第 21 卷 第 2 期 天 文 学 进 展 Vol.21, No.2
2003 年 6 月 PROGRESS IN ASTRONOMY Jun., 2003

流星电声响研究

吴 光 节

(中国科学院国家天文台云南天文台 昆明 650011)

摘 要

对有关电声响 (Electrophonic sounds) 研究的历史和现状做一综述。早在公元前，我国就有关于流星声音的记录。近 20 年来，对流星电声响的报道与研究有了很大进展。电声响被定义为由电磁辐射直接转换成的可听见的声音。据报道，大的流星火球、非常明亮的北极光、附近的强闪电、地震以及核爆炸等，都可能产生电声响。但是，由于这些事件的罕见性、偶发性以及物理过程的特殊性，电声响无论在观测上，还是在理论研究方面都有很大的难度和许多至今仍未解决的问题。

关 键 词 天体物理学 — 电声响 — 综述 — 流星 — 电磁辐射

分 类 号 P185.82

1 引 言

1998 年 11 月，克罗地亚物理学会和美国肯塔基大学的几位科学家组织了到蒙古的远征。作为国际狮子座流星雨联测克罗地亚计划 (ILWC) 的一个小组，他们第一次不只是用仪器，而且同时用目视观测和视频观测记录到了来自流星火球的、被称作“电声响 (Electrophonic sounds)”的奇妙声音。完整的数据分析表明，有两次短暂的低频电声响同时被不同的观测者听到，并且通过麦克风被记录了下来。产生电声响的火球之一，其最大亮度为 -6.5 mag，在听到声音时其亮度只有 -1 mag，当时它位于 100 km 高空。另一个火球的亮度为 -12 mag，有 6 个观测者同时听到了低沉的、“砰”的电声响。在事件发生的同时，仪器并没有记录到任何高于 500 Hz 的极低频 / 甚低频 (ELF/VLF) 电磁辐射信号。这说明电声响的频率的确非常低。它最可能是流星火球与大气电荷以及大气电离层耦合产生的现象，但是还无法用已有的理论对观测结果进行完满的解释 [1,2] 。这次观测为解开长期以来的电声响之谜提供了线索。

“电声响”首先由 Stevens [3] 于 1937 年引入。 3 年之后， Dravert [4] 引入了“电声响火流星”一词。这一领域的研究者们相信，有很多关于电声响的记载还埋藏在像阿拉伯、中国这样的文明古国的历史记载中。

追溯历史，早在公元前 648 年的春秋时期，我国就有“星昼陨于秦，有声”的记录。此后，

2002-08-12 收到 2002-11-28 收到修定稿

更加细致地有“啾啾有声”、“有声如撒沙石”、“声如水鸭飞状”、“如雷在水底鸣”等对伴随流星的声音特征的描述，以及“忽觉天半砰锵有声，甚厉，矫首正见一星南坠”、“忽有声如雷，但见一星如斗，从西至东北而坠”等对过程的描述。说明在看到流星的同时，的确可能听到奇妙的声音，而且听到这种声音还可能先于看到这颗流星[5,6]。

本文将对有关电声响研究的历史和现状做一综述。

2 流星电声响的早期历史

要让科学家相信在看到流星的同时就听到声音，并非易事。意大利的 Montanari 在谈到 1676 年 3 月 21 日发生在意大利境内的流星雨时，已经对有关嗞嗞的流星声音的报道表示难以置信。著名天文学家哈雷[7]也认为这只不过是观测者的臆想。众所周知，流星一般在 80~100 km 的高空烧蚀瓦解，只有石质和铁质的流星体才可能穿透到 50 km 以下的空中。声波，就像雷声的传播一样，需要好几分钟的时间才可能从看到的流星位置传播到观测者附近。因此科学家很久以来一直认为，说听到了响声，纯粹是观测者在看到一颗明亮流星时候的心理作用[8]。

