Preface

This volume contains part of the contributions to the *7th International Workshop on Astronomy and Relativistic Astrophysics: Quarks and Cosmos* — IWARA 2016, held in Gramado, Rio Grande do Sul, Brazil, from 9th to 13th October 2016.

IWARA is an *acronym* used to characterize a biannual series of workshops held for the first time in Olinda (Brazil) in 2003. The subsequent editions of the workshops have been successfully held in Natal (Brazil, 2003), in João Pessoa (Brazil, 2007), in Maresias (Brazil, 2009), in João Pessoa (Brazil, 2011), in Rio de Janeiro (Brazil, 2013). In the event of 2016, we had the participation of more than 100 teachers, students and researchers from the most diverse corners of the planet.

The motivation to organize this series of events is based on our present understanding of the origin of the Universe, of its evolution and the physical laws that govern its behavior, as well as on the different states of matter that make up its evolutionary stage, that reached in recent years levels never before imagined. This is due mainly to the new and recent discoveries in astronomy and relativistic astrophysics as well as to experiments on particle and nuclear physics that made the traditional boundaries of knowledge on physics to be overcome.

As a result we have presently a new understanding about the Universe in its two extreme domains, the very large and the very small: the recognition of the deep connections that exist between quarks and the cosmos. Based on the understanding of the intimate relationship between quarks and cosmos, the IWARA meetings are focused on the following related topics:

- New phenomena and new states of matter in the Universe;
- General relativity, gravitation and cosmology;
- White dwarfs, neutron stars, pulsars and black holes;
- Gamma-ray emission in the Universe, high energy cosmic rays and gravitational waves;
- Strong magnetic fields in compact stars and in galaxies;
- Ultra-strong magnetic fields in neutron star mergers;
- Strange matter, strange stars, quark stars and magnetars;
- Strong magnetic fields and the cosmic microwave background;
- Dark matter and dark energy;
- Antimatter in the Universe, strong magnetic fields in the Universe;
- Heavy ion collisions and the formation of the quark-gluon plasma;

Preface

The IWARA 2016 event represented an excellent opportunity for exchanging new ideas and for learning different and recent advances related to the above topics. The Organizing Committee thanks the speakers and all participants for the stimulating atmosphere of the event. The Editors express sincere gratitude to the authors of the contributions to this volume, as well as to the referees who contributed to improve the quality of this publication.

Alexander Lunkes dos Santos, César Augusto Zen Vasconcellos,
Daniel Tavares da Silva, Dimiter Hadjimichef, Fridolin Weber,
Magno Valério Trindade Machado, Mário Luiz Lopes da Silva,
Renxin Xu, and Walter Greiner*

Gramado, Brazil, July 2017

*Deceased.

Organizing Committee

- Alexander L. dos Santos - IFFarroupilha, Brazil - Co-Chair
- Alexandre Mesquita - UCS, Brazil
- César A. Zen Vasconcellos - UFRGS, Brazil - **Chair**
- Daniel Tavares da Silva - UFPel, Brazil - Co-Chair
- Débora P. Menezes - UFSC, Brazil
- Dimiter Hadjimichef - UFRGS, Brazil - Co-Chair
- Ernesto Kemp - UNICAMP, Brazil
- Guilherme Marranghello - UNIPAMPA, Brazil
- Helio Teixeira Coelho - ABC, Brazil
- Horacio A. Dottori - UFRGS, Brazil
- Jorge Horvath - IAG/USP, Brazil
- Magno V.T. Machado - UFRGS, Brazil - Co-Chair
- Manuel Malheiro - ITA, Brazil
- Marcelo Chiapparini - UERJ, Brazil
- Mário Luiz Lopes da Silva - UFPel, Brazil - Co-Chair
- Moisés Razeira - UNIPAMPA, Brazil
- Sérgio B. Duarte- CBPF, Brazil
- S. O. Kepler - UFRGS, Brazil
- Ulisses B. de Almeida - CBPF, Brazil
- Valdir B. Bezerra - UFPb, Brazil

