



# 高能物理与地球科学交叉融合的思考

如何让“高冷”接“地气”？

韩 然

# 中微子-地球科学国内发展史



## 01 2013-2017 初创期 跟跑

- William.MC.Dough 联系王贻芳院士 开始地球中微子工作
- <5人团队
- 国外主导

## 02 2017-2024 成长期 并跑

- **首个交叉融合团队的建立**, >15人团队, 地质、地球化学、地球物理、地热学、粒子物理
- **国家重点研发计划**子课题, 2个面上项目, 1个青年项目
- 获得丰富的数据, 建立了**华南地区地壳精细模型**
- 发表了10余篇论文, 培养2名博士生, 数名硕士生

科学顾问委员会从科学、项目管理、探测器技术等各方面对实验进行了咨询。在物理方面, 建议不仅具有独特优势的方向, 如精确测量混合角 $\theta_{12}$ 和地球中微子。在技术方面, 委员会详细了解了目前技术成果的发表。在项目管理方面, 委员会详细询问了影响进度的因素, 以及项目组希望得到的顾问委员会

## 03 2024—2044 成熟期 领跑

- 2024年江门中微子实验站即将取数
- 江门中微子实验站将是国际上最大的, 精度最高的地球中微子测量站
- **地球中微子是本实验独特优势方向之一**
- 根据地壳模型显示, 地球中微子有望在1-2年内取得国际领先的成果

高薪+国际领先成果  
招博士后1-2名

liyufeng@ihep.ac.cn

1. 国际上最大，精度最高的地球中微子实验站即将取数

2. 高能物理与地球科学是结合紧密的两个学科

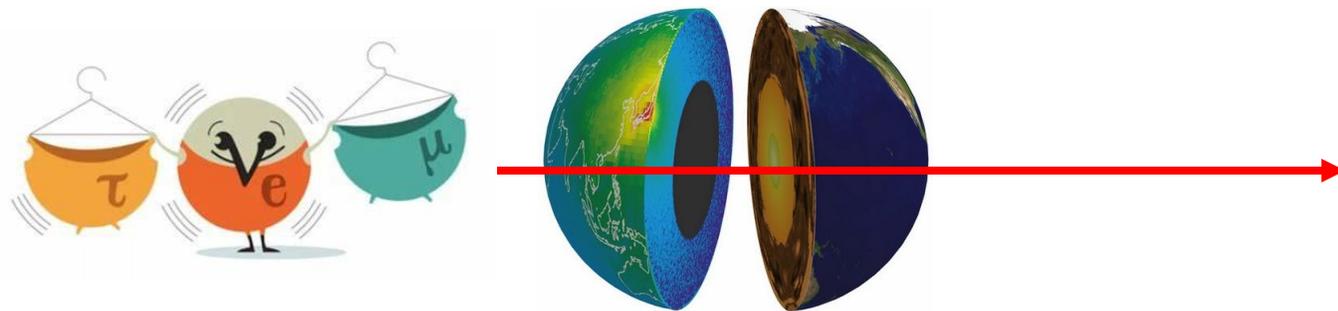
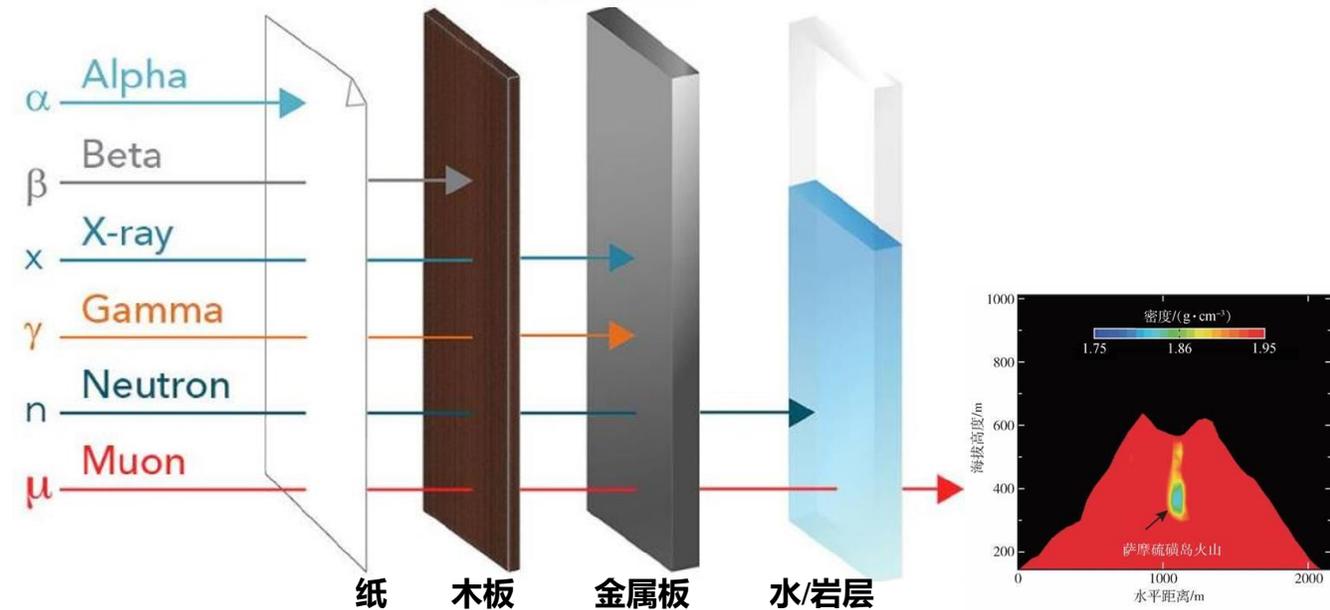
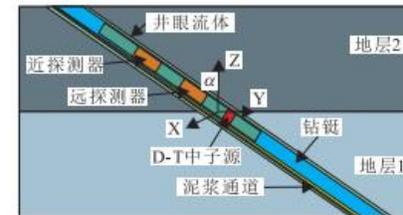
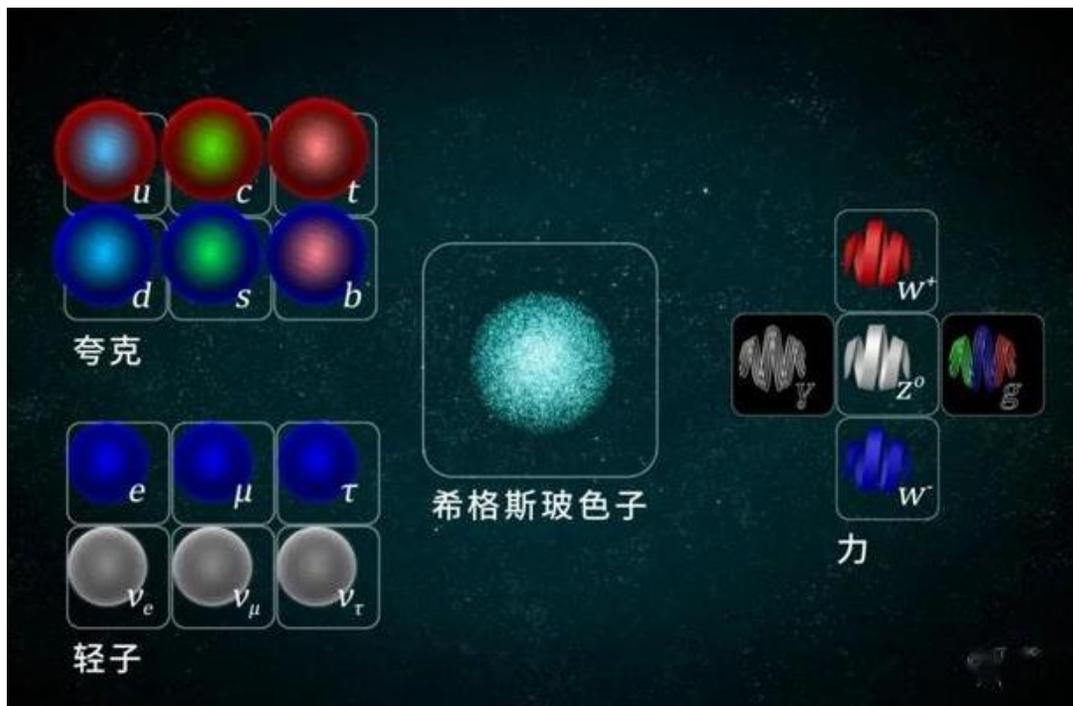
高能物理→地球科学

