, 用以计算的公式为[5]

$$ZHR = \frac{N_{\text{leo}}}{T_{\text{effective}}} \times \gamma^{6.5-Lm} \times (\sin(hr))^{-\alpha} \times Cp^{-1},$$

其中 $T_{\text{effective}}$ 是该观测时段的有效观测时间; N_{leo} 是该时段内所观测到的狮子座流星数; Lm 是观测过程中观测者的目视极限星等, 取决于当时的天气条件; hr 是辐射点的地平高度角; 指数 α 用于修正地平高度, 取 1.4[5]; Cp 和 γ 分别是观测者的敏感度和流星数按星等分布因子, 分别

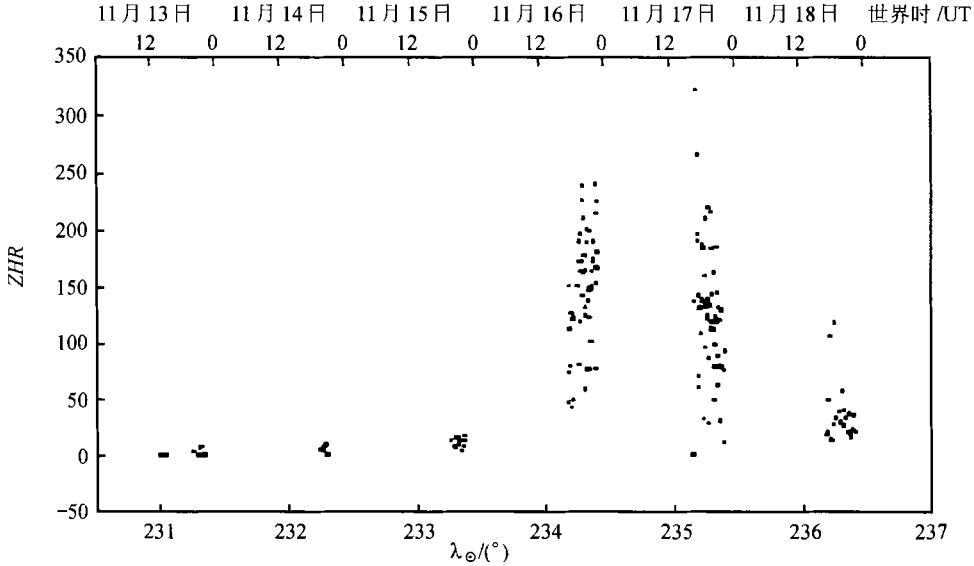


图 1　1998 年德令哈流星雨观测所得的 *ZHR* 分布

综合了赵海斌、Marc 等 6 位观测者的目视观测资料

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

说明如下:

Cp 随观测者而异, 可以用观测偶发流星数目的方法加以量度: 北半球 8 月的或南半球 2 月的晴夜, 地方时间 0 时左右, *Lm* 为 6.5 的条件下, 平均每小时观测到 10 个偶发流星的观测者, 其 *Cp* 为 1.0, 少于 10 者 *Cp*<1.0, 多于 10 者 *Cp*>1.0. 对大多数观测者而言, *Cp* 在 0.4~2.5 范围内[5~7].

γ 又称流星群的星等分布因子χ[8]:

$$\gamma = \chi = n(m+1)/n(m) = \frac{N(m+1)P(m)}{P(m+1)N(m)},$$

其值可以从观测得到的流星数星等分布 $N(m)$以标准可能性函数 $P(m)$修正后导出, 变化范围一般为 1.7~3.8. 对偶发流星而言, γ= 3.4. 这次狮子座流星雨国际联测所得的 γ分布如图 2 所示. 在 $\lambda_\odot$ = 234° ~235° 附近 γ=1.4; 在$\lambda_\odot$ = 235° ~236° 附近 γ = 2.0. 本文的归算取 γ = 1.4. 我们对中国其他地区的目视及雷达观测数据进行归算和研究后发现, 在第 1 个峰值附近, γ 值与上述一致; 在第 2 个峰值附近, 则较上述明显为高, 达 3.43, 反映此时流星群的成分以小颗粒为主.

