

1994 年彗-木碰撞期间引力波天线的响应*

潘智刚 于 珀 胡恩科

(中山大学物理学系, 广州 510275)

摘 要 介绍中山大学室温引力波检测器近年来在数据录取和处理方面的改进, 并用以分析 1994 年 7 月苏梅克-列维 9 号彗星与木星碰撞期间的记录, 结果未能证实有来自碰撞的引力辐射.

关键词 引力辐射, 碰撞, 苏梅克-列维 9 号彗星(SL9)

分类号 O 412

1994 年 7 月 17 日至 22 日, 苏梅克-列维(Shoemaker-Levy)9 号彗星[SL9]的 19 个碎片先后与木星碰撞, 其中最大的碎片直径达 4 km, 碰撞速度达 60 km/s, 为观察这些事件与引力辐射的相关性, 对广州引力波检测器在此期间的响应进行分析, 结果未能证实有来自碰撞的引力辐射的响应.

1 经典引力辐射强度估计

广义相对论预言的引力辐射决定於辐射系统质量四极矩张量对时间的 3 次导数.

$$-dE/dt = (G/45c^5) \ddot{Q}^{\mu\nu} \ddot{Q}_{\mu\nu} \quad (1)$$

为估计碰撞辐射的引力波强度, 应用(1)式计算旋转四极体系的引力辐射, 并推广至一般体系, 得出引力辐射能量计算公式为⁽¹⁾:

$$\left| \frac{dE}{dt} \right| = \frac{512\pi^2}{180} \left(\frac{G}{c^5} \right) \left(\frac{mv^2}{T} \right)^2 \quad (2)$$

式中 G 为引力常数, c 为光速, m 为碰撞体质量, v 为碰撞速度, T 为辐射特征时间, 定义为能流通过碰撞系统的时间, 设彗星的几何尺度为 L , 则 $T = L/v$. 已知最大的彗星碎片直径约 4 km, 主要由冰及沙砾组成, 平均密度 $\rho = 2.0 \text{ g/cm}^3$ 即 $m = 6.7 \times 10^{16} \text{ g}$, $T = 0.067 \text{ s}$, 代入(2)式, 可得引力辐射功率 $|dE/dt| \approx 1.0 \times 10^{-2} \text{ J/s}$

已知木地距离 $R = 7.2 \times 10^{11} \text{ cm}$, 设辐射在空间均匀分布, 则到达地面的能量通量

$$I = \frac{dE/dt}{4\pi R^2} \approx 1.5 \times 10^{-27} \text{ J/s} \cdot \text{cm}^2 \quad (3)$$

相应的引力辐射强度

$$h \approx (32 \pi G I T^2 / c^3)^{1/2} \approx 4.1 \times 10^{-30} \quad (4)$$

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1995-03-13 潘智刚, 男, 27 岁, 硕士研究生

2 广州引力波检测器

广州中山大学常温共振型引力波检测器建立於 1985 年^[2], 脉冲引力波检测灵敏度为 $h=2.0 \times 10^{-17}$. 与之比较, 目前的检测器有如下的不同:

(1) 由于压电陶瓷换能器(PZT)所用粘胶时效的影响, 目前检测器的灵敏度为 $h=3.8 \times 10^{-17}$.

(2) 为解决因环境温度改变, 天线共振基频漂移而影响测量灵敏度, 经前置放大后的天线讯号, 不采用相关接收而应用线性检波接收方法^[3].

(3) 计算机连续自动记录全部原始数据, 然后按需要将记录的数据进行处理, 这有助于保留全部原始讯息, 也便于用不同数据处理方法进行比较.

(4) 数据取样时间采用北京时间 24 小时制记时, 标准钟与我国陕西短波授时台对准.

检测器方块结构示于图 1.

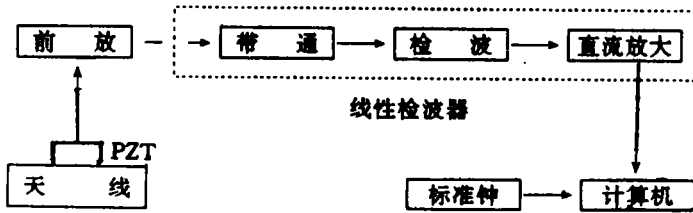


图 1 用线性检波的引力波检测器方块图

Fig. 1 Block diagram of the gravitational wave detector using a linear filter system

3 数据处理

3.1 数据记录 自 7 月 17 日 01 时~23 日 11 时, 除为保持系统真空度而停机抽真空共 18 h 外, 实际记录数据时间为 136 h.

3.2 数据段 根据紫金山天文台行星室提供的国际协调数据, 从 17 日 04 : 11~22 日 16 : 06 : 12, 共有 19 个彗星碎片与木星相碰撞, 以碰撞讯号发生并传播到地面的时刻为中心, 取前后各 1 h 的数据为一数据段, 共 19 个数据段, 加上碰撞前后(17 日和 23 日)的同样时间间隔的两段, 共取 21 个数据段进行分析和比较.