地球科学→高能物理

3. 大力发展交叉学科 健全新时代高等教育学科专业体系

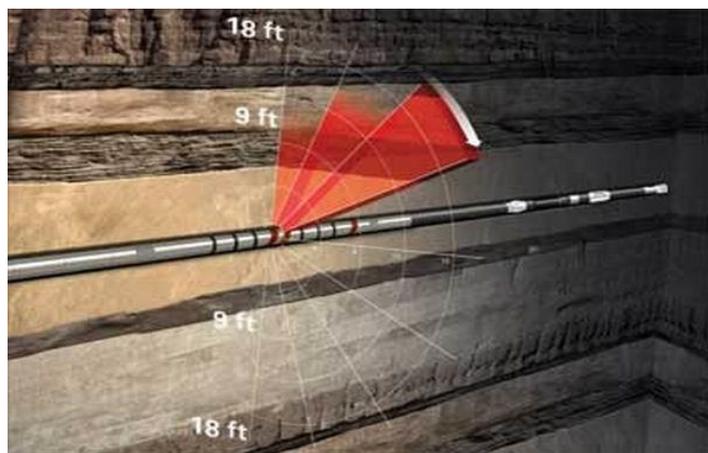
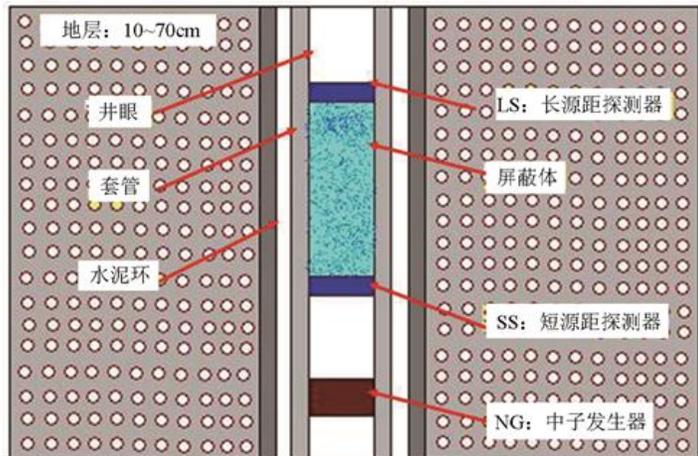
4. AI智能数据在高能物理和地球科学中都有无限潜在应用