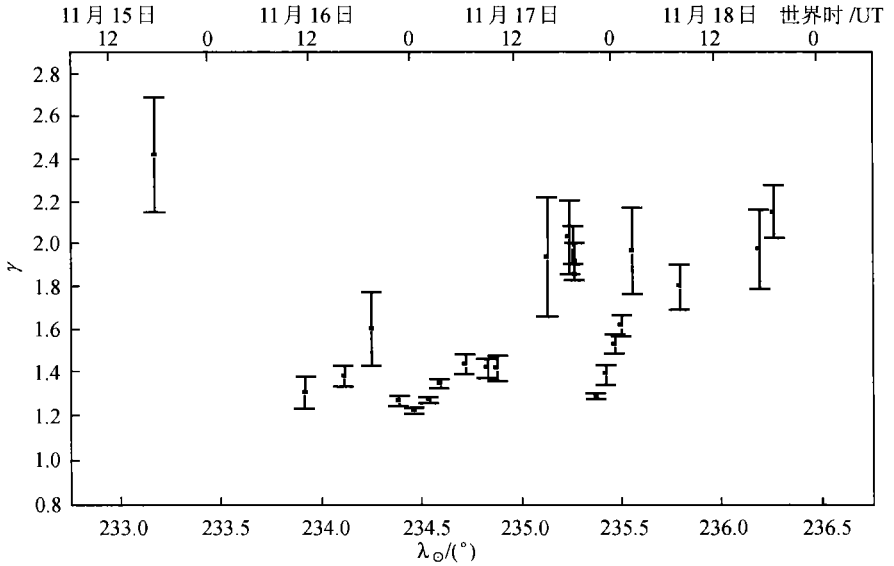


图 2 1998 年狮子座流星雨国际联测归算所得的 γ 分布图

中荷观测队的数据是重要依据

2.2 质量分布

我们观测得到的狮子座流星雨的质量流量分布和流星数按星等的分布分别如表 1 和图 3 所示. 流星的质量与其亮度和视速度间存在下述关系[9, 10]:

$$\log M(m_v) = 6.06 - 0.62m_v - 3.89\log V_\infty(\mathrm{km/s}) - 0.67\log(\sin(hr)),$$

其中 $M(m_v)$是 m_v 等流星的质量, 以 g 为单位; m_v 是流星目视星等; V_∞ 是流星雨的视速度(流星进入大气层时的线速度, 以 km/s 为单位); hr 是辐射点的地平高度. 在一定质量范围内, 可以假设亮度与动能成正比, 并忽略辐射点地平高度的影响(假设 hr=45°), 遂得近似公式:

$$\log M(m_v) = \log M(0) - 0.4m_v,$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 狮子座流星雨的质量流量分布 a)

观测者	观测时段/UT	观测有效时间/h	流星数目	流量/h	流星数目	流量/h	流星密度因子
Marc 赵海斌	13//19:35~22:50	3.10	22	0.033 7	67	50.071	0.001 53
	15//19:00~22:30	3.18	47	0.088 3	72	17.63	0.001 88
	16//17:35~22:50	3.72	508	2 256.356 4	115	10.405	4.441 65
	17//16:30~22:51	5.45	555	3.879	131	6.507	0.006 99
	18//19:38~22:40	2.76	128	40.728	76	6.361	0.318 19
Carl	14//19:08~20:47	1.65	6	0.044	38	2.36	0.007 33
	15//19:52~22:14	2.37	17	0.162	50	4.130	0.009 53
	16//17:22~22:50	4.29	436	1 135.66	58	2.191	2.604 72
	17//16:20~21:15	4.50	182	3.466 7	50	5.345	0.019 05
	18//20:18~22:40	2.37	42	47.247	41	3.249	1.124 93
Jos	14//19:21~20:27	1.17	6	0.079 5	26	2.310	0.013 25
	15//19:27~22:09	2.5	25	0.056 5	42	3.026	0.002 26
	16//17:00~23:02	5.7	783	387.756	152	4.776	0.495 22
	17//16:18~21:27	4.75	312	4.009	98	3.347	0.012 85
	18//16:27~23:00	6.03	154	4.522 4	144	4.471	0.029 37
Marc	15//20:40~22:52	2.2	23	0.153	36	4.251	0.006 65
	16//17:17~22:57	4.14	321	1 618.833 6	55	11.930	5.043 10
	17//17:04~22:27	4.78	193	6.634	79	6.674	0.034 37
	18//17:05~22:17	4.11	47	4.439	54	11.076	0.094 45
Arnold	14//19:45~20:45	1	8	0.048 3	41	3.734	0.006 04
	16//17:00~23:00	6	604	1 068.288	114	3.051	1.768 64
	17//17:00~22:30	5.5	223	6.098	97	3.876	0.027 35
	18//17:15~19:00	1.75	25	1.589	53	22.23	0.06356