相信这些报道的物理学家则求助于电声响的解释。电声响现在被定义为由电磁辐射直接转换成的可听见的声音。几百年前，有关流星雨的起源还很不清楚。亚里士多德认为流星是大气中的现象，这个观点被广泛接受。 1783 年 8 月 18 日，一篇有关来自一颗明亮火流星的瞬间嘶嘶声的报道，使 Blagden[9] 在 1784 年提出，这就是“流星的电起源”。事实上，当时有关电学的知识还不完善。 Blagden 认为，这是“电的流动”。按照这一说法，电的流动当然就比声音快了，观测者有可能早早听到流星电声响。

对流星雨起源研究的真正突破，是在 1833 年狮子座流星暴发生以后。 Olmsted[10,11] 在对大量的观测报导研究之后，求出了流星的高度和运行轨道，认为流星雨是一些低密度物体，来自太空；它们冲进地球大气层，燃烧发光。 Olmsted 还给出了很多目击者对瞬间声音观测的详细的综合报告。不过，人们的注意力完全集中在了 Olmsted 令人信服的观点，即流星体来自太空，而对他的流星是否有电声响的想法却忽视了。

20 世纪中，有关流星电声响的观测列表不断增加。最有影响的是 RAND 有限公司 Romig 和 Lamar[12] 的报告，它在西方广泛被认为是这一领域的权威性报告。俄罗斯则主要进行理论方面的研究工作，并且常常从 1908 年的 Tuguska 爆炸得到灵感。

1917 年，美国德克萨斯州有很多目击者看到了一颗十分明亮的火流星。工程学教授 Udden 会见了不少目击者。目击者中有人感觉到“声音来自接近地面的物体”，这使得 Udden[13] 认为，或许应当去寻找大气中的波 —— 它们与地面上的物体相遇，比如说植物或者人造建筑物，使有一部分波转换成了声波。

流星能够产生无线电波，是由 Kalashnikov 在 1947 年最早验证的。 Kalashnikov[14] 在流星发生时探测到了频率为 1 Hz 的超低频无线电 (ULF) 脉冲。但是其他观测者在 20 世纪 50 年代进行的类似观测中，却没有得到肯定的结果。事实上，有不少作者也已经谈到了明亮火流星的电场效应，例如：它如何扰动地球电场，产生纯粹的静电放电以及伴随流星活动的微弱磁脉动。至于听到位于头顶上空的流星的短暂嗖嗖声，也是有报道的[15~19]。棘手的问题是，

火流星怎样发出电磁辐射？这些辐射又怎样转换成声音？

3　Keay 的研究及近 20 年来的突破

转折点始于 1980 年，澳大利亚的 Keay [20,21] 提出了流星发射 ELF/VLF 无线电波的理论。这要从悉尼火流星谈起。 1978 年 4 月 7 日是个无月的夜晚。日出之前 90 min ，一颗十分明亮的火流星冲进了澳大利亚首都悉尼和新南威尔斯州 Newcastle 城的上空，其亮度大约为 -16 mag ，流星体未及爆炸碎裂就落入了大海。成千上万的人看到了这一火球，在 Newcastle 还有几十位目击者报告说听到了声音。有的听到嘶嘶声，有的听到嗖嗖声，有的听到像暴雨的唰刷声，有的听到像一列火车的轰隆声，有的听到像烤猪肉脆皮的声音。有的目击者说声音只发生在火流星闪光或者爆炸的瞬间，有的说在看到闪光大约几 ~10 s 之前就听到了声音。火球的光芒大约延续照耀了 20 余 s ，而听到的声音最长只有两三秒钟。火球在最亮的时刻碎裂成几块。看到大火球的目击者中，只有约 4%~8% 的人说听到了电声响，而其他人除了几分钟后由声波传来的隆隆声之外，什么也没有听到 [22] 。