# 高能粒子及其穿透力比较

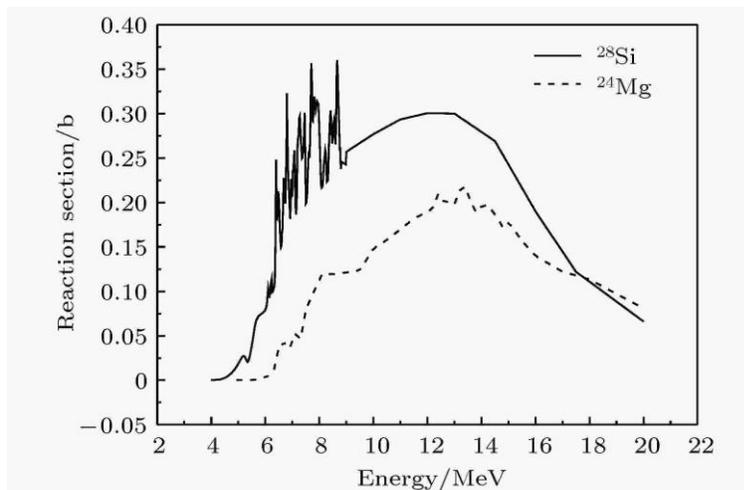


主要粒子的穿透能力对比

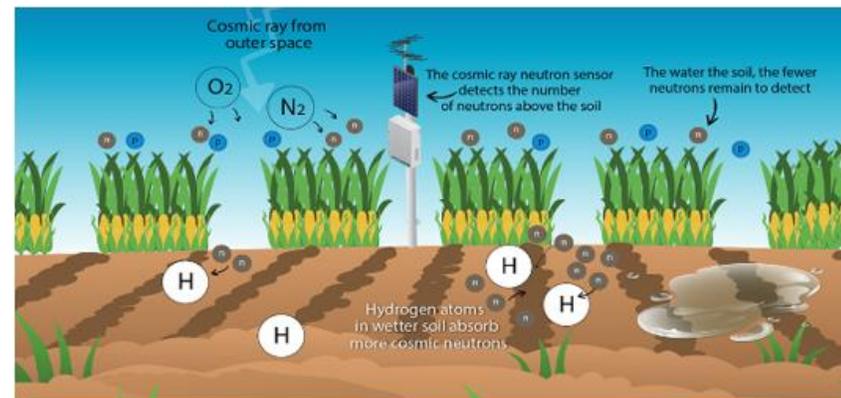
# 中子与地球科学 (核技术的应用)



中子测井, 周围地层结构及矿藏含量的地球物理方法, 中子源



中子活化分析该方法已被用于研究世界各地的地质构造、温泉、宝石和考古物品。中子源



宇宙线中子进行土壤水分测量

# 缪子和地球科学 (高能物理)

欧美/日本等完成了火山、活断层、金字塔等精细密度结构成像和动态监测, 大量成果发表于**地球物理刊物**

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L22311, doi:10.1029/2007GL031389, 2007

**GRL 2007**

**Imaging the conduit size of the dome with cosmic-ray muons: The structure beneath Showa-Shinzan Lava Dome, Japan**

H. K. M. Tanaka,<sup>1,2,3</sup> T. Nakano,<sup>4</sup> S. Takahashi,<sup>4</sup> J. Yoshida,<sup>4</sup> H. Ohshima,<sup>5</sup> T. Mackawa,<sup>5</sup> H. Watanabe,<sup>1</sup> and K. Niwa<sup>4</sup>

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

ELSEVIER

Earth and Planetary Science Letters 263 (2007) 184–193

EPSL

**EPSL 2007**

High resolution imaging in the inhomogeneous crust with cosmic-ray muon radiography: The density structure below the volcanic crater floor of Mt. Asama, Japan

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 36, L01304, doi:10.1029/2008GL036451, 2009

**GRL 2009**

**Cosmic-ray muon imaging of magma in a conduit: Degassing process of Satsuma-Iwojima Volcano, Japan**

Hiroyuki K. M. Tanaka,<sup>1</sup> Tomohisa Uchida,<sup>2</sup> Manobu Tanaka,<sup>2</sup> Hiroshi Shimohara,<sup>4</sup> and Hideaki Taira<sup>1</sup>

Geophysical Journal International

Geophys. J. Int. (2009) 183, 1348–1361

**GJI 2010**

Geophysical muon imaging: feasibility and limits

N. Lesparre,<sup>1</sup> D. Gibert,<sup>1</sup> J. Marteau,<sup>2</sup> Y. Déclais,<sup>2</sup> D. Carboné,<sup>3</sup> and E. Galichet<sup>4</sup>

Jour. de Physique de l'Etat de Solide (JMES) 17(4), Sorbonne Paris Cité, Paris, France, E-mail: [gibert@jmes.jussieu.fr](mailto:gibert@jmes.jussieu.fr)

Journal of Geophysical Research, VOL. 115, B12332, doi:10.1029/2010JB007677, 2010

**JGR 2010**

Three-dimensional computational axial tomography scan of a volcano with cosmic ray muon radiography

Hiroyuki K. M. Tanaka,<sup>1</sup> Hideaki Taira,<sup>2</sup> Tomohisa Uchida,<sup>3</sup> Manobu Tanaka,<sup>2</sup> Minoru Takeo,<sup>1</sup> Takao Ohmimoto,<sup>1</sup> Yosuke Aoki,<sup>1</sup> Ryuichi Nishitani,<sup>1</sup> Daigo Shoji,<sup>1</sup> and Hiroshi Tsuji<sup>1</sup>

Earth and Planetary Science Letters 308 (2011) 196–202

Contents lists available at ScienceDirect

ELSEVIER

Earth and Planetary Science Letters

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/epsl](http://www.elsevier.com/locate/epsl)

**EPSL 2011**

Cosmic muon imaging of hidden seismic fault zones: Rainwater permeation into the mechanical fractured zones in Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Japan

Hiroyuki K.M. Tanaka<sup>1\*</sup>, Hiroshi Miyajima<sup>2</sup>, Taro Kusagaya<sup>3</sup>, Akimichi Takeda<sup>4</sup>, Tomohisa Uchida<sup>5</sup>, Manobu Tanaka<sup>6</sup>

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 40, L07404, doi:10.1029/2012GL052477, 2013

**GRL 2013**

**Experimental detection of upward going cosmic particles and consequences for correction of density radiography of volcanoes**

K. Jourde,<sup>1</sup> D. Gibert,<sup>1,2</sup> J. Marteau,<sup>2</sup> J. de Bredon d'Ars,<sup>2</sup> S. Gardien,<sup>2</sup> C. Girerd,<sup>1</sup> J.-C. Imigro,<sup>3</sup> and D. Carboné<sup>4</sup>