a) 分别列出了 Marc 与赵海斌, Jos, Carl, Marc 和 Arnold 观测所得数据. 各列依次为观测时段(UT)与观测有效时间, 该有效时段内狮子座流星的数目与质量流量, 偶发流星的数目与质量流量, 最后一列为相对密度因子, 给出同一观测者在不同观测时段内得到的流星平均密度的比值, 不是真正的流星密度

式中 $M(0)$为 0 等流星的质量. 对于狮子座流星, $M(0)=0.07$ g, $V_\infty=71.95$ km/s; 对于偶发流星, $M(0)=5$ g, $V_\infty=25$ km/s[11].

从图 3 中可以看出, 流星雨的主体部分在 14/15 UT, 15/16 UT 为 4 等星; 16/17 UT 为 1, 2 等星; 17/18UT 为 3, 4 及 5 等星, 故流星平均密度较 16/17 UT 大大降低; 18/19 UT 为 3, 4 等星, 其次为 2 等星, 平均密度比 17/18 UT 有所提高, 但仍比 16/17 UT 低.

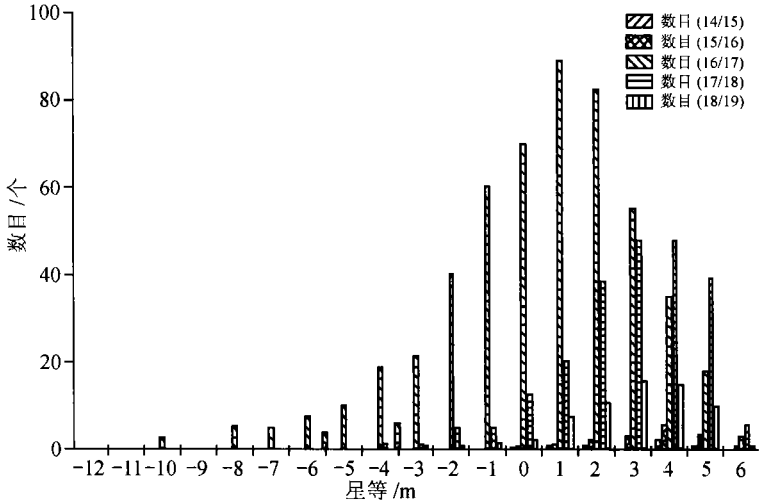


图 3 14 日到 19 日狮子座流星数按星等的分布

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

假设流星体为密度均匀的球体，其密度按亮度的分布为[9, 11]

0.5 g/cm^3: $\log(M(m_v)) = -4 \sim +1$,

1.0 g/cm^3: $\log(M(m_v)) = -8 \sim -4$,

1.5 g/cm^3: $\log(M(m_v)) = -11 \sim -8$.

由此即可归算出狮子座流星与偶发流星亮度和大小的对比关系(表2)，由于狮子座流星的速度较偶发流星为高，同样亮度时其尺度要小得多.