Scientific Advisory Committee

- Aurora Pérez Martinez - ICIMAF, Cuba
- Bardo E.J. Bodmann - UFRGS, Brazil
- Carola Dobrigkeit - UNICAMP, Brazil
- Constança Providência - U. Coimbra, Portugal
- Fernando A. Nóbrega Santos - UFPE, Brazil
- Fridolin Weber - SDSU, USA
- German Lugones - UFABC, Brazil
- Gabriela González - LSU, USA
- Horst Stöcker - JWGU, Germany
- Hugo Pérez Rojas - ICIMAF, Cuba
- Joerg Aichelin – SUBATECH, France
- José A. de Freitas Pacheco- OCA, France
- Marcelo Gleiser - Dartmouth College, USA
- Norberto Scoccola - Tandem, Argentina
- Remo Ruffini - ICRANet, Italy
- Stefan Schramm - JWGU, Germany
- Thaisa Storchi Bergmann - UFRGS, Brazil
- Thomas Boller - MPI, Germany
- Walter Greiner - JWGU, Germany

List of Participants and Registered Researchers to IWARA2016

1. **ABRAÃO JESSÉ CAPISTRANO DE SOUZA** - Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Brazil
2. **ADAM SMITH GONTIJO BRITO DE ASSIS** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil
3. **AHMAD A. HUJEIRAT** – Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR), Universität Heidelberg, Germany
4. **ALBERT LAZZARINI** - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO), California Institute of Technology (Caltech), Pasadena, USA
5. **ALCIDES GARAT** - Universidad de la Republica (UdelaR), Montevideo, Uruguay
6. **ALEXANDER LUNKES DOS SANTOS** - Instituto Federal Farroupilha (IFFar), São Borja , Brazil
7. **ANDRÉ CODEÇO DOS SANTOS** – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brazil
8. **AURORA MARIA PÉREZ MARTÍNEZ** - Instituto de Cibernética Matemática y Física (ICIMAF), Havana, Cuba
9. **BÁRBARA CELI BRAGA CAMARGO** – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia (FEG), São Paulo, Brazil
10. **BERNARDO MACHADO DE OLIVEIRA FRAGA** – International Center for Relativistic Astrophysics Network (ICRANET), Roma, Italia
11. **BIANCA PEIXOTO GOTTFRIED** - Instituto Federal Farroupilha (IFFar), São Borja , Brazil
12. **BRUNA CESIRA FOLADOR** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
13. **CARLA CURSINO** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
14. **CARLOS FRAJUCA** - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil
15. **CÉSAR A. ZEN VASCONCELLOS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
16. **CLEBSON ABATI GRAEFF** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco (UTFPR), Pato Branco; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brazil
17. **CLEMENT STAHL** – International Center for Relativistic Astrophysics Network (ICRANET), Roma, Italia
18. **CRISTIAN GIOVANNY BERNAL** – Fundação Universidade Federal de Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brazil
19. **CRISTIANO BRENNER MARIOTTO** - Fundação Universidade Federal de Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brazil
20. **DANIEL CASTRO ROMÃO** - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brazil
21. **DANIEL COPPEDE** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), São Paulo, Brazil
22. **DANIEL ALBERTO GOMEZ DUMM** - Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina
23. **DANIEL TAVARES DA SILVA** - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, Brazil
24. **DIMITER HADJIMICHEF** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
25. **DYANA CRISTINE DUARTE** - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brazil
26. **EAK RAJ PAUDEL** - Tribhuvan University, Birendra Multiple Campus, Bharatpur Chitwa, Nepal
27. **EDIVALDO MOURA SANTOS** - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil
28. **EDUARDO SANTOS DA VEIGA** - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, Brazil
29. **EDSON OTONIEL DA SILVA** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
30. **ELVIS CAMILO FERREIRA** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil
31. **EMANUEL ARTHUR YDREFORS** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
32. **EMERSON GUSTAVO DE SOUZA LUNA** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
33. **ERNESTO KEMP** - Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil
34. **EVERTON MURILO CARVALHO DE ABREU** - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, Brazil
35. **FABIO KÖPP NÓBREGA** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
36. **FABRÍCIO TRONCO DALMOLIN** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Brasil
37. **FLAVIA ROCHA** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
38. **FREDERICO FETTER GOMES** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
39. **FRIDOLIN WEBER** - San Diego State University (SDSU), San Diego, USA
40. **GABRIEL BORDERES MOTTA** - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, Brazil
41. **GEANDERSON ARAÚJO CARVALHO** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, São Paulo, Brazil
42. **GERMÁN MALFATTI** - Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Buenos Aires, Argentina