AGU PUBLICATIONS

Journal of Geophysical Research: Solid Earth

**JGR 2014**

**Integrated processing of muon radiography and gravity anomaly data toward the realization of high-resolution 3-D density structural analysis of volcanoes: Case study of Showa-Shinzan lava dome, Utsu, Japan**

R. Nishiyama,<sup>1</sup> T. Tanaka,<sup>2</sup> S. Okada,<sup>3</sup> H. Ohshima,<sup>4</sup> H. K. M. Tanaka,<sup>5</sup> and T. Makishima<sup>6</sup>

nature COMMUNICATIONS

**Nature Comm. 2014**

ARTICLE

Received 13 Aug 2013 | Accepted 5 Feb 2014 | Published 10 Mar 2014

**Radiographic visualization of magma dynamics in an erupting volcano**

Hiroyuki K.M. Tanaka<sup>1</sup>, Taro Kusagaya<sup>2</sup> & Hiroshi Shinohara<sup>3</sup>

AGU PUBLICATIONS

Journal of Geophysical Research: Solid Earth

**JGR 2015**

**Joint measurement of the atmospheric muon flux through the Puy de Dôme volcano with plastic scintillators and Resistive Plate Chambers detectors**

F. Amelino<sup>1,2</sup>, A. Anselmi<sup>1</sup>, A. Basso<sup>1</sup>, S. Bona<sup>1</sup>, F. Botteri<sup>1</sup>, L. Bortone<sup>1</sup>, C. Carofano<sup>1</sup>, R. Ciommi<sup>1</sup>, C. Comincioli<sup>1</sup>, G. Corbelli<sup>1</sup>, B. D'Alfonso<sup>1,2</sup>, G. De Santis<sup>1</sup>, F. Fedi<sup>1</sup>, V. Ferraro<sup>1</sup>, G. Giamprini<sup>1</sup>, L. Giberti<sup>1</sup>, Ph. Leluyer<sup>1</sup>, L. Lottici<sup>1</sup>, S. Di Loreto<sup>1</sup>, V. Mammì<sup>1</sup>, D. Mammì<sup>1</sup>, L. Mucchetti<sup>1</sup>, L. Nanni<sup>1</sup>, S. Nanni<sup>1</sup>, V. Nanni<sup>1</sup>, P. Nanni<sup>1</sup>, A. Paoletti<sup>1</sup>, A. Paoletti<sup>1</sup>, A. Paoletti<sup>1</sup>, G. Scardone<sup>1</sup>, E. Scardone<sup>1</sup>, P. Strada<sup>1</sup> and R. Volante<sup>1</sup>

AGU PUBLICATIONS

Geophysical Research Letters

**GRL 2017**

**Three-dimensional density structure of La Soufrière de Guadeloupe lava dome from simultaneous muon radiographies and gravity data**

M. Rossi-Caraglia<sup>1</sup>, Kenji Jourde<sup>2</sup>, Jacques Marteau<sup>3</sup>, Sébastien Dessoust<sup>4</sup>, Jean-Christophe Remonville<sup>5</sup>, and Dominique Gibert<sup>6</sup>

Pure and Applied Geophysics

**PAGOPH 2017**

3D Cosmic Ray Muon Tomography from an Underground Tunnel

Elena Guandini<sup>1</sup>, Charlotte Rowe<sup>2</sup>, Emily Schwarz-Fellous<sup>3</sup>, Mourad Roy<sup>4</sup>, Nicolas Rowe<sup>5</sup>, Christophe Morin<sup>6</sup>, James Brown<sup>7</sup>, Matthew Demko<sup>8</sup>, Dariusz Mironik<sup>9</sup>, Koen Pluym-Kaas<sup>10</sup>, Daniel Paulson<sup>11</sup>, David Bader<sup>12</sup>, Alan Bonville<sup>13</sup>, and Ricardo Rojas<sup>14</sup>

nature Accelerated Article Preview

**nature 2017**

LETTER

doi:10.1038/nature25647

**Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons**

Naoki Morimoto,<sup>1</sup> Mitsuo Imai,<sup>2</sup> Akihiro Nishio,<sup>3</sup> Seisuke Kitagawa,<sup>4</sup> Yuta Manabe,<sup>5</sup> Masaki Muro,<sup>6</sup> Fumihiko Takasaki,<sup>7</sup> Hirofumi Fujii,<sup>8</sup> Kazuo Sasaki,<sup>9</sup> Hajime Kodama,<sup>10</sup> Kohji Hayashi,<sup>11</sup> Shigeru Otake,<sup>12</sup> Shotaoki Iwamoto,<sup>13</sup> David Ariz,<sup>14</sup> Shunji Higashi,<sup>15</sup> Daniel Cahar,<sup>16</sup> Christopher Elmer,<sup>17</sup> Patrick Maguire,<sup>18</sup> Takashi Moriguchi,<sup>19</sup> Yuta Kubota,<sup>20</sup> Kenji Maruyama,<sup>21</sup> Fumiya Goto,<sup>22</sup> Naoki Sugita,<sup>23</sup> Masaki Sugawara,<sup>24</sup> Yasser Elshayeb,<sup>25</sup> Tamer Elmarz,<sup>26</sup> Moustafa Faray,<sup>27</sup> Emmanuel Guertens,<sup>28</sup> Vincent Stoger,<sup>29</sup> Nicolas Bouchard,<sup>30</sup> Jean Baptiste Moisset,<sup>31</sup> Bernard Charbit,<sup>32</sup> Hany Helal<sup>33</sup> and Mehdi Tayebi<sup>34</sup>

Geophysical Journal International

Geophys. J. Int. (2019) 224, 1643–1662

**GJI 2019**

Joint inversion of gravity with cosmic ray muon data at a well-characterized site for shallow subsurface density prediction

Katherine Cosburn<sup>1</sup>, Moussini Roy<sup>1</sup>, Elena Guandini<sup>2</sup> and Charlotte Rowe<sup>2</sup>

