



Gamma-ray astronomy / Astronomie des rayons gamma – Volume 2

Foreword



This issue is the second one of two volumes devoted to gamma-ray astronomy above 100 MeV, which has witnessed considerable progress over the last 20 years. The first volume (C. R. Physique 16 (2015) 587–703) included a brief introduction to the field, reviews of space-borne and ground-based instruments, basic theoretical considerations on acceleration and radiation mechanisms, and articles on different gamma-ray-emitting *galactic* sources: pulsars, binary systems, supernova remnants and pulsar-wind nebulae, and the Galactic Centre region.

The second volume covers the following topics.

- Three reviews are devoted to *extragalactic* gamma-ray sources:
 - due to their high rate of supernova explosions whose remnants are known to be cosmic-ray accelerators, starburst galaxies are at the origin of an intense diffuse γ -ray emission produced by interactions of high-energy protons or nuclei with the interstellar medium. A review since the very first gamma-ray detections of such galaxies in 2009 is presented by S. Ohm;
 - active galactic nuclei (AGN) are characterized by the presence of super-massive black holes at the centres of galaxies. In addition, some of those objects eject powerful relativistic jets of plasma and are often intense sources of high- and very-high-energy γ rays. This emission is often detectable when the jet is directed towards the Earth, despite the very large distance to the source. In addition, the extremely rapid variability of some of them represents a challenge for modeling these phenomena. The rich observations of AGN by the *Fermi* space telescope and by atmospheric Cherenkov telescopes on the ground are presented by C. Dermer and B. Giebels, together with the present theoretical explanations;
 - gamma-ray bursts (GRB) are very powerful, albeit transient, γ -ray emitters of extragalactic origin, most probably due to catastrophic phenomena, such as the collapse of a very massive star or the coalescence of two compact objects (neutron stars or stellar black holes). Until the launch of the *Fermi* space telescope in 2008, these phenomena had been essentially studied in the X-ray domain or in that of low-energy γ -rays. Results recently obtained at high energies are discussed by F. Piron, together with their implications in the modeling of gamma-ray bursts.
- High-energy γ rays can also be used as probes of the Universe considered as a particle physics laboratory. New phenomena, such as Lorentz invariance violation as predicted in some theories of Quantum Gravity, or quantum oscillations between a γ ray and an axion-like particle in the presence of external magnetic fields could affect the propagation of γ rays from sources at cosmological distances. In addition, this propagation is affected by the presence of extragalactic background light (EBL) due to the reaction $\gamma + \text{photon} \rightarrow e^+ + e^-$. Studying the corresponding absorption of γ rays emitted by very distant sources also allows the otherwise poorly known density of the diffuse optical and infrared photons to be estimated. These measurements and the bounds on new phenomena that can be deduced from present observations are discussed by D. Horns and A. Jacholkowska.
- Relic particles or objects created in the early Universe are also potential sources of high-energy γ rays. In popular models of dark matter, the invisible mass in the Universe belongs to weakly interacting particles, with a mass of the order of 100 GeV/ c^2 or more. Being their own anti-particles, they can mutually annihilate in regions with a high density of dark matter, thus producing high-energy photons either directly or through the decay of other particles. Gamma rays might also be produced in micro-bursts due to the final stage of evaporation of primordial black holes through the Hawking process. The search for γ rays from dark matter annihilation or primordial black hole evaporation is discussed by P. Brun and J. Cohen-Tanugi.
- Finally, the present issue is completed by a review of future projects in gamma-ray astronomy, both in space and on the ground, by J. Knödlseder. The main open questions in gamma-ray astronomy are summarized and the performance of new instruments proposed to address them in the next decade is discussed.

As an appendix to this foreword, the reader will find a glossary in which the acronyms currently used in the articles of the two volumes on γ -ray astronomy are clarified.

Avant-propos

Le présent numéro est le second de deux volumes consacrés à l'astronomie gamma de haute énergie au-dessus de 100 MeV, qui a considérablement progressé au cours des vingt dernières années. Le premier volume (C. R. Physique 16 (2015) 587–703) comportait une brève introduction au domaine, des revues sur l'instrumentation dans l'espace et au sol, des considérations théoriques de base sur les mécanismes d'accélération et de rayonnement, et des articles sur différents types de sources *galactiques* émettant des photons gamma : pulsars, systèmes binaires, vestiges de supernovæ et nébuleuses de pulsars, et région du Centre galactique.

Le second volume traite des sujets suivants.