43. **GIBRAN HENRIQUE DE SOUZA** - Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil
44. **GLAUBER SAMPAIO DOS SANTOS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
45. **GUILHERME GONÇALVES FERRARI** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
46. **GUILHERME LORENZATTO VOLKMER** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
47. **GUSTAVO A. CONTRERA** - Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina
48. **HEITOR OLIVEIRA DE OLIVEIRA** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São Jose dos Campos, Brazil
49. **HELIO TAKAI** - Brookhaven National Laboratory (BNL), Foxborough, USA
50. **HÉLIO TEIXEIRA COELHO** - Academia Pernambucana de Ciências (APC), Recife, Brazil
51. **HENRIQUE LINARES** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), São Paulo, Brazil
52. **HÉRCULES B. RODRIGUES** - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, Brazil
53. **HERMÃO VELTEN** - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Brazil
54. **HORACIO ALBERTO DOTTORI** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
55. **HUGO PÉREZ ROJAS** - Instituto de Cibernética Matemática y Física (ICIMAF), Havana, Cuba
56. **IVANA DE FREITAS CUNHA** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
57. **JAMES G. O'BRIEN** - Wentworth Institute of Technology (WIT), Boston, USA
58. **JAVIER SOLANO** - Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima, Peru
59. **JOÃO BRAGA** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
60. **JOHN ANDERSSO ROSERO GIL** - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil
61. **JONAS PEDRO PEREIRA** - Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, Brazil
62. **JORGE ERNESTO HORVATH** - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil
63. **JORGE HENRIQUE DE ALVARENGA NOGUEIRA** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
64. **JOSÉ ANTONIO DE FREITAS PACHECO** - Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), Nice, France
65. **JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE OLIVEIRA** - Universidade Federal de Roraima (UFRR), Boa Vista, Brazil
66. **JOSÉ DOMINGO ARBAÑIL VELA** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
67. **JUSTIN ALBERT** - University of Victoria, Canada
68. **KAI LIN** - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brazil
69. **KAUAN DALFOVO MARQUEZ** - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brazil
70. **LARISSA CARLOS DE OLIVEIRA SANTOS** - University of Science and Technology of China (USTC), Hefei, China
71. **LAURA PAULUCCI** - Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, Brazil
72. **LILIAN DE ARAUJO FERRÃO** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
73. **LUIS GUSTAVO DE ALMEIDA** - Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Brazil
74. **LUIS JURACY RANGEL LEMOS** - Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Araguaína, Araguaína, Brazil
75. **LUIZ GARCIA DE ANDRADE** - Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brazil
76. **MAGNO V. T. MACHADO** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
77. **MAIRON MELO MACHADO** - Instituto Federal Farroupilha (IFFar), São Borja, Brazil
78. **MANUEL CASTRO AVILA** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil
79. **MANUEL MÁXIMO BASTOS MALHEIRO DE OLIVEIRA** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
80. **MARCELLO DALLAGNOL ALLOY** - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brazil
81. **MÁRCIO EDUARDO DA SILVA ALVES** - Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José dos Campos, Brazil
82. **MARCIO GUILHERME BRONZATO DE AVELLAR** - Institute for Theoretical Physics (ITP), Goethe University (JWGU), Frankfurt am Main, Germany
83. **MARIA BEATRIZ DE LEONE GAY** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
84. **MARIA FLORENCIA IZZO VILLAFÑE** - Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina
85. **MARIANA CHINAGLIA** - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, Brazil
86. **MÁRIO L. L. DA SILVA** - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, Brazil
87. **MATHEUS BROILO** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
88. **MAURO MARIANI** - Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina
89. **MIGUEL DE CAMPOS** - Universidade Federal de Roraima (UFRR), Boa Vista, Brazil
90. **MOISÉS RAZEIRA** - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Caçapava do Sul, Brazil

