

## Virgo collaboration author list – February 2019

v5 – 19/02/2019

337 authors – 79 institutions

F. Acernese<sup>1,2</sup>, M. Agathos<sup>3</sup>, L. Aiello<sup>4,5</sup>, A. Allocca<sup>6,7</sup>,  
M. A. Aloy<sup>8</sup>, A. Amato<sup>9</sup>, S. Antier<sup>10</sup>, M. Arène<sup>10</sup>,  
N. Arnaud<sup>11,12</sup>, S. Ascenzi<sup>4,13</sup>, P. Astone<sup>14</sup>, F. Aubin<sup>15</sup>,  
S. Babak<sup>10</sup>, P. Bacon<sup>10</sup>, F. Badaracco<sup>4,5</sup>, M. K. M. Bader<sup>16</sup>,  
J. Baird<sup>10</sup>, F. Baldaccini<sup>17,18</sup>, G. Ballardín<sup>12</sup>,  
C. Barbieri<sup>19,20</sup>, F. Barone<sup>21,2</sup>, M. Barsuglia<sup>10</sup>, D. Barta<sup>22</sup>,  
A. Basti<sup>6,7</sup>, M. Bawaj<sup>23,18</sup>, M. Bazzan<sup>24,25</sup>, M. Bejger<sup>10,26</sup>,  
I. Belahcene<sup>11</sup>, S. Bernuzzi<sup>3</sup>, D. Bersanetti<sup>27</sup>,  
A. Bertolini<sup>16</sup>, M. Bischì<sup>28,29</sup>, M. Bitossi<sup>12,7</sup>,  
M. A. Bizouard<sup>30</sup>, S. Bloemen<sup>31</sup>, F. Bobba<sup>32,33</sup>, M. Boer<sup>30</sup>,  
G. Bogaert<sup>30</sup>, F. Bondu<sup>34</sup>, R. Bonnand<sup>15</sup>, B. A. Boom<sup>16</sup>,  
V. Boschi<sup>12</sup>, Y. Bouffanais<sup>24,25</sup>, A. Bozzi<sup>12</sup>, C. Bradaschia<sup>7</sup>,  
M. Branchesi<sup>4,5</sup>, M. Breschi<sup>3</sup>, T. Briant<sup>35</sup>, F. Brighenti<sup>28,29</sup>,  
A. Brillet<sup>30</sup>, J. Brooks<sup>12</sup>, T. Bulik<sup>36</sup>, H. J. Bulten<sup>37,16</sup>,  
D. Buskulic<sup>15</sup>, C. Buy<sup>10</sup>, G. Cagnoli<sup>38</sup>, E. Calloni<sup>39,2</sup>,  
M. Canepa<sup>40,27</sup>, G. Carapella<sup>32,33</sup>, F. Carbognani<sup>12</sup>,  
G. Carullo<sup>6,7</sup>, J. Casanueva Diaz<sup>7</sup>, C. Casentini<sup>41,13</sup>,  
S. Caudill<sup>16</sup>, F. Cavalier<sup>11</sup>, R. Cavalieri<sup>12</sup>, G. Cella<sup>7</sup>,  
P. Cerdá-Durán<sup>8</sup>, E. Cesarini<sup>42,13</sup>, O. Chaibi<sup>30</sup>,  
E. Chassande-Mottin<sup>10</sup>, F. Chiadini<sup>43,33</sup>, A. Chincarini<sup>27</sup>,  
A. Chiummo<sup>12</sup>, N. Christensen<sup>30</sup>, S. Chua<sup>35</sup>, G. Ciani<sup>24,25</sup>,  
M. Cieřlar<sup>26</sup>, R. Ciolfi<sup>44,25</sup>, F. Cipriano<sup>30</sup>, A. Cirone<sup>40,27</sup>,  
F. Cleva<sup>30</sup>, E. Coccia<sup>4,5</sup>, P.-F. Cohadon<sup>35</sup>, D. Cohen<sup>11</sup>,  
M. Colpi<sup>19,20</sup>, L. Conti<sup>25</sup>, I. Cordero-Carrión<sup>45</sup>,  
S. Corezzi<sup>17,18</sup>, D. Corre<sup>11</sup>, S. Cortese<sup>12</sup>, J.-P. Coulon<sup>30</sup>,  
M. Croquette<sup>35</sup>, E. Cuoco<sup>12</sup>, B. D'Angelo<sup>40,27</sup>,  
S. D'Antonio<sup>13</sup>, V. Dattilo<sup>12</sup>, M. Davier<sup>11</sup>, J. Degallaix<sup>9</sup>,  
M. De Laurentis<sup>39,2</sup>, S. Deléglise<sup>35</sup>, W. Del Pozzo<sup>6,7</sup>,  
R. De Pietri<sup>46,47</sup>, R. De Rosa<sup>39,2</sup>, C. De Rossi<sup>9,12</sup>,  
T. Dietrich<sup>16</sup>, L. Di Fiore<sup>2</sup>, C. Di Giorgio<sup>32,33</sup>,  
F. Di Giovanni<sup>8</sup>, M. Di Giovanni<sup>48,49</sup>, T. Di Girolamo<sup>39,2</sup>,  
A. Di Lieto<sup>6,7</sup>, S. Di Pace<sup>50,14</sup>, I. Di Palma<sup>50,14</sup>,  
F. Di Renzo<sup>6,7</sup>, M. Drago<sup>4,5</sup>, J.-G. Ducoin<sup>11</sup>,  
O. Durante<sup>32,33</sup>, M. Eisenmann<sup>15</sup>, L. Errico<sup>39,2</sup>,  
D. Estevez<sup>15</sup>, V. Fafone<sup>41,13,4</sup>, S. Farinon<sup>27</sup>, F. Feng<sup>10</sup>,  
I. Ferrante<sup>6,7</sup>, F. Fidecaro<sup>6,7</sup>, I. Fiori<sup>12</sup>, D. Fiorucci<sup>4,5</sup>,  
R. Fittipaldi<sup>51,33</sup>, V. Fiumara<sup>52,33</sup>, R. Flaminio<sup>15,53</sup>,  
J. A. Font<sup>8,54</sup>, J.-D. Fournier<sup>30</sup>, S. Frasca<sup>50,14</sup>, F. Frasconi<sup>7</sup>,  
V. Frey<sup>11</sup>, G. Fronzè<sup>55</sup>, L. Gammaitoni<sup>17</sup>, F. Garuffi<sup>39,2</sup>,

