

Descobriments i caracterització del sistema binari LSI +61°303 en raigs gamma de molt alta energia amb MAGIC

La finestra de raigs gamma de molt alta energia (MAE) fou oberta fa menys de dues dècades, amb la detecció de la nebulosa del Cranc amb fotons d'energies entre 100 GeV i 100 TeV. Després d'anys de desenvolupament, la tècnica utilitzada pels anomenats telescopis Čerenkov permet realitzar observacions sensibles en el règim dels raigs γ de MAE. Aquests instruments mesuren els raigs γ còsmics amb la detecció de cascades secundàries produïdes per les interaccions dels raigs γ primaris amb l'atmosfera terrestre, vistos directament (xarxa de detectors de cascades) o mitjançant la seva radiació Čerenkov (telescopis que recullen les imatges de llum Čerenkov a l'atmosfera – IACTs).

El telescopi de raigs γ per emissió de radiació Čerenkov a l'atmosfera (MAGIC) és actualment el major IACT amb un sol reflector de 17 m. Situat a l'illa de La Palma (Canaries), té la menor energia lliandar assolida fins ara amb IACTs, permetent la reconstrucció de raigs γ amb energies de 60 GeV a 10 TeV. Combina un enorme i ultralleuger reflector amb un gran nombre d'innovacions tècniques. La contribució tècnica a MAGIC de l'autor està enfocada cap al programari del control remot de la càmera i del sistema de calibració.

Aquesta tesi estudia l'emissió de MAE de raigs γ de la binària de raigs X d'alta massa LSI +61°303, utilitzant el telescopi MAGIC. Aquesta binària està formada per un estel massiu tipus Be i un objecte compacte de natura desconeguda (un forat negre o un estel de neutrons). L'emissió en ràdio, infraroig, òptic i raigs X és modulada per un període de ~ 26.5 dies, atribuït al moviment orbital. Quan començà aquest treball en 2004, no es coneixia cap binària de raigs X que emetés raigs γ de MAE, tot i que les prediccions teòriques per a aquests sistemes eren prometedores. D'entre les binàries de raigs X, LSI +61°303 és un sistema peculiar, associat amb una font EGRET (3EG J0241+6103) al rang d'energies del GeV. Aquestes observacions juntament amb el fet que les mesures interferomètriques en ràdio suggerien la presència de jets, feien de LSI +61°303 una bona candidata com a font de raigs γ de MAE.

En aquest context, observarem LSI +61°303 amb MAGIC en dues campanyes diferents durant els anys 2005 i 2006. La durada total de les observacions és de ~ 150 hores, comprenent 10 cicles orbitals del sistema. L'anàlisi de les dades presentades en aquest treball permet establir LSI +61°303 com un emissor de raigs γ de MAE. Aquesta és la tercera binària de raigs X que emet en aquestes energies. La font és puntual per a MAGIC, i la seva localització està dintre dels contorns de la font d'EGRET 3EG J0241+6103 amb un nivell de confiança del 95 %.

El flux de raigs γ mesurat és variable. Això significa que, per primer cop, es troba un candidat a microquasar variable en raigs γ de MAE. Les observacions ens permeten extraure un perfil d'emissió orbital. El flux de raigs γ té un pic a fase orbital 0.63 i un mínim prop del seu pas pel periastre. El flux màxim (sobre 400 GeV) que s'observa correspon al $\sim 17\%$ del flux de la nebulosa del Cranc a la mateixa energia. Un segon pic de l'emissió en fase 0.84 arriba al mateix nivell de flux, i és observat sols per a un dels cicles orbitals.

L'espectre d'energia del sistema ha estat mesurat entre ~ 200 GeV i ~ 5 TeV. L'índex espectral per a les fases de màxima emissió és constant en el temps amb un valor de -2.7 ± 0.3 . No hi ha cap evidència de límit en el flux fins a 5 TeV. Tampoc hi ha evidència de variacions de l'índex espectral amb la fase o amb el nivell de flux.