91. **MÔNICA TERGOLINA** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
92. **NADJA SIMÃO MAGALHÃES** - Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, Brazil
93. **NILO SERPA** - Faculdades Integradas Promove (ICESP), Brasília, Brazil
94. **NORBERTO SCOCCOLA** - Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Buenos Aires, Argentina
95. **OLIVIER PIGUET** - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brazil
96. **OMAIR ZUBAIRI** - Wentworth Institute of Technology (WIT), Boston, USA
97. **ORLANDO LUIS GOULART PERES** - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil
98. **ORLENYS NATALI TROCONIS** - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brazil
99. **PAULO ROBERTO MURGER NOGUEIRA** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), São Paulo, Brazil
100. **PASCAL CHARDONNET** - Université de Savoie Mont Blanc, Chambéry, France
101. **PEDRO CUNHA DE HOLANDA** - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil
102. **PEDRO DA CUNHA FERREIRA** - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brazil
103. **PEDRO HENRIQUE GOULART CARDOSO** - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brazil
104. **PEDRO MORAES** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
105. **PETER OTTO HESS** - Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM), Mexico
106. **RAFAEL CAMARGO RODRIGUES DE LIMA** - Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, Brazil
107. **REINALDO ROBERTO ROSA** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil
108. **REMO RUFFINI** - International Center for Relativistic Astrophysics Network (ICRANET), Roma, Italia
109. **RENAT ANASOVICH SULTANOV** - St. Cloud State University, St Cloud, USA
110. **RICARDO L. S. FARIAS** - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brazil
111. **RICCARDO BELVEDERE** - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Rio de Janeiro, Brazil
112. **RODOLFO VALENTIM** - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil
113. **RODRIGO ALVARES DE SOUZA** - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil
114. **RODRIGO FRANCISCO DOS SANTOS** - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brazil
115. **RODRIGO NEMMEN** - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brazil
116. **RODRIGO PICANÇO NEGREIROS** - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brazil
117. **ROGERIO MENEZES DE ALMEIDA** - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brazil
118. **RONALDO VIEIRA LOBATO** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
119. **ROSANA DE OLIVEIRA GOMES** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
120. **RUBENS DE MELO MARINHO JUNIOR** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
121. **SAMUEL ISIDORO DOS SANTOS JÚNIOR** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
122. **SERGEY BURDIN** - University of Liverpool, Liverpool, UK
123. **SÉRGIO BARBOSA DUARTE** - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Rio de Janeiro, Brazil
124. **S.O. KEPLER** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
125. **SONY MARTINS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
126. **STEFAN SCHRAMM** - Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS), Frankfurt am Main, Germany
127. **STEFANI LYZETH DORADO SALDARRIAGA** - Universidad del Valle (UV), Cali, Colombia
128. **THAISA STORCHI BERGMANN** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil
129. **THIAGO VINÍCIUS MOREIRA GUIMARÃES** - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo, Brazil
130. **THOMAS BOLLER** - Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE), Garching, Germany
131. **TOBIAS FREDERICO** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
132. **ULISSES BARRES DE ALMEIDA** - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Rio de Janeiro, Brazil
133. **VINCENZO LICCARDO** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
134. **VITOR FERNANDO GIGANTE DE PAIVA** - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brazil
135. **VIVIANE ANGÉLICO PEREIRA ALFRADIQUE** - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brazil
136. **WEN ZHAO** - University of Science and Technology of China (USTC), Hefei, China

The 7th International Workshop on Astronomy and Relativistic Astrophysics: Quarks and Cosmos (IWARA 2016), Gramado, Rio Grande do Sul, Brazil, 9–13 October 2016.