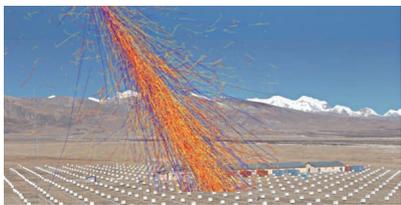


## 高能天体物理光子的侦测

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Rene A. Ong. *Physics*, July 29, 2019)

来自宇宙的甚高能(VHE)粒子—— $\gamma$ 射线或宇宙射线——与地球的大气层相互作用，产生很强的次级粒子与光子的大气簇射。测量这些次级产物，可以收集关于初始VHE粒子的信息，确定发生极强的粒子加速的天体物理位置，并可以解释宇宙射线的起源。首批进行这种测量的装置是大气簇射阵列，利用大面积的探测器(通常是闪烁体或水切连科夫探测器)阵列探测簇射中的粒子。通过测量大量地点的次级粒子密度和到达时间，估计入射初级粒子的能量和到来的方向，并确定这些粒子是 $\gamma$ 射线光子还是宇宙射线。1989年Whipple 10米望远镜首次探测到1 TeV VHE  $\gamma$ 射线源，即蟹状星云。Whipple是一台大气切连科夫望远镜，使用碟形反射体俘获次级光子。蟹状星云是首先被探测到的射线源这一点并不惊奇。蟹状星云，公元1054年在地球上观测到的超新星爆炸的剩余物，是天文学研究得最多的射线源，在全波长上都有光发射。在VHE波段，蟹状星云的发射明亮而稳定，很可能是由蟹状星云脉冲星喷射出的超高能



Tibet AS $\gamma$  实验探测到来自蟹状星云的100 TeV以上的光子信号

电子风提供的能量。这种电子风模型得到VHE谱形的支持，该模型假定电子通过逆康普顿散射与周围的低能光子相互作用，产生 $\gamma$ 射线光子。

为看到更高能量的光子，中日科学家合作，于1990年建立了西藏大气簇射实验站(Tibet AS $\gamma$ )。所建的阵列最初包含49个闪烁探测器，覆盖11000 m<sup>2</sup>的面积，处于4300米高海拔的有利条件，可以探测比第一代大气簇射阵列更广范围的 $\gamma$ 射线能量。1999年，Tibet AS $\gamma$ 用大气簇射阵列对蟹状星云进行了第一次探测。实验用附加的闪烁探测器(总共600个)不断升级，最近又安装了24个地下的水切连科夫探测器用来测量 $\mu$ 子。由于 $\gamma$ 射线引起的簇射中 $\mu$ 子预计比宇宙射线引起的要少得多， $\mu$ 子的测量剔除了宇宙射线引起的本底事件。由于这一附加设备，Tibet AS $\gamma$ 改进了低能(~1 TeV)和高能(~100 TeV)区的灵敏度。

在过去的30年中，Tibet AS $\gamma$ 与大气切连科夫望远镜和阵列型实验同时运行。这些不同的地基观测站发现和描述了近200个TeV  $\gamma$ 辐射源。但是没有探测到100 TeV能量。如今，Tibet AS $\gamma$ 合作组宣布探测到来自蟹状星云方向的能量超过100 TeV的清晰的 $\gamma$ 射线信号。光子能谱的计算表明，与此前的低能测量及逆康普顿模型外推到最高能量的结果符合得很好。2014年便开始正常运行的高海拔水切连科夫探测器(HAWC)观测站报道了类似结果。

高海拔(4100米)位置，大的 $\mu$ 子探测器，以及改进的重构能力使得HAWC具有比早期的大气簇射阵列更优越的性能。

Tibet AS $\gamma$ 和HAWC的探测，证实了我们关于蟹状星云中的粒子加速和辐射的标准图象光滑地延伸到高能。这证明初始电子的能量在蟹状星云中被加速到接近1 PeV( $10^{15}$  eV)。

未来，将蟹状星云的谱不断扩展到更高的能量，对于弄清有无新的成分出现是很重要的。探测100 TeV以上的其他源是可预期的，尽管由于星系间辐射场的吸收，只有我们星系或相邻星系的这些能量的辐射源是可见的。HAWC显示在TeV能段有许多星系源，因此未来的探测将探明在银河系中最高能量的加速器，即所谓的PeVatrons，用来解释是什么供给 $10^{15}$  eV的宇宙射线能量。如果这些最高能量的光子可与在南极的Ice Cube实验探测到的中微子事件关联起来，将提供有关最高能量中微子起源的重要线索。

最近在VHE  $\gamma$ 射线天文学领域的许多发现，驱动了新的、更灵敏的装置的研发来探测100 TeV的前沿。一个例子是建在四川的大型高海拔大气簇射观测站(LHAASO)，这是一个新的大气簇射实验。此外，切连科夫望远镜阵列(CTA)将由位于智利和西班牙的两个大型大气切连科夫望远镜阵列组成。在南半球的高海拔大气簇射实验也有着重要兴趣。