S'ha efectuat una busqueda de periodicitat sobre les dades de LSI +61°303 en el rang del TeV, trobant-se una periodicitat en el flux de raigs γ de 26.8 ± 0.2 dies amb una probabilitat de 10^{-7} . Aquesta és la segona font periòdica establida en el rang de MAE. Aquest resultat implica que la modulació del flux està lligada al període orbital.

Amb les observacions a molt alta energia d'aquesta tesi hem provat que LSI +61°303 pertany a una nova classe d'objectes anomenats sistemes binaris emissors de raigs γ .

Barcelona, 5 Juny 2008

Núria Sidro Martín

Discovery and characterization of the binary system LSI +61°303 in very high energy gamma-rays with MAGIC

The window of very high energy (VHE) gamma-ray astrophysics was opened less than two decades ago, when the Crab Nebula was detected for the first time, with photon energies from 100 GeV to 100 TeV. After several years of development, the technique used by imaging atmospheric Čerenkov telescopes is now allowing to conduct sensitive observations in the VHE γ -ray regime. The instruments detect cosmic γ -rays by the detection of secondary showers produced by interactions of primary γ -rays with Earth's atmosphere, seen either directly (shower arrays) or through their Čerenkov radiation (Imaging Atmospheric Čerenkov telescopes – IACTs).

The Major Atmospheric Gamma Imaging Čerenkov (MAGIC) telescope is currently the largest single dish IACT, characterized by a 17 m diameter reflector. Located on La Palma (Spain), it features the lowest energy threshold IACT nowadays, allowing the reconstruction of γ -rays with energies from 60 GeV to 10 TeV. It combines a huge, ultralight reflector with a large number of technical innovations. The technical contribution to MAGIC of the author is mainly focused on the slow control software for the camera and calibration systems.

This thesis studies the VHE γ -ray emission from the high-mass X-ray binary LSI +61°303, using the MAGIC telescope. This binary system consists of a massive Be star and a compact object of unknown nature (black hole or neutron star). The emission in radio, infrared, optical and X-ray is modulated with a period of ~ 26.5 days, attributed to the orbital motion. When this work was started in 2004, no X-ray binary was known to emit VHE γ -rays, although theoretical predictions for these systems were promising. Among X-ray binaries, LSI +61°303 is a peculiar system, associated with an EGRET source (3EG J0241+6103) at GeV energies. These observations together with the fact that radio interferometric observations suggested that relativistic jet flows were present, made LSI +61°303 a promising VHE γ -ray source candidate.

On this context, we observed LSI +61°303 with MAGIC, in two different campaigns during 2005 and 2006. The observations lasted ~ 150 hours in total, and spanned 10 orbital cycles of the system. The analysis of the VHE data presented in this work allows to establish LSI +61°303 as a VHE γ -ray emitter. It is the third X-ray binary which is found to emit at these energies. The source is point-like for MAGIC, and its location is within the 95% confidence level contours of the EGRET source 3EG J0241+6103.

The measured γ -ray flux from the source is found to be variable. This means that for the first time, a microquasar candidate is found to be variable at VHE γ -rays. The observations allow us to draw an orbital emission profile. The γ -ray flux peaks around orbital phase 0.63 and reaches a minimum near periastron passage. The maximum observed flux (above 400 GeV) corresponds to $\sim 17\%$ of the Crab Nebula flux at the same energy. A second peak of emission at phase 0.84 reaches a similar flux level, only for one of the monitored orbital cycles.

The energy spectrum of the system have been measured between ~ 200 GeV and ~ 5 TeV. The spectral index for the phases of the emission maximum is constant over time with a value about -2.7 ± 0.3 . No evidence for a cut-off up to 5 TeV is found. There is no evidence for spectral index variations with phase or with flux level.

A search for periodicity over LSI +61°303 TeV data is carried out, finding a periodicity in the VHE γ -ray flux in 26.8 ± 0.2 days with a post-trial probability of 10^{-7} . This is the second established periodic source in the VHE band. The results implies that the flux modulation is tied to the orbital period.

With the VHE observations of this thesis, we prove that LSI +61°303 belongs also to a new class of objects of VHE γ -ray emitters.

Barcelona, June 5th 2008

Núria Sidro Martín