



2023  
实例探究

# 用 Phantom 摄像机捕捉闪电

高速成像系统为研究地面伽马射线闪光和其他高层大气现象的前沿研究提供支持。

伽马射线辐射是一种高能电磁辐射，通常以放射性原子核或穿过太空的高能爆发的形式被观测到。然而，1992年，地球上发现了一种新的伽马射线源。

地面伽马射线闪光 (TGF) 在高空风暴云中被观测到，它的出现不可预测，能量高达 2000 万电子伏特，持续时间不到千分之一秒。由于 TGF 具有难以捉摸、持续时间短的特性，其产生和传播的确切方式仍被许多人研究。如今，研究人员希望进一步了解 TGF 是如何产生的。

天体粒子物理学家、芝加哥洛约拉大学物理系助理教授 Rasha Abbasi 博士参与了望远镜阵列项目。该项目在犹他州德尔塔以西进行，是一个各大学之间合作进行的国际项目，旨在观测高能宇宙射线。Abbasi 和她的团队专注于研究 TGF 是如何从地球大气层中产生并传播的。特别是，该团队希望回答一些关键问题，例如：

- TGF 源自闪电的哪个部分？
- 在闪电的生命周期中，TGF 在什么时候出现？
- TGF 在从产生到终止的整个过程中有怎样的行为？



*When it's too fast to see, and too important not to.*®

作为工作的一部分，研究人员将电磁辐射数据与闪电的光学发射观测数据进行了一对一配对。为了观察闪电，他们使用高速成像系统以极高的帧速率拍摄闪电的闪烁，而其他仪器则用于跟踪其他指标。

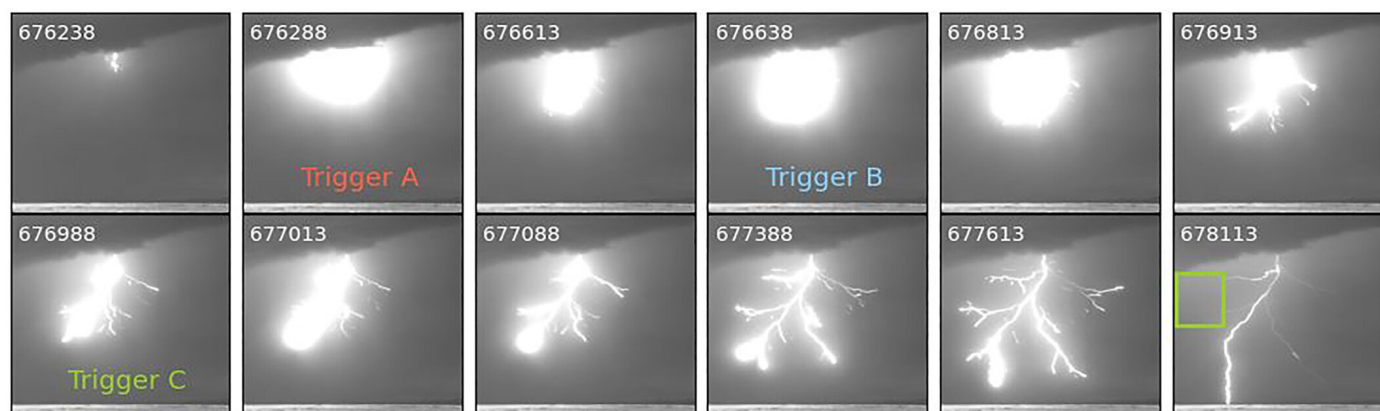
## 撒下 700 平方公里的网

要想捕获 TGF 数据，需要设计一个连续运行的大型实验。犹他州西南部的沙漠为高层大气研究提供了足够的土地和开阔的天空，这也是望远镜阵列项目布置地面阵列的地方。

该阵列由 500 个闪烁体探测器组成，覆盖面积超过 300 平方英里。每个探测器都装在一个大小与乒乓球桌差不多的金属容器内。容器内有几层丙烯酸材料，其中注入了可与带电粒子相互作用的分子。当高能粒子与丙烯酸材料相互作用时，这些分子会被激发并发出紫外线（UV）。光纤收集紫外线并将其导入光电倍增管，光电倍增管将光转换成电信号。中央计算机接收、存储和分析这一信号。虽然探测器最初是为分析来自太空的高能粒子而设计的，但该设备也可以探测和分析来自地球大气层的伽马射线闪光。