3.3 干扰的剔除 分析原始数据和在实验过程中的监测均发现有强电干扰现象, 这是由于电路测量系统接地不良及供电电源的浪涌电压所引起. 为剔除这类干扰而又保留有用的天线讯号, 使用了多种干扰剔除方法, 最后选用的方法是: ①检查数据段所有数据, 以置信度 99.5% 为标准提出可疑数据, ②根据电磁脉冲 Q 值小于天线讯号 Q 值因而有不同的衰减时间这一特点, 对可疑数据及其邻近值进行比较判断, 只保留具有天线衰减特征的可疑数据及其邻近值, 而舍去其它的可疑脉冲数据串.

3.4 能谱统计分布曲线和超阈数值 已知天线热噪声的能谱服从玻尔兹曼分布, 将数据段的数据按能量不同作能谱分布曲线, 将有助于从噪声中提取讯号, 碰撞期间的一段能谱分布曲线如图 2 所示, 曲线峰值左边反映不存在零值附近的输出, 这是由于线性检

波只取输出的单向包络, 低能值出现频数低, 如被测讯号是天线的热噪声, 曲线右边的点应接近于直线分布, 偏离直线的点, 则可能是来自引力波或外来干扰所产生的输出, 在能谱分析过程中, 计算机自动记录和打印这些“高能”输出讯号, 并称之为超阈数据, 阈值可按具体情况设定.

4 结果及讨论

检查全部碰撞事件发生期间的 19 个数据段和 2 个作为比较的没有碰撞事件发生期间的数据段, 只有在 7 月 18 日 15:33 的一段中出现一个与第 15 号彗核碰撞时间相关的超阈事件.

15 号彗核与木星碰撞发生于北京时间 15:33:32(±1min), 考虑引力波讯号由木星传播到地球的时间约 43 min, 碰撞讯号到达地面时间应为 16:16 左右, 观察此时刻前后的数据, 在 16:16:38~40 期间内有一强的讯号脉冲, 脉冲形状如图 3 所示, 虽然这一脉冲具有天线讯号特征, 但这一碰撞在 19 次碰撞中并非唯一的最强烈的碰撞, 而其它碰撞事件并没有出现类似的讯号, 故尚未能据以判定为引力波.

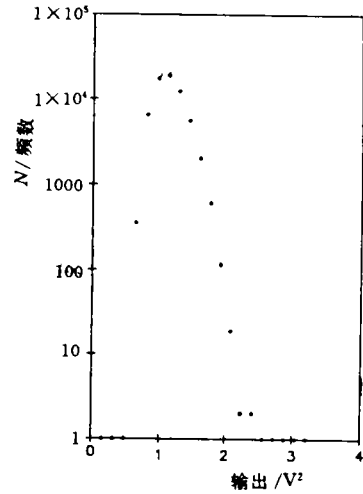


图 2 能谱分布曲线
Fig. 2 Energy spectrum

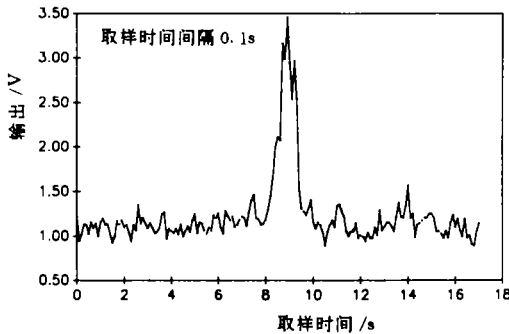


图 3 检测器输出讯号
Fig. 3 Output of the detector

开始时间 1994. 07. 18 16:16:30(北京时间)

广州引力波检测器是窄带的共振质量检测器, 其接收频带在 1 400 Hz 附近, 而碰撞发射的中心频率由特征时间估计仅为数 10 Hz 量级, 虽然由于碰撞过程的复杂性, 辐射可能包含较高的频率成分, 但将是更微弱的, 不大可能出现这种强脉冲讯息. 由于对低频引力辐射成分灵敏的宽频激光引力波检测器也未有检测到碰撞事件的引力辐射的报导, 因而, 这次检测尚未能证实引力辐射的存在, 也未能对经典辐射理论作出判断.

经检查,广州检测器系统的隔振、真空等条件均符合测量的要求,测量过程中也没有出现特别强烈的振动干扰(例如地震),因而,所得到的脉冲可能是来源于电干扰,由于几个强电干扰相继发生,使叠加讯号出现类似天线讯号的持续现象.

参 考 文 献

- 1 Davies P C W. The Search for Gravity waves. Cambridge Univ. Press, 1980. 62
- 2 胡恩科. 中山大学常温共振型引力波探测器. 中山大学学报(自然科学版), 1985, (4):97
- 3 管同仁. 引力辐射探测实验中的非相关检测. 物理, 1989, 18(5):301

The Response of Guangzhou Gravitational Wave Detector During Collision of Comet SL9 with Jupiter in 1994

Pang Zhigan Yu Po Hu Enke*

Abstract The improvements of data receiving and process method for the gravitational waves detection in Zhongshan University are described. Using this method to analyze the data obtained during the collisions of Comet SL9 with Jupiter in July, 1994, no evidence of the gravitation radiation from the collisions has been found.

Keywords gravitational radiation, collision, comet SL9

* Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275