G. Gemme<sup>27</sup>, E. Genin<sup>12</sup>, A. Gennai<sup>7</sup>, Archisman Ghosh<sup>16</sup>,  
 B. Giacomazzo<sup>48,49</sup>, J. M. Gonzalez Castro<sup>6,7</sup>,  
 M. Gosselin<sup>12,6,7</sup>, R. Gouaty<sup>15</sup>, A. Grado<sup>56,2</sup>, M. Granata<sup>9</sup>,  
 G. Greco<sup>28,29</sup>, A. Grimaldi<sup>48,49</sup>, S. J. Grimm<sup>4,5</sup>, P. Groot<sup>31</sup>,  
 P. Gruning<sup>11</sup>, G. M. Guidi<sup>28,29</sup>, Y. Guo<sup>16</sup>, P. Gupta<sup>16</sup>,  
 O. Halim<sup>5,4</sup>, T. Harder<sup>30</sup>, J. Harms<sup>4,5</sup>, A. Heidmann<sup>35</sup>,  
 H. Heitmann<sup>30</sup>, P. Hello<sup>11</sup>, G. Hemming<sup>12</sup>,  
 T. Hinderer<sup>57,16,58</sup>, D. Hofman<sup>9</sup>, D. Huet<sup>11</sup>, V. Hui<sup>15</sup>,  
 B. Idzkowski<sup>36</sup>, A. Iess<sup>41,13</sup>, G. Intini<sup>50,14</sup>, J.-M. Isac<sup>35</sup>,  
 T. Jacqmin<sup>35</sup>, P. Jaranowski<sup>59</sup>, R. J. G. Jonker<sup>16</sup>,  
 S. Katsanevas<sup>12</sup>, F. Kéfélian<sup>30</sup>, I. Khan<sup>4,13</sup>, N. Khetan<sup>4,5</sup>,  
 G. Koekoek<sup>16,60</sup>, S. Koley<sup>16</sup>, A. Królak<sup>61,62</sup>, A. Kutynia<sup>61</sup>,  
 D. Laghi<sup>6,7</sup>, A. Lartaux-Vollard<sup>11</sup>, C. Lazzaro<sup>25</sup>,  
 P. Leaci<sup>50,14</sup>, N. Leroy<sup>11</sup>, N. Letendre<sup>15</sup>, F. Linde<sup>63,16</sup>,  
 M. Llorens-Monteagudo<sup>8</sup>, A. Longo<sup>64,65</sup>, M. Lorenzini<sup>4,5</sup>,  
 V. Lorette<sup>66</sup>, G. Losurdo<sup>7</sup>, D. Lumaca<sup>41,13</sup>, A. Macquet<sup>30</sup>,  
 E. Majorana<sup>14</sup>, I. Maksimovic<sup>66</sup>, N. Man<sup>30</sup>,  
 V. Mangano<sup>50,14</sup>, M. Mantovani<sup>12</sup>, M. Mapelli<sup>24,25</sup>,  
 F. Marchesoni<sup>23,18</sup>, F. Marion<sup>15</sup>, A. Marquina<sup>45</sup>,  
 S. Marsat<sup>10</sup>, F. Martelli<sup>28,29</sup>, V. Martinez<sup>38</sup>, A. Masserot<sup>15</sup>,  
 S. Mastrogiovanni<sup>10</sup>, J. Meidam<sup>16</sup>, E. Mejuto Villa<sup>67,33</sup>,  
 L. Mereni<sup>9</sup>, M. Merzougui<sup>30</sup>, F. Messina<sup>19,20</sup>,  
 R. Metzдорff<sup>35</sup>, A. Miani<sup>48,49</sup>, C. Michel<sup>9</sup>, L. Milano<sup>39,2</sup>,  
 A. Miller<sup>50,14</sup>, O. Minazzoli<sup>30,68</sup>, Y. Minenkov<sup>13</sup>,  
 M. Montani<sup>28,29</sup>, F. Morawski<sup>26</sup>, B. Mours<sup>15</sup>,  
 F. Muciaccia<sup>50,14</sup>, A. Nagar<sup>42,55,69</sup>, I. Nardecchia<sup>41,13</sup>,  
 L. Naticchioni<sup>50,14</sup>, J. Neilson<sup>67,33</sup>, G. Nelemans<sup>31,16</sup>,  
 C. Nguyen<sup>10</sup>, D. Nichols<sup>57,16</sup>, S. Nissanke<sup>57,16</sup>, F. Nocera<sup>12</sup>,  
 M. Obergaullinger<sup>8,70</sup>, G. Oganessian<sup>4,5</sup>, G. Pagano<sup>6,7</sup>,  
 G. Pagliaroli<sup>4,5</sup>, C. Palomba<sup>14</sup>, P. T. H. Pang<sup>16</sup>,  
 F. Pannarale<sup>50,14</sup>, F. Paoletti<sup>7</sup>, A. Paoli<sup>12</sup>, D. Pascucci<sup>16</sup>,  
 A. Pasqualetti<sup>12</sup>, R. Passaquieti<sup>6,7</sup>, D. Passuello<sup>7</sup>,  
 M. Patil<sup>62</sup>, B. Patricelli<sup>6,7</sup>, R. Pedurand<sup>9,71</sup>, A. Perego<sup>48,49</sup>,  
 C. Pérois<sup>15</sup>, A. Perreca<sup>48,49</sup>, O. J. Piccinni<sup>50,14</sup>,  
 M. Pichot<sup>30</sup>, F. Piergiovanni<sup>28,29</sup>, V. Pierro<sup>67,33</sup>,  
 G. Pillant<sup>12</sup>, L. Pinard<sup>9</sup>, I. M. Pinto<sup>67,33,42</sup>, A. Pizzella<sup>6,7</sup>,  
 W. Plastino<sup>64,65</sup>, R. Poggiani<sup>6,7</sup>, P. Popolizio<sup>12</sup>,  
 E. K. Porter<sup>10</sup>, M. Principe<sup>67,42,33</sup>, G. A. Prodi<sup>48,49</sup>,  
 M. Punturo<sup>18</sup>, P. Puppo<sup>14</sup>, G. Raaijmakers<sup>57,16</sup>,  
 N. Radulesco<sup>30</sup>, P. Rapagnani<sup>50,14</sup>, M. Razzano<sup>6,7</sup>,  
 T. Regimbau<sup>15</sup>, L. Rei<sup>27</sup>, P. Rettegno<sup>55,72</sup>, F. Ricci<sup>50,14</sup>,  
 G. Riemenschneider<sup>72,55</sup>, F. Robinet<sup>11</sup>, A. Rocchi<sup>13</sup>,  
 L. Rolland<sup>15</sup>, M. Romanelli<sup>34</sup>, R. Romano<sup>1,2</sup>,  
 D. Rosińska<sup>73,26</sup>, P. Ruggi<sup>12</sup>, O. S. Salafia<sup>74,19,20</sup>,  
 L. Salconi<sup>12</sup>, A. Samajdar<sup>16</sup>, N. Sanchis-Gual<sup>75</sup>, E. Santos<sup>30</sup>,  
 B. Sassolas<sup>9</sup>, O. Sauter<sup>15</sup>, P. Schmidt<sup>31</sup>, D. Sentenac<sup>12</sup>,  
 V. Sequino<sup>27</sup>, A. Sharma<sup>4,5</sup>, M. Sieniawska<sup>26</sup>, N. Singh<sup>36</sup>,  
 A. Singhal<sup>4,14</sup>, F. Sorrentino<sup>27</sup>, M. Spera<sup>24,25</sup>, C. Stachie<sup>30</sup>,  
 D. A. Steer<sup>10</sup>, G. Stratta<sup>76,29</sup>, A. Sur<sup>26</sup>, B. L. Swinkels<sup>16</sup>,

**M. Tacca**<sup>16</sup>, **S. Tiwari**<sup>48,49</sup>, **M. Tonelli**<sup>6,7</sup>, **A. Torres-Forné**<sup>77</sup>,  
**F. Travasso**<sup>12,18</sup>, **M. C. Tringali**<sup>36</sup>, **A. Trovato**<sup>10</sup>,  
**L. Trozzo**<sup>78,7</sup>, **K. W. Tsang**<sup>16</sup>, **M. Valentini**<sup>48,49</sup>,  
**N. van Bakel**<sup>16</sup>, **M. van Beuzekom**<sup>16</sup>,  
**J. F. J. van den Brand**<sup>37,16</sup>, **C. Van Den Broeck**<sup>16,79</sup>,  
**L. van der Schaaf**<sup>16</sup>, **M. Vardaro**<sup>24,25</sup>, **M. Vasúth**<sup>22</sup>,  
**G. Vedovato**<sup>25</sup>, **D. Verkindt**<sup>15</sup>, **F. Vetrano**<sup>28,29</sup>,  
**A. Viceré**<sup>28,29</sup>, **J.-Y. Vinet**<sup>30</sup>, **H. Vocca**<sup>17,18</sup>, **R. Walet**<sup>16</sup>,  
**M. Was**<sup>15</sup>, **A. R. Williamson**<sup>57,16</sup>, **A. Zadrożny**<sup>61</sup>,  
**T. Zelenova**<sup>12</sup>, **J.-P. Zendri**<sup>25</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Farmacia, Università di Salerno, I-84084 Fisciano, Salerno, Italy

<sup>2</sup>INFN, Sezione di Napoli, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, I-80126 Napoli, Italy

<sup>3</sup>Theoretisch-Physikalisches Institut, Friedrich-Schiller-Universität Jena, D-07743 Jena, Germany

<sup>4</sup>Gran Sasso Science Institute (GSSI), I-67100 L'Aquila, Italy

<sup>5</sup>INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, I-67100 Assergi, Italy

<sup>6</sup>Università di Pisa, I-56127 Pisa, Italy

<sup>7</sup>INFN, Sezione di Pisa, I-56127 Pisa, Italy

<sup>8</sup>Departamento de Astronomía y Astrofísica, Universitat de València, E-46100 Burjassot, València, Spain

<sup>9</sup>Laboratoire des Matériaux Avancés (LMA), CNRS/IN2P3, F-69622 Villeurbanne, France

<sup>10</sup>APC, AstroParticule et Cosmologie, Université Paris Diderot, CNRS/IN2P3, CEA/Irfu, Observatoire de Paris, Sorbonne Paris Cité, F-75205 Paris Cedex 13, France

<sup>11</sup>LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Université Paris-Saclay, F-91898 Orsay, France

<sup>12</sup>European Gravitational Observatory (EGO), I-56021 Cascina, Pisa, Italy

<sup>13</sup>INFN, Sezione di Roma Tor Vergata, I-00133 Roma, Italy

<sup>14</sup>INFN, Sezione di Roma, I-00185 Roma, Italy

<sup>15</sup>Laboratoire d'Annecy de Physique des Particules (LAPP), Univ. Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS/IN2P3, F-74941 Annecy, France

<sup>16</sup>Nikhef, Science Park 105, 1098 XG Amsterdam, The Netherlands

<sup>17</sup>Università di Perugia, I-06123 Perugia, Italy

<sup>18</sup>INFN, Sezione di Perugia, I-06123 Perugia, Italy

<sup>19</sup>Università degli Studi di Milano-Bicocca, I-20126 Milano, Italy

<sup>20</sup>INFN, Sezione di Milano-Bicocca, I-20126 Milano, Italy

<sup>21</sup>Dipartimento di Medicina, Chirurgia e Odontoiatria "Scuola Medica Salernitana," Università di Salerno, I-84081 Baronissi, Salerno, Italy

<sup>22</sup>Wigner RCP, RMKI, H-1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33, Hungary

<sup>23</sup>Università di Camerino, Dipartimento di Fisica, I-62032 Camerino, Italy

<sup>24</sup>Università di Padova, Dipartimento di Fisica e Astronomia, I-35131 Padova, Italy

<sup>25</sup>INFN, Sezione di Padova, I-35131 Padova, Italy

<sup>26</sup>Nicolaus Copernicus Astronomical Center, Polish Academy of Sciences, 00-716, Warsaw, Poland

<sup>27</sup>INFN, Sezione di Genova, I-16146 Genova, Italy

<sup>28</sup>Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo," I-61029 Urbino, Italy

<sup>29</sup>INFN, Sezione di Firenze, I-50019 Sesto Fiorentino, Firenze, Italy

<sup>30</sup>Artemis, Université Côte d'Azur, Observatoire Côte d'Azur, CNRS, CS 34229, F-06304 Nice Cedex 4, France

<sup>31</sup>Department of Astrophysics/IMAPP, Radboud University Nijmegen, P.O. Box 9010, 6500 GL Nijmegen, The Netherlands

<sup>32</sup>Dipartimento di Fisica "E.R. Caianiello," Università di Salerno, I-84084 Fisciano, Salerno, Italy