除探测器外，该实验还使用了大气仪器，包括闪电绘图阵列（LMA）、快速电场变化天线（FA）和宽带甚高频（VHF）干涉仪（INTF），这些仪器是由与新墨西哥矿业与技术学院合作的人员 Paul Krehbiel、William Rison、Daniel Rodeheffer 和 Mark Stanley 安装的。这些仪器使研究人员能够研究闪电的完整结构，并获得宝贵的信息，包括闪电的方向、速度、高度、与云底的关系以及无线电发射。研究小组的目标是观察闪光的光波和无线电波发射与其产生的 TGF 之间有这样的关系。

为了记录他们看到的東西并获得闪电的可视化图像，Abbasi 博士和她的团队使用了 Phantom v2012 摄像机（见侧边栏）。这个先进的高速成像工具被安装在仓库的窗户上，面向装有几根避雷针的覆盖 700 平方公里的阵列。研究人员对摄像机 84 度的视场进行了优化，使它可以拍摄长达 20 公里的距离。当闪电闪烁时，亮度的变化会触发摄像机，然后摄像机会在 1280 x 448 像素的分辨率下以每秒 40,000 帧（fps）的速度记录闪电现象。摄像机的数据被保存在现场计算机中，以供随后分析。研究人员利用摄像机的仰角和 LMA 的信息，计算出了 TGF 源的高度。



产生 TGF 时闪电的高速静态图像，绿色正方形是用于监测亮度变化的区域

## 关于 PHANTOM 超高速摄像机

由于 Phantom v2012 具有较高的帧速率和简化工作流程的能力,因此我们选择了它来进行这项快速实验。Phantom T2410 作为新一代摄像机也很适合该应用,它采用背照式 (BSI) 传感器技术,改进后的结构十分紧凑,可以提高光线较暗的环境中的性能。

Phantom T2410 配备定制的 Forza® 12 位 BSI CMOS 传感器,该传感器在 532 纳米的单色波长下的量子效率为 80.3% (EMVA 1288),在闪电等具有挑战性的条件下可提供更快的响应速度和高清图像。在捕捉事件时,24 Gpx/s 的持续吞吐量和合并模式可在所需的帧速率下实现更高的像素分辨率和灵活的宽高比。万兆以太网可确保以最快速度保存数据,再加上 PCC 软件中的多视频和连续拍摄功能,图像捕捉工作流程可以不间断地连续进行。

摄像机的显著特点包括:

- 有 64、128 或 256 GB 内存可选。
- 机上控件,方便在现场使用。
- 可互换的镜头接环选件。
- 与 CineMag (选配) 兼容。
- 最小曝光时间为 1  $\mu$ s (标准),使用 FAST 选件 (受出口管制) 时则为 190 ns。
- 极限动态范围 (EDR),可以自动调整图像饱和区域的曝光。