表2 狮子座流星与偶发流星亮度和大小的关系

目视星等 m_v/m	狮子座流星直径 V_∞=71.9 km/s	偶发流星直径 V_∞=25 km/s	类别
			火流星 (fireballs)
<−4	2 cm	9 cm	
< 0	0.6 cm	3 cm	照相流星 (photography)
<+5	1.1 mm	0.5 cm	目视流星 (visual)
<+8	0.4 mm	2 mm	摄像流星 (video)
<+13	100 μm	400 μ	无线电波流星 (radar)
<+18	20 μm	80 μ	行星际物质 (IDP)
<+25	2 μm	8 μ	空间碎片 (spacecraft)

3 结果分析

(1) 本次流星雨发生于地球穿越狮子座流星群带的过程中. 由图 1 可见，从 13/14 UT, 14/15 UT 到 15/16 UT，*ZHR* 值始终低于 25，表明地球已与流星群遭遇，但还没有进入密集区域. 16/17 UT 和 17/18 UT 时段 *ZHR* 值剧增(超过 300)，表明地球已进入并正在穿越密集区域. 18/19 UT 时段 *ZHR* 值回落，地球已经离开流星群的密集区域.

(2) 16/17 UT 地球进入的是狮子座流星群的大颗粒聚集区，我们观测到的流星中亮流星所占的比率很大，仅火流星就有 42 颗之多. 根据 Arlt 的归算[12](见图 4)，峰值发生在 17 日 1^h40^mUT(北京时间 9^h40^m)，我们的观测时段在峰值之前. 由图 1 可以看出，*ZHR* 值在 16/17 UT 呈上升趋势，17/18 UT 呈下降趋势，峰值时刻正好落在 17 日，约在北京时间 17 日上午达到最大，这与国际观测数据一致.

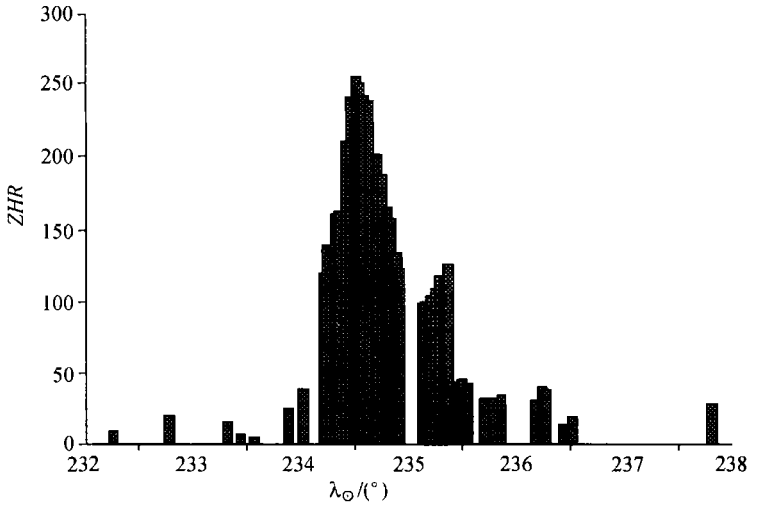


图 4 1998 年国际联测所得出的 *ZHR* 分布

其中包括了中荷流星观测的数据

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3) 17/18 UT 何友文等在我国河南新乡地区用高频天波雷达观测到的流星雨峰值，和文献[3, 13]的预测结果相符，峰值时段出现在17日19:00~21:00 UT(北京时间18日3:00~5:00[14]). 无线电波观测的亮度范围比目视观测为大，可达+13等流星. 18日目视流星的 *HR* 在40~100/h，无线电流星的 *HR* 达到了2 100～2 800/h[14]. 根据往年狮子座流星雨的统计，γ=3.0[15]；而今年11月17/18 UT的 γ 如取2.0，此次无线电观测的极限星等应为+9~+10等星，而且95%以上的流星应落在+7~+10等星之间；γ 如取3.4，则此次无线电观测的极限星等应为+9等星，而且97%以上的流星应落在+7~+9等星之间. 对于在这个星等范围的大部分流星，目视观测是无能为力的，故在此时间段，没有观测到目视流星的峰值.