- Trois articles sont consacrés aux sources *extragalactiques* :
 - en raison de leur taux élevé d'explosions de supernovæ dont les vestiges sont des accélérateurs de rayons cosmiques, les galaxies à flambée d'étoiles sont le siège d'une émission gamma diffuse intense, du fait des interactions des protons ou noyaux de haute énergie avec le milieu interstellaire. Les toutes premières détections de galaxies de ce type depuis 2009 sont présentées par S. Ohm ;
 - les noyaux actifs de galaxie (AGN) sont caractérisés par la présence d'un trou noir de très grande masse au cœur de certaines galaxies. Ceux de ces objets qui éjectent de puissants jets de plasma relativistes peuvent aussi être des sources intenses de photons γ de haute et de très haute énergie. En dépit de distances à la source considérables, ces émissions sont souvent détectables quand le jet est pointé en direction de la Terre. De plus, leurs variabilités parfois très rapides représentent un défi pour la modélisation de ces phénomènes. Les riches observations de noyaux actifs de galaxie par le télescope spatial *Fermi* et par les télescopes à effet Tcherenkov atmosphérique au sol sont présentées par C. Dermer et B. Giebels, de même que les interprétations théoriques actuelles ;
 - les sursauts gamma sont aussi des émissions très puissantes mais transitoires de photons γ d'origine extragalactique, très probablement dues à des phénomènes catastrophiques : effondrement d'étoile massive ou coalescence d'objets compacts tels que des étoiles à neutrons ou des trous noirs de masse stellaire. Jusqu'à la mise en service du télescope spatial *Fermi*, ces phénomènes avaient été surtout étudiés dans le domaine des rayons X et des photons γ de basse énergie. Les résultats obtenus récemment à haute énergie et leurs implications dans la modélisation des sursauts γ sont discutés par F. Piron.
- Les photons γ de haute énergie peuvent aussi être utilisés pour sonder l'Univers considéré ici comme un laboratoire de physique des particules. De nouveaux phénomènes, comme la violation de l'invariance de Lorentz prédite par des théories de gravité quantique, ou l'oscillation quantique entre un photon et une particule de type « axion » en présence de champs magnétiques extérieurs, peuvent affecter la propagation des photons γ provenant de sources à des distances cosmologiques. De plus, cette propagation est entravée par le fond de lumière diffuse dans l'espace intergalactique, du fait de la réaction $\gamma + \text{photon} \rightarrow e^+ + e^-$. L'effet correspondant d'absorption sur les photons γ provenant de sources très lointaines permet d'estimer la densité des photons diffus des domaines infrarouge et optique, très mal connue par ailleurs. Ces mesures et les limitations sur les nouveaux phénomènes imposées par les observations actuelles sont discutées par D. Horns et A. Jacholkowska.
- Des particules ou des objets, vestiges de l'Univers primordial, sont aussi des sources potentielles de photons γ de haute énergie. Dans les modèles les plus populaires, la masse invisible de l'Univers, ou matière noire, est constituée de particules de grande masse (de l'ordre de 100 GeV/ c^2 ou plus), uniquement sensibles à des interactions faibles. Ces particules étant leurs propres antiparticules peuvent s'annihiler mutuellement dans les régions où elles ont pu se concentrer, produisant ainsi des photons de haute énergie, soit directement, soit par la désintégration de particules intermédiaires instables. Des photons γ peuvent aussi être produits dans la phase finale d'évaporation de trous noirs primordiaux dans le processus de Hawking. La recherche de photons γ provenant de l'annihilation de la matière noire ou de l'évaporation de trous noirs primordiaux est discutée par P. Brun et J. Cohen-Tanugi.
- Finalement, le présent numéro thématique est complété par une revue des projets futurs en astronomie gamma, dans l'espace et au sol, par J. Knödseder. L'article résume les principales questions ouvertes en astronomie gamma et décrit les performances des instruments proposés pour y répondre dans les dix prochaines années.

En appendice à cet avant-propos, le lecteur trouvera un glossaire décodant les acronymes les plus courants utilisés dans les articles des deux volumes sur l'astronomie gamma.

Bernard Degrange*, Gérard Fontaine*

*Laboratoire Leprince-Ringuet, École polytechnique, CNRS/IN2P3, Université Paris-Saclay, 91128 Palaiseau cedex, France**E-mail addresses: degrange@lrr.in2p3.fr (B. Degrange), fontaine@admin.in2p3.fr (G. Fontaine)*