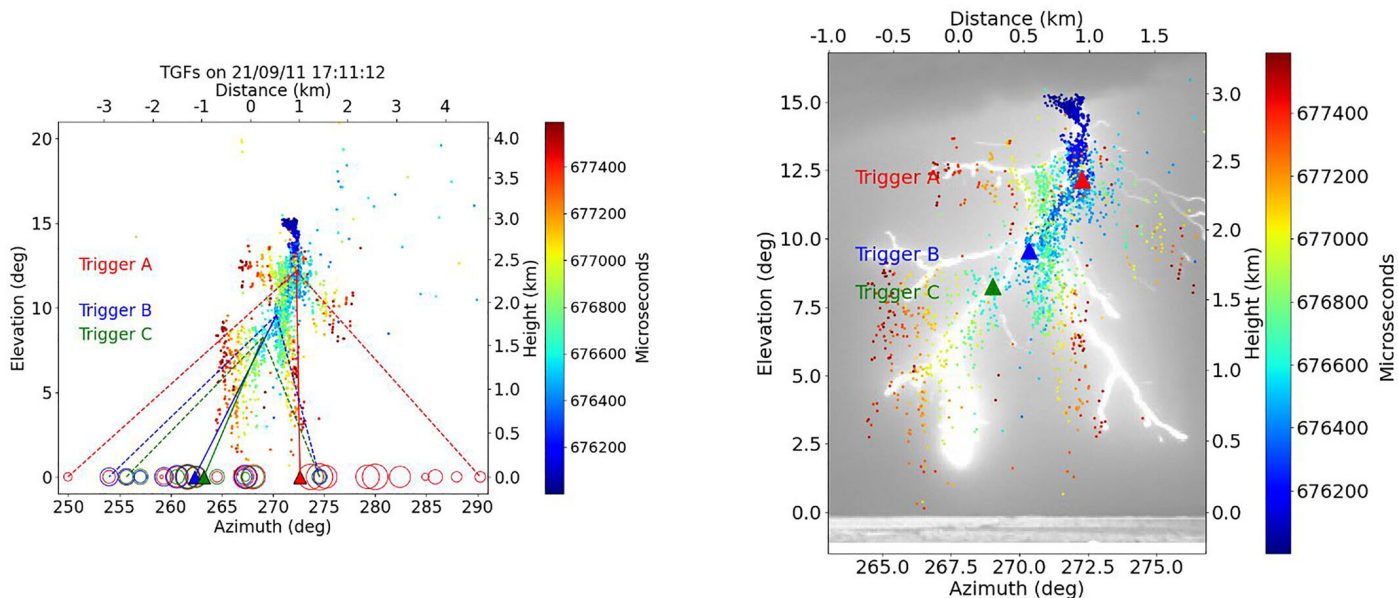


## 雷鸣般的结果

Phantom v2012 为 Abassi 博士及其团队提供了近距离观察闪电的可能性,使他们能够将仪器读数与从高速视频中观测到的结果进行对比。在使用该摄像机之前,像这样的 TGF 研究传统上都是通过使用配有特殊镜头和滤镜的卫星成像进行的。

得益于 Phantom v2012 的高分辨率和帧速率,研究人员对 TGF 有了新的认识,同时确认了国际空间站 (ISS) 上的大气-空间相互作用监测器 (ASIM) 记录的卫星测量结果是正确的。在该实验中,一个重要发现是,首次记录到向下的 TGF 与光学发射同时发生。此外,通过高速摄像机和成套仪器,研究小组还观测到了 TGF 发生在闪电事件中的哪个阶段,以及闪电的高度、速度、足迹和能量输出。





使用 INTF 和望远镜阵列表面探测器 (TASD) (左) 以及 Phantom v2012 和 INTF (右) 拍摄的 TGF 闪光事件

今后, Abbasi 博士的团队将继续使用波长定时分辨率更高的新型现场光度计来比较 TGF 发射的光学特征。这些光度计是在 Abbasi 博士的团队、巴西国家空间研究所 (INPE) 的 Marcelo Saba 以及巴西米纳斯吉拉斯州国家空间研究所和联邦技术教育中心 (CEFET) 的 Miguel Guimaraes 和 Litz Arujo 的共同努力下研发出来的。

新的光度计可以检测 337 纳米和 777 纳米的波长。它们有与 Phantom 摄像机相同的视场, 将帮助直接比较向上和向下的 TGF。

自 2023 年 4 月安装新光度计以来, 数据收集工作就一直在进行, 这进一步支持了团队不间断地对 TGF 和其他高层大气事件进行研究。他们将结合 Phantom 高速摄像机来拍摄闪电现象。

要了解更多信息, 请访问:  
[www.phantomhighspeed.com](http://www.phantomhighspeed.com)。



某些 Phantom 摄像机需要出口许可证。有关更多信息, 请访问 [www.phantomhighspeed.com/export](http://www.phantomhighspeed.com/export)。