Keay 在访问西安大略大学物理系的时候， Parker Alford 对他的想法非常感兴趣，鼓励他使用该系的消音实验室进行人体试验，测量人体对以音频频率变化的电场和磁场的感应。他们的试验说明，人体对以音频频率变化的磁场是没有反应的。但是对电场，有 3 位测试者明显比其他人要敏感得多。其中一人可以感觉到 160 V/m 强度、 4000 Hz 的交变电场的影响。事实证明他们的头发是敏感的转换器。同时，当 Keay [20] 本人作为测试者第二次进行验证试验，将原有的电场信号强度提高 3~4 dB 时，因为他这一次没有戴上眼镜，偶然地发现：交变电场的变化会引起小物件的共振，发出声波，被人耳听到。若要听到电声响，静电场的强度变化必须在 160 V/m 以上。这一发现表明，目击者身边很普通的物件就会有助于他们对来自火流星电声响的感知。在回到 Newcastle 之后， Keay 的研究生又在消声实验室进行了包括各种植物在内的普通物体对电声响的转换效率的测试。这些实验详细地解释了为什么电声响会如此反复无常。

Keay 提出的流星可以发射 ELF/VLF 无线电波的理论解释，来自 Fred Hoyle 的太阳黑子理论的启发，并由俄国理论物理学家 Bronshten 建立了理论模型。这一理论认为，一颗熔融了的流星体等离子体尾，在地球大气中也充满了地磁场的磁力线。高度电离、湍动的等离子体很快使冻结在其内的磁力线扭成一团乱麻。随着等离子体的快速冷却，离子也复合成中性分子，磁场突然几乎降到零，磁力线的弹出即可产生所需要的无线电波。很快， Bronshten [23] 计算出，一颗 -12 mag 的流星就完全可能有效地产生出电声响。

1991 年， Bronshten [24] 又发表文章，对已有的、有关流星电声响和 VLF 辐射机制的重要观测事实以及已经存在的理论，进行了很有价值的综述和评价。他认为，所有已经提出来的理论模型都还太简单，不足以解释观测到的现象。未来考虑等离子体动力学方程的数值计算模型，有可能给出精确的结果。

1992 年， Keay [25] 改进了他的理论，阐述了一颗亮的火流星是在比它爆炸瓦解瞬间还要稍早一点的时刻发出 VLF 辐射的。不过，他的理论仍然要求流星的运动比较慢，而且在较低层大气中烧融。但是，有些电声响火流星，比如说狮子座流星，不但运动很快，而且是在高层

大气中烧融的。

有关流星电声响的报道和研究仍不绝于耳[26~29]。1998 年 4 月 15 日的 Vancouver 岛火球，有约 10 位目击者在不同的地点同时听到了声音。其中两位也是在听到了头顶上的呼呼声、并且向上看的时候，看到了火球。另一位妇女竟然是在房门内听到窗户响，以为是地震，跑到外面看到了火球 —— 而这并不是真正发生在头顶上，它与目击者的距离大约在 200 km[30]。对明亮火流星还进行过次声波的研究[8]。1999 年狮子座流星雨期间，美国宇航局曾经在马歇尔空间飞行中心释放高空气球，搭载着对 10000 Hz 以下的无线电信号敏感的甚低频 (VLF) 无线电波接收机，到地球大气的平流层去探测流星产生的信号。但是，在 ILWC 小组之前，被仪器记录到的事件只有两次。一次是 1981 年 8 月 13 日，由 Watanabe 等人[31] 记录到的亮度为 −6 mag 的火球事件。Watanabe 在名古屋大学展示了记录到的 VLF 图，以及由 Okada 博士得到的射电谱图，和由 Suzuki 得到的有精确时间标度的火球照相测光资料。另外一次，是 1993 年 8 月 11 日由 Beech 等人[32] 记录到的 −10 mag 的火球事件，这次事件探测到了 VLF 无线电发射。观测表明，大的流星的确可能产生音频频率的电磁辐射。由 Kaznev[27] 所做的统计工作可以看出，著名的狮子座流星雨产生的电声响的报道并不多，最多的还是在 8 月的英仙座流星雨期间，如上面两次仪器记录均在 8 月。