- <sup>33</sup>INFN, Sezione di Napoli, Gruppo Collegato di Salerno, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, I-80126 Napoli, Italy
- <sup>34</sup>Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR6082, F-3500 Rennes, France
- <sup>35</sup>Laboratoire Kastler Brossel, Sorbonne Université, CNRS, ENS-Université PSL, Collège de France, F-75005 Paris, France
- <sup>36</sup>Astronomical Observatory Warsaw University, 00-478 Warsaw, Poland
- <sup>37</sup>VU University Amsterdam, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands
- <sup>38</sup>Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Institut Lumière Matière, F-69622 Villeurbanne, France
- <sup>39</sup>Università di Napoli “Federico II,” Complesso Universitario di Monte S. Angelo, I-80126 Napoli, Italy
- <sup>40</sup>Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Genova, I-16146 Genova, Italy
- <sup>41</sup>Università di Roma Tor Vergata, I-00133 Roma, Italy
- <sup>42</sup>Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche “Enrico Fermi,” I-00184 Roma, Italy
- <sup>43</sup>Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIIN), Università di Salerno, I-84084 Fisciano, Salerno, Italy
- <sup>44</sup>INAF, Osservatorio Astronomico di Padova, I-35122 Padova, Italy
- <sup>45</sup>Departamento de Matemáticas, Universitat de València, E-46100 Burjassot, València, Spain
- <sup>46</sup>Dipartimento di Scienze Matematiche, Fisiche e Informatiche, Università di Parma, I-43124 Parma, Italy
- <sup>47</sup>INFN, Sezione di Milano Bicocca, Gruppo Collegato di Parma, I-43124 Parma, Italy
- <sup>48</sup>Università di Trento, Dipartimento di Fisica, I-38123 Povo, Trento, Italy
- <sup>49</sup>INFN, Trento Institute for Fundamental Physics and Applications, I-38123 Povo, Trento, Italy
- <sup>50</sup>Università di Roma “La Sapienza,” I-00185 Roma, Italy
- <sup>51</sup>CNR-SPIN, c/o Università di Salerno, I-84084 Fisciano, Salerno, Italy
- <sup>52</sup>Scuola di Ingegneria, Università della Basilicata, I-85100 Potenza, Italy
- <sup>53</sup>National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan
- <sup>54</sup>Observatori Astronòmic, Universitat de València, E-46980 Paterna, València, Spain
- <sup>55</sup>INFN Sezione di Torino, I-10125 Torino, Italy
- <sup>56</sup>INAF, Osservatorio Astronomico di Capodimonte, I-80131 Napoli, Italy
- <sup>57</sup>GRAPPA, Anton Pannekoek Institute for Astronomy and Institute for High-Energy Physics, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098 XH Amsterdam, The Netherlands
- <sup>58</sup>Delta Institute for Theoretical Physics, Science Park 904, 1090 GL Amsterdam, The Netherlands
- <sup>59</sup>University of Białystok, 15-424 Białystok, Poland
- <sup>60</sup>Maastricht University, P.O. Box 616, 6200 MD Maastricht, The Netherlands
- <sup>61</sup>NCBJ, 05-400 Świerk-Otwock, Poland
- <sup>62</sup>Institute of Mathematics, Polish Academy of Sciences, 00656 Warsaw, Poland
- <sup>63</sup>Institute for High-Energy Physics, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098 XH Amsterdam, The Netherlands
- <sup>64</sup>Dipartimento di Matematica e Fisica, Università degli Studi Roma Tre, I-00146 Roma, Italy
- <sup>65</sup>INFN, Sezione di Roma Tre, I-00146 Roma, Italy
- <sup>66</sup>ESPCI, CNRS, F-75005 Paris, France
- <sup>67</sup>Dipartimento di Ingegneria, Università del Sannio, I-82100 Benevento, Italy
- <sup>68</sup>Centre Scientifique de Monaco, 8 quai Antoine 1er, MC-98000, Monaco
- <sup>69</sup>Institut des Hautes Etudes Scientifiques, F-91440 Bures-sur-Yvette, France
- <sup>70</sup>Institut für Kernphysik, Theoriezentrum, 64289 Darmstadt, Germany
- <sup>71</sup>Université de Lyon, F-69361 Lyon, France
- <sup>72</sup>Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Torino, I-10125 Torino, Italy
- <sup>73</sup>Janusz Gil Institute of Astronomy, University of Zielona Góra, 65-265 Zielona Góra, Poland

<sup>74</sup>INAF, Osservatorio Astronomico di Brera sede di Merate, I-23807 Merate, Lecco, Italy

<sup>75</sup>Centro de Astrofísica e Gravitação (CENTRA), Departamento de Física, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>76</sup>INAF, Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio, I-40129 Bologna, Italy

<sup>77</sup>Max Planck Institute for Gravitationalphysik (Albert Einstein Institute), D-14476 Potsdam-Golm, Germany

<sup>78</sup>Università di Siena, I-53100 Siena, Italy

<sup>79</sup>Van Swinderen Institute for Particle Physics and Gravity, University of Groningen, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen, The Netherlands