(4) 由表1可见，虽然各个观测者之间存在系统差，但从每一个观测者的数据中均可得出：16/17 UT和18/19 UT的流星中大颗粒所占的比重较大，单位时间的质量流量较高，17/18 UT的 *ZHR* 值虽然比较高，但是流星群的质量流量较小，说明此时大部分颗粒为小颗粒. 图3也说明了同样的问题. 流星雨的主体部分在14/15 UT，15/16 UT为4等星；16/17 UT为1, 2等星；17/18 UT为3, 4及5等星，故流星平均密度较16/17 UT大大降低；18/19 UT为3, 4及2等星，平均密度比17/18 UT有所提高，但仍不及16/17 UT. 我们认为此次地球所穿越的流星群带按颗粒的分布呈3层结构：第1层流星颗粒数目多且大颗粒丰度高，第2层颗粒数目更多但以小颗粒为主，第3层离开流星群带中心较远，流星的数目较少，但大颗粒相对较多.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号：19873020)和中国科学院天文口经费资助项目. 1998年中荷狮子座流星雨联测是在中国科学院和荷兰皇家科学院的的共同支持下实现的. 美国航天航空总署也给予了多方面的支持. 感谢P. Jenniskens的大力支持，同时感谢Carl Johannink, Arnold Tukkers, Romke Schievink, Jos Nijland, Robert Haas, Koen Miskotte 和 Casper ter Kuile 参加观测. 感谢紫金山天文台德令哈射电天文观测站的雷成明站长提供的帮助.

参 考 文 献

1 Williams I P. The Leonid meteor shower: why are there storms but no regular annual activity? MNRAS, 1997, 292: L37~L40
2 Asher D J, Bailey M E, Emel'yanenko. Resonant meteoroids from Comet Tempel-Tuttle in 1333: the cause of the unexpected Leonid outburst in 1998. MNRAS, 1999, 304: L53~L56
3 Yeomens D K, Yau K K, Weissman P R. The impending appearance of Comet Tempel-Tuttle and the Leonid meteors. Icarus, 1996, 124: 407~413
4 Langbroek M, Zhao Haibin. Leonid meteors 1998. IAU Circular 7052, 1998, 17
5 Jenniskens P. Meteor stream activity Ⅰ. The annual streams. A A, 1994, 287: 990~1013
6 Jenniskens P. Meteor stream activity Ⅱ. Meteor outbursts. A A, 1995, 295: 206~235
7 Langbroek M. Leonid outburst activity 1996: A broad structure and a first occurrence of a narrow peak of fainter meteors. Meteoritics & Planetary, 1999, 34: 137~145
8 Kresakova M. Magnitude distribution of meteors in meteor showers. Contr Ast Obs Skalnate Pleso, 1996, 3: 75~108
9 Jenniskens P, de Lignie M, Betlem H, et al. Preparing for the 1998/99 Leonid Storms. Laboratory Astrophysics and Space Research. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 425~455
10 Jacchia G J, Verniani F, Briggs R E. An analysis of the atmosphere trajectories of 413 precisely reduced photographic meteors. Smithson Contrib to Astrophys, 1967, 10(1): 1~139
11 McDonnell J A M, Gardner D J, McBride N. Recent near earth satellite flux data: contributions in the definition of the interplanetary flux at 1 AU heliocentric distance. ASP Conference Series, 1996, 104: 193~200
12 Arlt R. Bulletin 13 of the international Leonid watch: The 1998 Leonid meteor shower. WGN, 1999, 26(6): 239~248
13 Zidian W, Willianms I P. Leonid meteor storms. MNRAS, 1996, 280: 1210~1218
14 何友文. 1998年狮子座强流星雨的无线电观测. 电波科学学报, 1999, 14 (Sup.): 8~11
15 McIntosh B A, Millman P M. The Leonids by radar. Meteoritics, 1970, 5: 1~18

(1999-11-22收稿, 2000-01-17收修改稿)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net