Geophysical Journal International

Geophys. J. Int. (2019) 224, 1683–1702

**GJI 2019**

Joint inversion methods with relative density offset correction for muon tomography and gravity data, with application to volcano imaging

Peter G. Lelièvre<sup>1,2</sup>, Anne Barnoud<sup>1,2,3</sup>, Valentin Niess<sup>2</sup>, Cristina Cârloganu,<sup>2</sup> Valérie Cayol<sup>1,4</sup> and Colin G. Farquharson<sup>1</sup>

Geophysical Journal International

Geophys. J. Int. (2019) 224, 2179–2194

**GJI 2019**

Bayesian joint muographic and gravimetric inversion applied to volcanoes

Anne Barnoud<sup>1,2,3</sup>, Valérie Cayol<sup>2,3</sup>, Valentin Niess<sup>1</sup>, Cristina Cârloganu,<sup>1</sup> Peter Lelièvre<sup>1</sup>, Philippe Labazuy<sup>4</sup> and Eve Le Méhauté<sup>5</sup>

Geophysical Research Letters

**GRL 2019**

**Plug Formation Imaged Beneath the Active Craters of Sakurajima Volcano With Muography**

Laoshi Oaki<sup>1</sup>, Hiroyuki K. M. Tanaka<sup>2</sup>, Takao Ohmimoto<sup>3</sup>, Gergely Horváth<sup>4</sup>, and Daisuke Naga<sup>5</sup>

第30卷第5期 地球物理学报 Vol.30, No.5  
1987年9月 ACTA GEOPHYSICA SINICA Sept., 1987

综述

**地下宇宙线研究的物理和工程应用**

周大庄 周志文 程纯杰 马福胜  
(中国科学技术大学地球与空间科学系,合肥)

第19卷第1期 中国科学技术大学学报 Vol.19, No.1  
1989年3月 JOURNAL OF CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Mar., 1989

**天然状态下岩石密度的μ子测量法\***

周大庄 马福胜 程纯杰  
(地球与空间科学系)

第33卷第2期 地球物理学报 Vol.33, No.2  
1990年3月 ACTA GEOPHYSICA SINICA Mar., 1990

**宇宙线μ子能谱及其应用\***

周大庄 周志文 程纯杰 马福胜  
(中国科学技术大学地球与空间科学系,合肥)

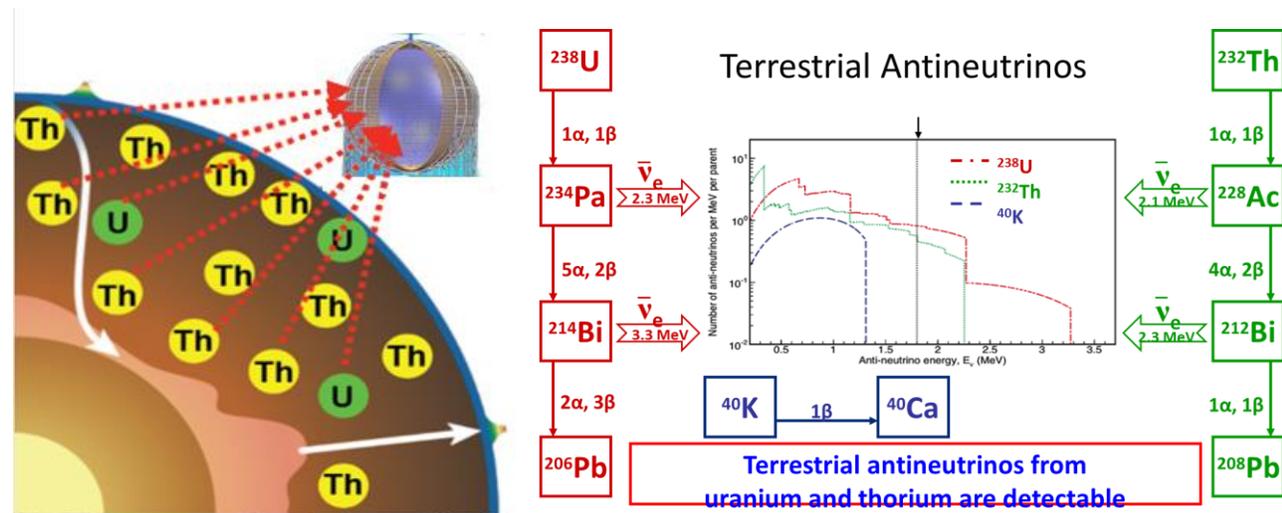
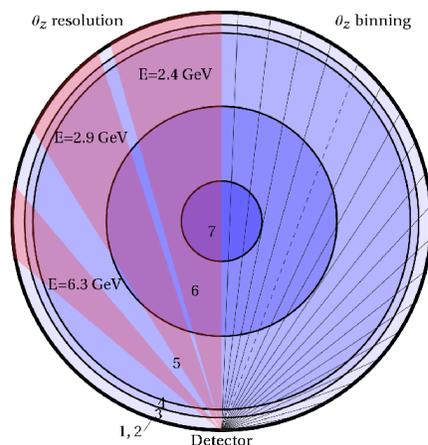
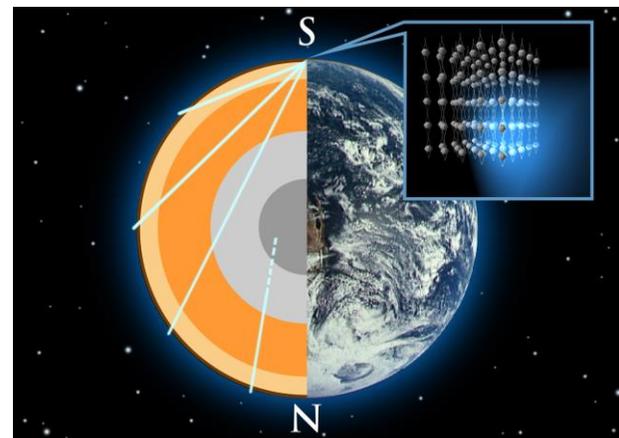
**我国学者早在1987年已开展缪子成像岩石密度原位测量**