4 与电声响有关的声音特点

Keay 在渥太华工作的时候，就曾广泛地搜集关于听觉实验、心理声学、生物物理电声响等各方面的研究报告。在分析了众多的目击报告之后，他把目击者听到的声音分为 3 类：尖锐的、断续的以及平缓的。尖锐的包括砰然声、劈啪爆裂声、突然巨响和隆隆声，通常伴随着突然的闪光或爆炸的碎块，其火球一般不需要足够大也不需要足够亮；平缓的包括烤猪肉脆皮的声音、像一块热铁丢到水里的嗞嗞声、沙沙声等；断续的则似乎是尖锐声与平缓声的混合。

也有人将电声响分为 I、II 两型。I 型时间较长，“嗖嗖” 声或者是 “噼啪” 爆裂声，常伴随慢的、但是极亮的流星；II 型时间短，低沉的 “砰” 声或者是调子稍高一点的 “滴答” 声，常伴随速度快的火流星[1,25,33]。Keay[20] 提出并由 Bronshten[23] 计算的模型，基本上能够解释 I 型电声响 —— 它要求流星亮于 −12 mag，能够深入到离开地面只有 20 km 的低空。对于 II 型，Keay[25] 后来修改了他的模型：VLF 无线电波在火球碎裂爆炸中产生。这样，流星就可以暗于 −6 mag。此后，Beech 和 Foschini 又提出了新的模型来解释 II 型电声响的产生。他们认为，高速运动的流星在碎裂时产生激波，激波冲击了流星体后面的等离子体尾迹，使等离子体中产生梯度很大的压力、温度等物理量的变化。由于电子和离子有不同的质量，质量轻的电子气相对于离子气有大得多的运动速度，倾向于被推向激波前峰，而与速度慢的离子分离。电荷分离形成快变和高强的电场。但这种分离是不稳定的，电荷也可能会立即复合，并由此产生低频的电磁辐射。按照这一模型计算出一颗 −6.6 mag 的流星就可能产生电声响。当流星的电子密度达到 10^{20} m^{-3}，目视绝对星等达到 −10 mag 时，电场强度应该有 2500 V/m，这与 1993 年 8 月 11 日的火球事件 (2000 V/m) 符合得比较好[32,33]。Beech 等人[34,35] 进一步计算出，要产生电声响，流星等离子体柱的雷诺数必须达到 10^6 以上，磁雷诺数大于 1。对于英仙座和狮子座流星雨，相应的流星体的尺度大约应为 1 m 量级。

图 1　远程雷电的时间序列频谱 [43]
所有频率的波几乎同时到达。

图 2　吱声的时间序列频谱 [43]
在 2000~3000 Hz 处色散特别明显。

图 3　哨声波的时间序列频谱 [43]
色散很大，不同频率的波先后到达。

物理学一般将低频辐射分为甚低频 (VLF， 30000~300 Hz) 、极低频 (ELF， 300~10 Hz) 和超低频 (ULF， <10 Hz) 。这一无线电波段充满了像远程雷电、吱声、哨声等天电干扰和大气干扰信号。它们是通过地球大气电离层和磁层传播的声频范围的电磁波 [36] 。这 3 种波常常是远距离闪电激发的脉冲信号。引起远程雷电的闪电常常在距离接收机数千公里之外，远程雷电的频率可以在几至几百万赫兹。人耳能够听到 15000 Hz 以下的远程雷电声音。在时间序列的频谱中，它常常几乎是一条垂直线，表明所有频率的波几乎同时到达 (图 1) 。其声音有点像树梢突然折断，或者是尖锐的烤猪肉脆皮的声音；吱声则产生于比数千公里更远的闪电，甚至可以绕半个地球 (20000 km) 。其在向远距离传播过程中， VLF 无线电波发生了色散 —— 即较高频率部分比较低频率部分传播得要稍微快一点。特别是在 2000~3000 Hz 波段处，更加突出。因此在声谱图上，在较高频率处呈一段垂直线，到大约 2000 Hz 处出现一段弯曲的钩子 (图 2) ；哨声波在适当的条件下，可能离开地球，然后又沿着地磁场的磁力线返回地球。在远距离传播中，它产生的色散比吱声还要大。因此在频谱图中，比吱声还要倾斜和弯曲得多，显示其不同频率的波是先后到达的 (图 3) 。频谱图上这种形式的弯曲表现为一种下滑调，其声音听起来像短暂悦耳的鸟叫，可以维持 1 s 至几秒。