Available online 6 May 2016

Glossary

1FGL, 2FGL, 3FGL: first, second and third catalogues of Fermi LAT.
1LAC, 2LAC, 3LAC: first, second and third AGN catalogues of Fermi LAT.
ACT: Atmospheric Cherenkov Telescope.
AdEPT: Advanced Energetic Pair Telescope.
AGILE: Astro-rivelatore Gamma a Immagini LEggero.
AGN: Active Galactic Nucleus.
ALP: Axion-like particle.
ASGAT: Astronomie GAMMA à Thémis.
ASTRO-H: future X-ray mission of the Japan Aerospace Exploration Agency.
ATHENA: future X-ray mission of the European Space Agency.
AU: Astronomical unit.
BATSE: Burst and Transient Source Experiment (on board CGRO satellite).
BH: Black hole.
BL Lac: Class of active galactic nuclei similar to BL Lacertae.
BW: Black widow.
CALET: CALorimetric Electron Telescope.
CANGAROO: Collaboration of Australia and Nippon for a Gamma Ray Observatory in the Outback.
CAT: Cherenkov Array at Thémis.
CELESTE: CErenkov Low Energy Sampling and Timing Experiment.
CGRO: Compton Gamma-Ray Observatory.
CL: Confidence limit.
CMB: Cosmic Microwave Background.
CMZ: Central molecular zone (part of the Galactic Centre region).
COMPTEL: Compton telescope (on board CGRO satellite).
CR: Cosmic Rays.
CTA: Cherenkov Telescope Array.
CWB: Colliding wind binary.
DAMPE: Dark Matter Particle Explorer (satellite).
DIGB: Diffuse isotropic gamma-ray background.
DM: Dark matter.
DSA: Diffusive shock acceleration.
DSSD: Double-sided silicon strip detector.
EAS: Extensive air shower.
EBL: Extragalactic background light.
EED: Electron energy distribution.
EGB: Extragalactic gamma-ray background.
EGRET: Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (on board CGRO satellite).
FIDO: Force-free Inside the light cylinder and Dissipative Outside (model of pulsar environment).
FR I, FR II: Fanaroff-Riley I and II (radiogalaxies).
FSRQ: Flat spectrum radio-quasar.
GAMMA-400: Gamma Astronomical Multifunctional Modular Apparatus.
GBM: Gamma Ray Burst Monitor (on board Fermi Gamma-ray Space Telescope).
GC: Galactic Centre.
GJ: Goldreich-Julian (model of pulsar magnetospheres).
GLAST: Gamma-ray Large Area Space Telescope (former name of the Fermi space telescope).
GRAAL: Gamma Ray Astronomy at ALmeria.
GRB: Gamma Ray Burst.
HAGAR: High Altitude GAMMA Ray (telescope).
HARPO: Hermetic ARGON POLarimeter.
HAWC: High Altitude Water Cherenkov (telescope).
HEGRA: High Energy Gamma Ray Astronomy (array of 5 telescopes).
HE: High energy (100 MeV–100 GeV).
HERD: High Energy cosmic Radiation Detection.
H.E.S.S.: High Energy Stereoscopic System.
HiSCORE: Hundred Square-km Cosmic ORigin Explorer.
HSP: High-synchrotron-peak (blazar).
HVC: High-velocity cloud.
IACT: Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope.
IC: Inverse Compton radiation.
ICRC: International Cosmic Ray Conference.
INTEGRAL: INternational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory.

* Corresponding authors.

ISM: Interstellar medium.
ISP: Intermediate-synchrotron-peak (blazar).
KM3Net: Cubic Kilometer NEutrino Telescope.
LAT: Large Area Telescope (Fermi Gamma ray Space Telescope).
LHAASO: Large High Altitude Air Shower Observatory.
LIV: Lorentz invariance violation.
LMC: Large Magellanic Cloud.
LMXB: Low-mass X-ray binary.
LSP: Low-synchrotron peak (blazar).
LST: Large size telescopes (in CTA).
MACE: Major Atmospheric Cherenkov Experiment.
MAGIC: Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov telescope.
MAGN: Misaligned active galactic nuclei.
MHD: Magneto hydrodynamics.
Mrk or Mkn: Prefix of a source from the Markarian galaxy catalogue.
MSP: Millisecond pulsar.
MST: Medium size telescopes (in CTA).
NFW: Navarro-Frenk-White (halo profile).
NIR: Near infrared.
OSO-3: Third satellite of the Orbiting Solar Observatory program.
OSSE: Oriented Scintillation Spectrometer Experiment (on board CGRO satellite).
PAM: Photon-ALP mixing.
PANGU: PAir-productioN Gamma-ray Unit.
PBH: Primordial black hole.
PIC: Particle-in-cell (simulations).
PMT: Photo-multiplier tube.
PWN: Pulsar wind nebula.
QCD: Quantum chromodynamics.
QED: Quantum electrodynamics.
QG: Quantum gravity.
RB: Redback.
RL-NLS1: Radio-loud narrow-line Seyfert 1 (galaxy).
SAS-2: second Small Astronomy Satellite.
SED: Spectral Energy Distribution.
SEP: Strong equivalence principle.
SMBH: Supermassive black hole.
SN: Supernova.
SNR: Supernova remnant.
SR: Synchrotron radiation.
SSC: Synchrotron Self Compton (model).
SSD: Silicon strip detector.
SST: Small size telescopes (in CTA).
STACEE: Solar Tower Atmospheric Cherenkov Effect Experiment.
SVOM: Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor.
SW: Striped wind.
THEMISTOCLE: Tracking High Energy Muons In Showers Triggered On Cherenkov Light Emission.
UHE: Ultra-high energy (above 1 PeV).
VERITAS: Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System.
VHE: Very high energy (above 100 GeV).
VLBI: Very-long-base interferometry.
WCD: Water Cherenkov detectors.
WIMP: Weakly interacting massive particle.
WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe.