

μ 介子揭示打破雷雨云电势的记录

(中国地质大学(武汉) 周雨欣 编译自 Matteo Rini. *Physics*, March 15, 2019)

研究人员记录了一次能够产生约13亿伏特电势的雷暴，比以往测得的最大数据高出10倍。这一研究团队采用新的雷暴云监测方法，即利用宇宙射线轰击大气产生并沉降到地球上的 μ 介子。雷雨云的电势能够减少带电粒子的能量，从而降低它们在雷暴条件下被监测到的可能性。这一新的测量结果表明，雷暴可能具有数十亿伏特的电势，这么高的电势足以解释一个困扰科学家多时的大气之谜：源自雷暴的高能伽马射线闪。

在1752年本杰明·富兰克林一个午后雷雨天气的风筝试验之后，人们开始认识到雷雨云的带电现象，即闪电和打雷都是大气不同带电区域间的突然放电过程。为了研究雷雨云的电结构，研究人员将飞机或者气球送到雷暴云的中心。这些实验发现了超过数千万伏特的电势，最高的达130兆伏特，是在1990年代新墨西哥的山地雷雨云中测得的。然而，无论是飞机还是气球都只能探测到其飞行路径上的电势，不能测得整个雷雨云的电势。

印度孟买塔塔基础研究所的

Sunil Gupta与同事采用G3MT(一部位于印度南部的 μ 介子望远镜，也是GRAPES-3宇宙射线探测装置的一部分)研究雷雨云对粒子探测的影响。这台望远镜用于探测宇宙射线轰击大气产生的 μ 介子，它们主要来自太阳系外的带电粒子。采用不同 μ 介子望远镜观测的其他研究人员之前也曾注意到了雷雨云与 μ 介子通量变化的相关性。现在，Gupta团队又向前迈了一步，他们开发了一个定量研究的方法。Gupta说“我们认识到GRAPES-3是测量雷雨云电势的理想工具，特别是在特大暴风雨天气条件下。”

G3MT测得的 μ 介子是带正电荷的反 μ 子，它们通常在雷暴云复杂的电荷分布条件下损失能量。在能量减少的情况下， μ 介子不容易被监测器捕获，只有在具有一定的能量阈值时才能被探测到。因此，雷暴对捕获的 μ 子通量起到减少的作用，通常表现为几个百分点的差距。当每分钟有超过一百万的 μ 介子到达G3MT时，系统能测得 μ 介子通量变化的精度为0.1%。这种望远镜还可以分辨空中169个不同的方向。

根据对 μ 子通量的测定，Gupta及其同事基于一个简化的雷暴云模型，通过计算机模拟，可以估算出雷雨云电势的大小。他们把雷雨云等效为一个由两个垂直方向相隔两公里的平行板构成的巨型电容器，平板间可以产生一个向上的电场。

在2011至2014年间，

研究人员收集到了184次雷雨云的观测数据，其中有7次超大雷暴事件，但6次超大雷雨云事件随时间的演变复杂，很难计算出其电势。研究人员集中研究了发生在2014年12月1日的第7次雷暴事件，并且得到了13亿伏特的电势峰值。

在路易斯安那州立大学巴吞鲁日分校从事高能宇宙射线以及伽马射线研究的Michael Cherry这样评价：“这种基于 μ 介子的技术提供了尽管不直接但却独特的地球上最大的天然粒子加速器——闪电与雷暴中的电场探测方法”。他还说，这一分析基于蒙特卡罗模拟以及一些简化假定，可能并不适用所有的雷雨云，但是获得的数据显然说明电势比之前基于气球的探测要大得多。他建议，在雷雨云中观测 μ 介子的同时，发送一个气球或者无人机，可能会帮助检验其中一个关键的模型参数：等效雷暴云的电容器两极板间2 km的间隔。

Gupta认为，这一新的发现或许还可以帮助研究人员破解一个大气之谜。自1994年以来，卫星测量显示有来自数十公里高空的伽马射线闪光。研究人员推测，这些闪光可能是由于雷雨云对电子的加速而产生的，但是之前的测量并没有发现足够大的雷雨云电势。然而，新发现的十亿伏特的电势已经非常接近产生伽马射线所需要的阈值。Gupta团队目前已经在GRAPES-3周边建立了一个伽马射线探测器，希望能够提供伽马射线闪光与十亿伏特量级电势雷雨云同时发生的可靠证据。



惊人的结果：利用 μ 介子探测器，研究人员测得了
一个破纪录的、超过10亿伏特的雷雨云电势