

# PHYSICS AND ASTROPHYSICS OF ULTRA-HIGH-ENERGY COSMIC RAYS: RECENT RESULTS FROM THE PIERRE AUGER OBSERVATORY

*J. R. T. de Mello Neto*<sup>1,2,\*</sup>  
*for the Pierre Auger Collaboration* \*\*

<sup>1</sup> Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Ilha do Fundão Rio de Janeiro, RJ Brazil  
<sup>2</sup> Observatorio Pierre Auger, Malargüe, Argentina

Ultra-high-energy cosmic rays (UHECRs) are the highest energy messengers in the Universe, with energies up to  $10^{20}$  eV. Studies of astrophysical particles (nuclei, electrons, neutrinos, and photons) at their highest observed energies have implications for fundamental physics as well as astrophysics. The primary particles interact in the atmosphere (or in the lithosphere of the Earth) and generate extensive air showers. Analysis of those showers enables one not only to estimate the energy, direction, and most probable mass of the primary cosmic particles, but also to obtain information about the properties of their hadronic interactions at energies more than one order of magnitude above that accessible with the current highest energy human-made accelerator. The Pierre Auger Observatory, located in the province of Mendoza, Argentina, is the largest cosmic-ray experiment ever built. The Observatory was designed as a hybrid detector covering an area of  $3000 \text{ km}^2$  and has been taking data for almost twenty years. In this paper, a selection of the latest results is presented: the cosmic-ray energy spectrum, studies of hadronic physics, searches for a directional anisotropy, and studies of mass composition (including the photon and neutrino searches). Finally, the current upgrade (“AugerPrime”) of the Observatory, which is mostly aimed at improving the sensitivity to the particle type and mass of ultra-high-energy cosmic rays, is described.

Космические лучи ультравысоких энергий являются самыми энергетическими носителями информации о Вселенной, их энергии достигают  $10^{20}$  эВ. Изучение астрофизических частиц (ядер, электронов, нейтрино и фотонов) при наибольших достигаемых ими энергиях важно для фундаментальной физики, а также астрофизики. Первичные частицы взаимодействуют с атмосферой (или с литосферой Земли) и генерируют экстенсивные воздушные ливни частиц. Анализ этих ливней позволяет не только оценивать энергию, направление и наиболее вероятное значение массы первичных космических частиц, но и получать информацию о свойствах адронных взаимодействий при энергиях, превышающих более чем на порядок максимальные значения энергий, достигнутых в созданных

---

\* E-mail: [jtmn@if.ufrj.br](mailto:jtmn@if.ufrj.br)

\*\* Full author list: [http://www.auger.org/archive/authors\\_2020\\_10.html](http://www.auger.org/archive/authors_2020_10.html)

человеком ускорителях. Обсерватория Пьера Оже, расположенная в провинции Мендоса (Аргентина), является самой большой экспериментальной установкой, предназначенной для регистрации и изучения космических лучей. Обсерватория представляет собой гибридный детектор площадью 3000 км<sup>2</sup>. Сбор данных в ней ведется на протяжении уже почти двадцати лет. Представлены последние результаты по энергетическим спектрам космических лучей, исследованиям в области физики адронов, поиску анизотропии по направлению в пространстве и изучению массового состава (включая исследования по фотонам и нейтрино). Также описывается статус текущих работ по обновлению («AugerPrime») обсерватории, целью которого является, прежде всего, улучшение чувствительности установки к определению типа и массы частиц, регистрируемых при анализе космических лучей ультравысоких энергий.

PACS: 98.70.Sa; 95.85.Ry