9

# 缪子和地球科学 (高能物理)



# 中微子和地球科学 (高能物理)



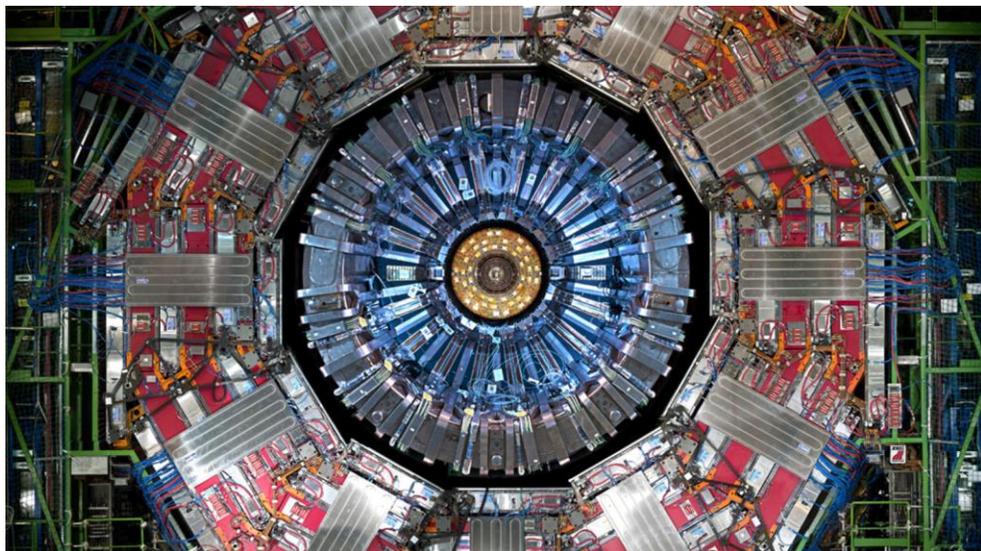
大气中微子, 地球物理信息

地球中微子, 地球化学信息

# 高能物理和地球科学交叉融合中 的一些问题

手段还是融合？ Benefits for both!

# 探测器硬件方面



## 高能物理科学目标 对探测装置的要求

- 1- 能量高数量大作用几率小, “大科学装置”, 造价高
- 2- 仪器要求精度高  
    时间测量精度 “ps 量级”  
    位置分辨率高 “ $\mu\text{m}$ 量级”  
    能量分辨率高 “千分之1”  
    复杂、多路、高速电子学系统, 造价高昂
- 3- 观测时间长: 一个大科学装置 10年起步, 时间成本高  
    (室内运行; 国际领先的科学目标)

## 地球科学目标 对探测装置的要求

- 1- 原位测量, 便携式, 阵列式,  
    “传感器型”, 造价低 (小型化、阵列式中微子探测器)
- 2- 仪器精度+布阵密度 给出 待测物体的精度
- 3- 随测随走: “飞一圈”, 要求时间成本低  
    (野外观测; 科学目标结合工程应用)

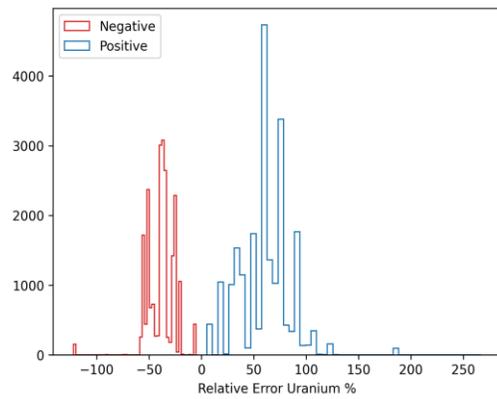
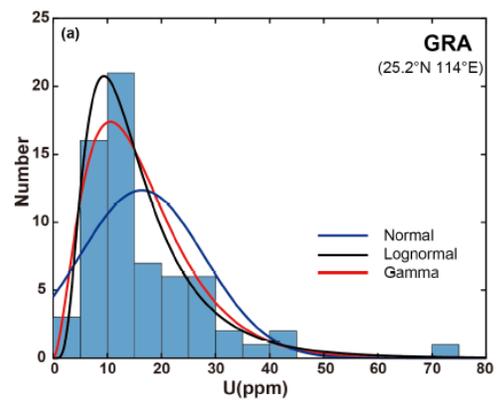
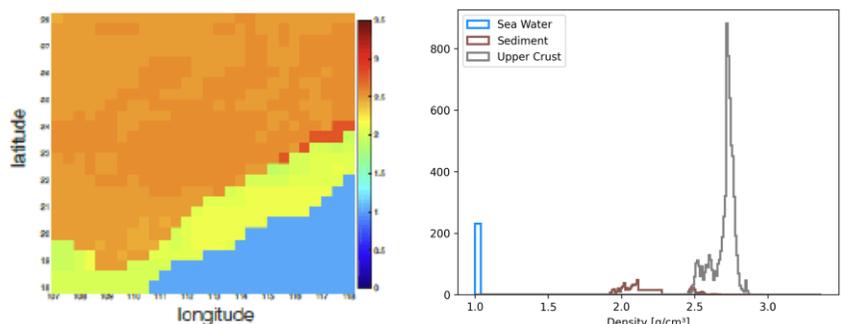
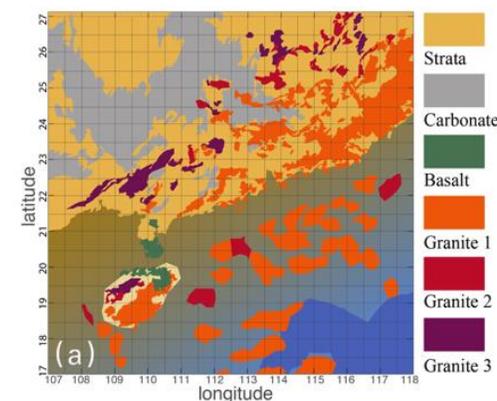
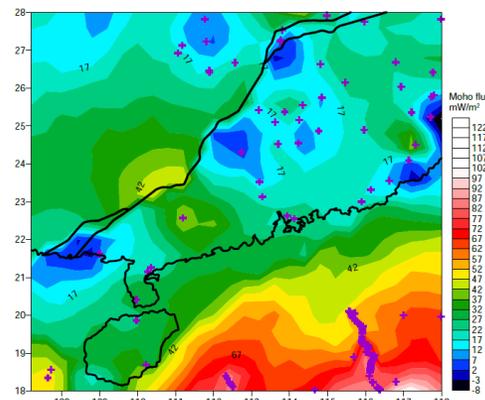
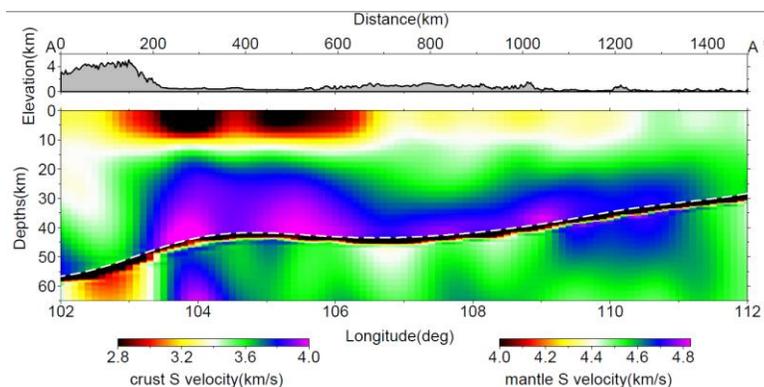