5 其它物理现象中的电声效应

现代观测认为，大的流星火球、非常明亮的北极光、远处的强闪电以及地震 (震前引起动物警觉) 等等，都可能产生由电声效应引起的电声响。

核爆炸在引爆时，会产生剧烈爆发的等离子体。核爆炸实验场掩体内的士兵，曾有人听到“滴答”声。 1965 年 Johler 和 Morganstern 的文章揭示出核爆炸冲击波的能量峰值大约在 12000 Hz (图 4), 并认为冲击波对地磁场的扰动是产生电磁辐射的机制之一。

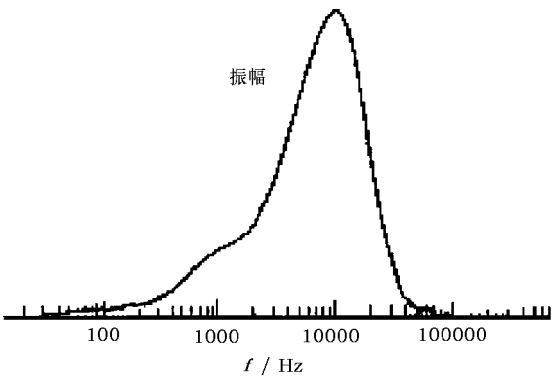

图 4 核爆炸冲击波的频谱分布 [44]

其能量峰值约为 12000 Hz 。

北极光的声音也像火流星的电声响那样难以捉摸。古代就有关于北极光声音的传说，说那是死去的爱斯基摩人在切切私语。罗马历史学家 Cornelius Tacitus (公元 56~120 年) 的著作《 Germania 》中，有从德国北部地区来的人听到过北极光声音的描述。那是微弱的嗖嗖声、嘶嘶声、叹息或者沙沙声，并且随着北极光亮度的变幻莫测而一起一伏。大部分的描述都使人觉得与不可思议的火流星电声响太相似了。加拿大多伦多大学的 Chant 教授花了他后半生的精力，也没有找到能够解释全部问题的钥匙，只是认为电刷放电现象可能最接近事实。

美国北达科他州的 Jay Brausch 拍到过北极光一夜接一夜的形态变化，它被认为是最完整的北极光调查资料。 Jay Brausch 见过最壮观的北极光，但是他却没有听到过北极光奇异的声音。从调查“听到过声音”的人的描述来看，这种声音有点类似 ELF/VLF 无线电接收机听到

的声音。直到近年，记录北极光声音才有了一点结果。丹麦科学家 Eigil Ungstrup 曾经使用用于探测电离层的、有着巨大天线的无线电设备记录北极光的声音。当他把一个麦克风放在天线焦点上时，竟然记录到了北极光的嘶嘶声。

北极光无线电信号接收的卓越例子，是由美国爱荷华大学物理系的 Stephen McGreevy 创下的。他设计制作了一个特殊的接收 ELF/VLF 信号的无线电接收机，以 11000 Hz 的频率采样到计算机。1993 年 8 月 18 日美国太平洋时间 7:30，在俄勒冈州东南部的 Alvord 沙漠，正当一个大磁暴发生时，一个特征非常类似于听觉的信号被记录到了。该信号是由明显的嘶嘶声以及由远处的闪电引起的多次天电声 (类似“砰、砰”的声音) 组合而成。就像某些“听到过声音”的人们所报道的那样，随着嘶嘶声每 3∼4 s 周期性的慢波动，地磁场表现出非常明显的短暂微脉动。

非常有趣的是，Blagden [9] 在 1784 年就曾将流星的电声响与北极光的声音进行过比较，并且得出北极光的高度比流星还要高的结论。这是历史上第一次将这两个物理现象连在一起，并试图用同一理论解释它们的声音。

高速进入大气的其它物体也可能产生电声响。1984 年 11 月 16 日，当 ST5–51A 计划的航天飞机再次进入大气层的时候，有很多目击者也听到了“嗖嗖”的电声响 [37]。同样，Molniya 1–67 卫星在澳大利亚上空再次进入大气层的时候，不仅产生了电声响，而且还造成了低于 10 Hz 的地磁场扰动 [28]。

6　目前的困难

有关电声响的历史虽然悠久，但是只有在近 20 年，这些声音的存在才可以说是比较可信的 [20∼26,38]。不过，至今仍不能让所有的人都确信它的存在。

至于理论上的研究，也存在着同样多的问题。Kaznev [27] 于 1994 年进行的统计工作表明，流星的电声响有着多样化的特性，他认为 -12 mag 的流星才可能产生电声响的结论并不准确 [39]。1999 年，Beech 和 Foschini [33] 提出的电声暴 (Electrophonic Bursters) 模型，也依然不能解释电声响的多样化特性。Keay 的湍动等离子体理论仅仅有利于解释声音较长的大火球；而 Beech 的脉冲模型则仅仅有利于解释亮度和质量均较小的火球。

事实上，足以产生电声响的明亮流星火球的观测资料就不够充足。这种事件的出现是罕见的。按照 Keay 和 Ceplecha [40] 的估计，一个人若耗尽他一生的夜晚去观测流星，才有可能听到一次电声响。尽管 Beech 等人已经在 Regina 大学建立了全天候摄像机加麦克风声音记录系统，成效依然不大。至今，来自流星的 ELF/VLF 辐射的观测样品还是太少，很多物理性质还很不清楚 [23,25,32]。在 Beech 等人 [32] 所报道的明亮火球中，有的火球并没有被听到有电声响。1998 年在蒙古的观测，同样亮度的火流星中多数也并没有听到电声响 [1]。究竟流星在什么时候才产生这样强的 ELF/VLF 辐射？在什么样的条件下才容易听到电声响？观测者的报告对于研究依然是非常有价值的。

这次远征蒙古的科学家 VinKovic 等人 [41] 近年来建立了“全球电声响火流星调查 (Global Electrophonic Fireball Survey，简称 GEFS)”组织，这也是美国肯塔基大学计算科学中心的一项研究计划。其目的在于收集流星电声响的目击报告，以进行相关研究。他们收集的数据，

一般在《GEFS 通讯》以及国际流星组织的刊物 WGN 上发表。

现在认为，完全解释流星电声响所面临的困难是[42]：

(1) 电声响事件非常罕见，听到它的人很少；

(2) 同一组观测者里面，并非所有的人都听到了电声响 (有时候是)；有时候只有一两个人说听到了，而其他人还会嘲笑他 (们)；

(3) 电声响的能量传播是瞬间的，即以光速传播。但是，除了静电学的“电刷放电”，还没有其它的电磁扰动可以产生声音。而这样的放电不能传播到 300 km 以外；

(4) 难以探测到火流星的电磁扰动，说明动能转换成无线电波的效率极低；

(5) 火流星产生强的电磁辐射的物理机制还并不十分清楚；

(6) 电磁辐射直接转换成声音的方法还不够清楚。

因此，对电声响的研究和解释仍有待时日，还需要观测、实验室和理论各方面大量的工作。诚然，这也就意味着其前景是十分广阔的。

参 考 文 献

1 Zgrablic G, Vinkovic D, Gradecak S *et al.* JGR, 2002, 107, NO. A7, 10.1029/2001JA000310
2 Garaj S, Vinkovic D, Zgrablic G *et al.* FIZIKA, 1999, 8: 91
3 Stevens S S. J. Acoust. Soc. Am., 1937, 8: 191
4 Dravert P L. Byull. Tsentr. Komis. po Meteoram, Kometam i Asteroidam Astrosoveta Akad. Nauk SSSR, 1940, 18: 1
5 北京天文台编. 中国古代天象记录总集，南京：江苏科学技术出版社， 1988: 577
6 吴光节，张周生. 天文学报， 2003, 待发表
7 Halley E. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 1714, 29: 159
8 Ceplecha Z, Borovicka J, Elford W G *et al.* Space Sci. Rev., 1998, 84: 327
9 Blagden C. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 1784, 74: 201
10 Olmsted D. The American Journal of Science and Arts, 1834, 25: 363
11 Olmsted D. The American Journal of Science and Arts, 1834, 26: 132
12 Romig M F, Lamar D L. The RAND Corporation, RM-3724-ARPA, 1963
13 Udden J A. Science, 1917, 46: 616
14 Kalashnikov A G. Doklady Akad. Nauk SSSR, 1949, 66: 373
15 Astapovich I S. Meteoritika, 1951, 9: 71
16 Hawkins G S. Nature, 1958, 181: 1610
17 Hawkins G S. ApJ, 1958, 128: 724
18 Jenkins A W Jr, Phillips C A Jr. JGR, 1960, 65: 1617
19 Campbell W H. JGR, 1960, 65: 2241
20 Keay C S L. Science, 1980, 210: 11
21 Keay C S L. J. R. Astron. Soc. Can., 1980, 74: 253
22 Keay C S L. Nature, 1980, 285: 464
23 Bronshten V A. Sol. Syst. Res., 1983, 17: 70
24 Bronshten V A. Sol. Syst. Res., 1991, 25: 93
25 Keay C S L. Meteorit. Planet. Sci., 1992, 27: 144
26 Keay C S L. WGN, 1994, 6: 151
27 Kaznev V Y. Sol. Syst. Res., 1994, 28: 49
28 Verveer A, Bland P A, Bevan A W R. Meteorit. Planet. Sci. Suppl. Ser., 2000, 35: A163

29 Drummond J, Gardner C, Kelly M. Sky Telesc., 2000, 99(6): 46
30 Tatum J B, Stumpf L L. PASP, 2000, 112: 1487
31 Watanabe T, Okada T, Suzuki K. HAM Journal (Japan), 1988, 54: 109
32 Beech M, Brown P, Jones J. Earth, Moon, Planets, 1995, 68: 181
33 Beech M, Foschini L. A&A, 1999, 345: L27
34 Beech M. AJ, 1998, 116: 499
35 Beech M, Nikolova S. MNRAS, 1999, 305: 253
36 傅承义，秦馨菱编．中国大百科全书，固体地球物理学卷，“哨声和甚低频发射”条目，北京：中国大百科全书出版社，1985: 344
37 Keay C S L. Sky Telesc., 1985, 84(12): 623
38 Keay C S L, Ostwald P M. J. Acoust. Soc. Am., 1991, 89: 1823
39 Keay C S L. Earth, Moon, Planets, 1995, 68: 361
40 Keay C S L, Ceplecha Z. JGR, 1994, 99(E6): 13163
41 Vinkovic D, Andreic Z, Garaj S *et al*. WGN, 2000, 28: 48
42 Keay C S L. Electrophonic Explanation Difficulties, http://users.hunterlink.net.au/~ddcsk/expldifs.htm
43 http://image.gsfc.nasa.gov/poetry/inspire/Basic.htm
44 http://users.hunterlink.net.au/~ddcsk/solutio1.htm

Electrophonic Sounds in Meteors

Wu Guangjie

(*National Astronomical Observatories/Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011*)

Abstract

Recordings about the sounds of meteors existed in ancient Chinese literature before Christ. During recent two hundreds years, especially, recent twenty years, reports and investigations about Electrophonic meteors and Electrophonic sounds have been developed largely. Electrophonic sounds are defined as sounds produced by direct conversion of electromagnetic radiation into audible sounds. It is thought that Electrophonic sounds may be induced in events of bolide, very bright auroral display, nearby strong lightning, earthquake and nuclear explosion. However, on account of its unusually rare chance and its particular physical course, no matter in observations or in theoretical study, there are many difficult and unresolved problems. The historical and present situations about Electrophonic sounds are summarized in this paper.

Key words astrophysics—Electrophonic sounds—review—meteors—electromagnetic radiations