# 数据分析方面

高能物理（实验科学）和地球科学（观测学科）：实验数据驱动；

地球科学：野外采集→分析数据→建模→科学解释

高能物理：采集数据→数据分析（筛选、本底、误差...）→物理目标



Vs 测量中仪器误差，实验方法误差，Vs反演算法误差，Vs和ρ转化关系带来的误差....)

最终这些误差 如何传递到地球中微子通量计算上

大误差如何传递给中微子？花岗岩的展布是不是可以作为误差？

# 机器学习算法在粒子物理和地球科学上的应用



中国科学院  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，率先实现科学技术跨越发展，率先建成国家创新人才高地，率先建成国家高水平科技智库，率先建设国际一流科研机构。

——中国科学院办院方针

首页 组织机构 科学研究 成果转化 人才教育 学部与院士 科学普及 党建与科学文化 信息公开

首页 > 每日科学

筛选海量数据 识别图像特征

## 粒子物理学离不开人工智能

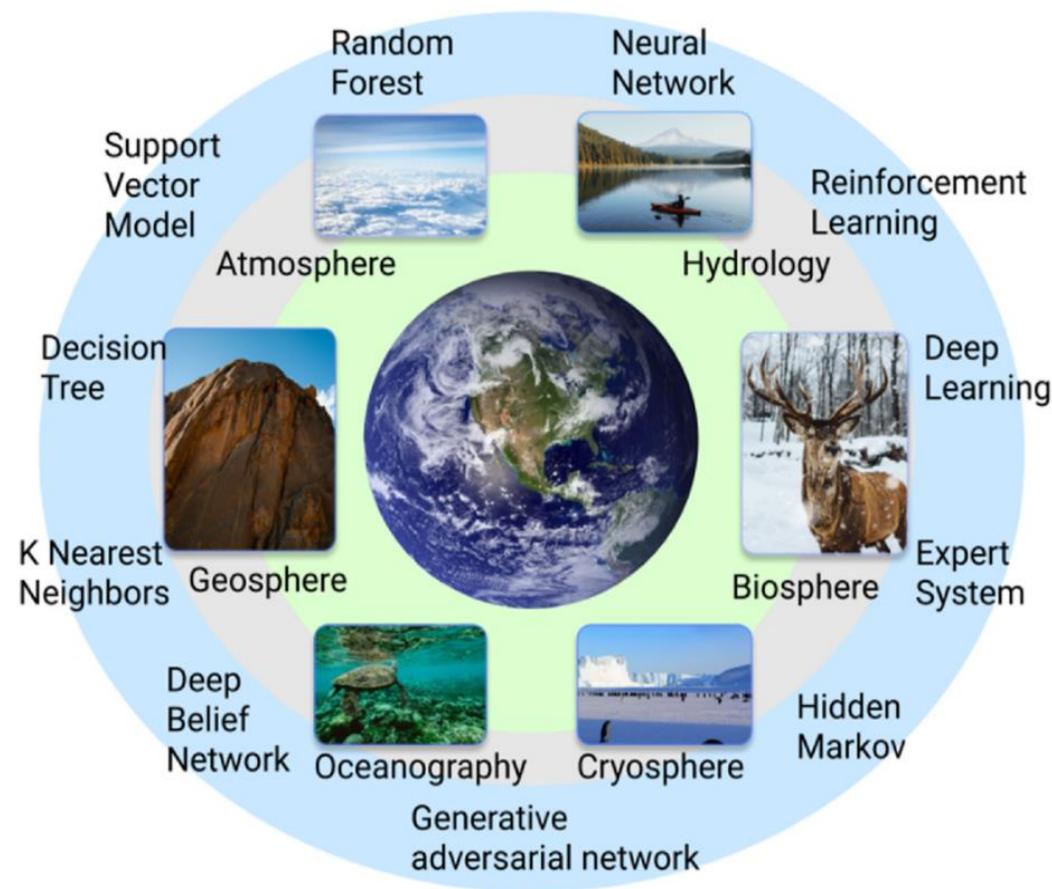
2018-08-07 来源: 科技日报 刘震 [字体: 大 中 小] 语音播报

位于欧洲核子研究中心 (CERN) 的大型强子对撞机 (LHC) 是目前世界上最大的粒子加速器，在里面进行的实验每秒产生大约一百万吉字节 (GB, 十亿字节) 的数据。即使经过压缩，LHC在一小时内积累的数据也与社交网站脸书全年收集的数据量相当。这么海量的数据，给存储和分析带来了极大难题。幸运的是，粒子物理学家不必自己处理所有这些数据。他们与一种称为机器学习的人工智能 (AI) 携手合作，来处理这些数据。

来自美国能源部斯坦福直线加速器中心 (SLAC) 和费米国家加速器实验室的科学家，在8月2日发表于《自然》杂志的一篇文章中，总结了机器学习在粒子物理学领域的当前应用和未来前景。

该论文共同作者、美国威廉玛丽学院的亚力山大·拉多维奇说：“机器学习算法自己知道如何进行各种分析，这有望为我们节省无数小时的设计和分析工作。”拉多维奇目前正参与费米实验室的NuMI离轴中微子实验 (NOVA)。

《自然》(2018)，机器学习在粒子物理学领域的当前应用和未来前景



Comput Geosci (2022) | 地球科学人工智能研究评述

# 抛砖引玉

## 技术层面融合, benefit for both

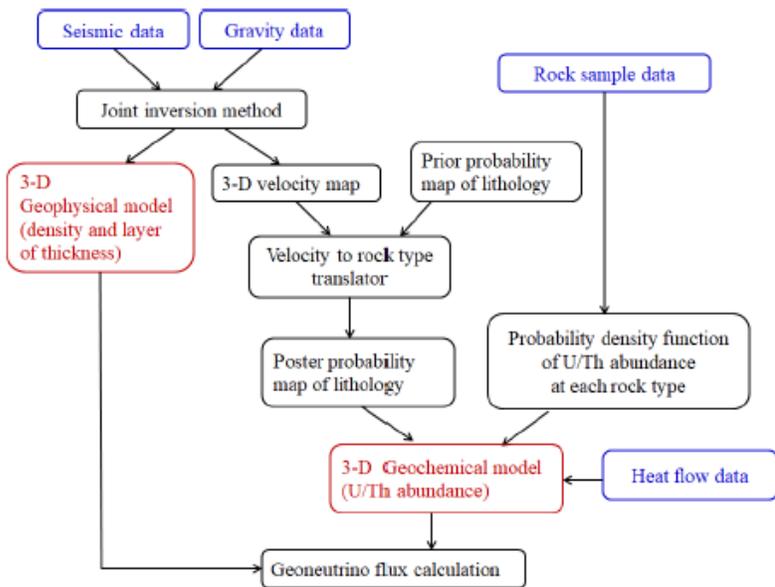
- 某学科的方法, 应用到另一学科
- 研究结果互相推进
- 仪器上如何融合?

## 交叉学科发展

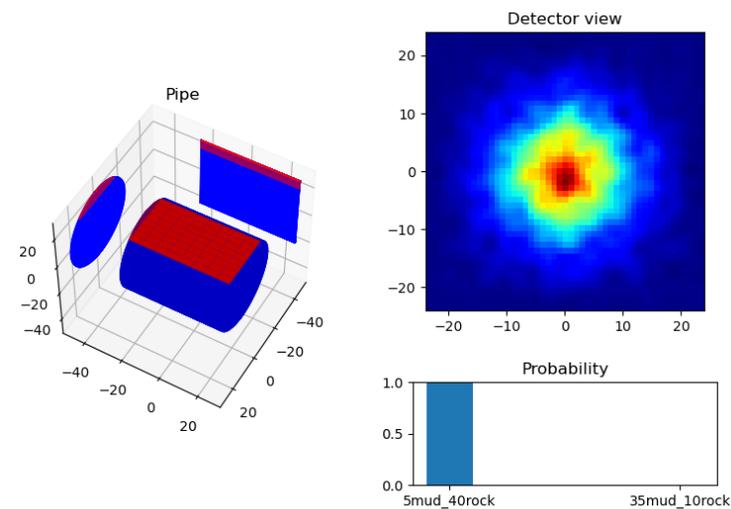
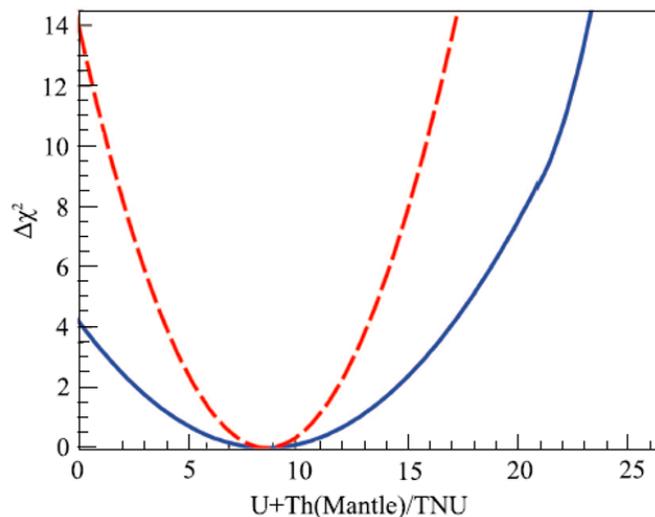
- 有没有重大科学问题或者工程应用紧迫性?
- 建立一个交叉学科? 基金委“交叉学部”建方向?

## 大数据时代下, AI方面融合

交叉学科研究的智能计算方面的融合, 给出交叉学科重大科学问题或者工程应用的飞跃?



$$R(\text{Mantle}) = R(\text{total, exp.}) - R(\text{Crust, pred.})$$



**Thank You**

