

诺贝尔奖大师力作
解密地底1000米
超级神冈中微子探测器

Explore
the Universe
from the Inner Earth

[日] 户塚洋二 梶田隆章 著
施佳贤 译

从地底 发现宇宙



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

Explore
the Universe
from the Inner Earth

从地底 发现宇宙

[日] 户塚洋二 梶田隆章 著
施佳贤 译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

中微子是组成自然界的最基本的粒子之一,中微子质量之谜的突破,可谓开启粒子物理学理论框架被改写的新篇章。本书以通俗、风趣的语言讲解了高能物理学的发展史、宇宙射线的发现、太阳能量之谜、超级神冈如何探测中微子并发现其质量。

图书在版编目(CIP)数据

从地底发现宇宙 / (日) 户塚洋二, (日) 梶田隆章
著; 施佳贤译. —上海: 上海交通大学出版社, 2017
ISBN 978-7-313-16779-8

I. ①从… II. ①户… ②梶… ③施… III. ①中微子
—研究 IV. ①O572.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 050068 号

**CHITEI KARA UCHU O SAGURU: NYUTORINO SHITSURYO GA HAKKEN SARERU
MADE, REVISED AND ENLARGED EDITION**

by Yoji Totsuka and Takaaki Kajita

© 1995, 2016 by Hiroko Totsuka and Takaaki Kajita

Originally published in 2016 by Iwanami Shoten, Publishers, Tokyo.

This simplified Chinese edition published in 2017

by Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai

by arrangement with the proprietor c/o Iwanami Shoten, Publishers, Tokyo

上海市版权局著作权合同登记号: 图字: 09-2016-242

从地底发现宇宙

著 者: [日] 户塚洋二 梶田隆章

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 郑益慧

印 制: 苏州市越洋印刷有限公司

开 本: 880mm×1230mm 1/32

字 数: 81 千字

版 次: 2017 年 4 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-16779-8/O

定 价: 39.00 元

译 者: 施佳贤

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 4.625

印 次: 2017 年 4 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0512-68180638

中译本序言

2008年8月4日,我应邀在美国费城召开的第三十四届国际高能物理会议(ICHEP2008)上作了题为《关于中微子性质的理论综述》(*Theoretical overview of neutrino properties*)的大会邀请报告。这是我职业生涯中最重要的一场学术报告。按照惯例,报告之后是提问环节,但是主持人面色凝重地告诉我,他们要在提问环节之前安排一段小插曲。于是我站在讲台上,和台下的近千名听众一道获悉了令人悲伤的消息:国际著名物理学家、当代中微子振荡实验的领军人物之一户塚洋二(Yoji Totsuka)教授不幸于2008年7月10日因患肠癌去世,享年66岁。

户塚教授就是《从地底发现宇宙》一书的第一作者,他不仅参与了日本神冈中微子探测器的建造,也曾是超级神冈实验项目的领导人,为前者发现1987A超新星爆发所产生的中微子事例和后者发现神奇的大气中微子振荡现象做出了杰出贡献。为此他生前荣获了诸多奖项,也是诺贝尔奖的热门人选。2002年度的诺贝尔物理学奖得主小柴昌俊

(Masatoshi Koshiha)教授是户塚的学业恩师和科研合作者,他在自己的爱徒去世后痛惜地作文悼念,称:假如户塚的生命得以延续一年半左右的话,那么他一定会被授予诺贝尔奖。户塚教授的早逝,令学界同仁唏嘘不已。因为不断被医生警告说生命只剩下三个月了,户塚在离世前留下了自己的博客“第四个‘三个月’”(the fourth “three-months”),里面详细记录了他与病魔作最后抗争的心得体会,而这也成为与他的科学精神彼此印证的另一种传奇。

2015年,姗姗来迟的诺贝尔物理学奖的桂冠被戴到了户塚的师弟兼挚友梶田隆章(Takaaki Kajita)教授的头上,以表彰他对超级神冈实验发现大气中微子振荡所做出的卓越贡献。梶田教授是《从地底发现宇宙》一书的第二作者,他在该书的增补章部分介绍了超级神冈实验是如何获得关于大气中微子振荡的无可争议的突破性成果,从而将中微子物理学带入持续了约十五年的黄金时代,直到中国的大亚湾反应堆实验于2012年成功地发现了短基线反中微子振荡模式并精确测量了最小的中微子混合角。梶田教授目前担任东京大学宇宙射线研究所的所长,他在得知自己获得诺贝尔奖之后对新闻媒体调侃道:“我理所当然要感谢中微子。由于大气中微子产生于宇宙线,我也要感谢宇宙线!”

是的,《从地底发现宇宙》所描写的正是户塚和梶田等

科学家如何从观测宇宙射线入手来深刻理解宇宙本身的神奇奥秘。这本书短小精悍但却引人入胜,其文风与两位作者的导师小柴教授的自传《我不是好学生》异曲同工,值得所有爱好科学的人阅读并从中感悟科学家那种与众不同的人文情怀。

邢志忠

2017年3月9日于北京

译者序

从日本中部地区岐阜县的深山里,诞生了两个半诺贝尔奖。

2002年,小柴昌俊教授凭借由其领导的神冈实验室所做出的重大发现:太阳中微子与理论预言存在差异,并首次截获了由超新星爆炸所释放的中微子,从而与美国物理学家雷蒙德·戴维斯分享了当年度的诺贝尔物理学奖。

2015年,小柴的高徒,本书增补章的作者,梶田隆章教授,因其发现了中微子存在质量而与加拿大物理学家阿瑟·B.麦克唐纳分享了当年度的诺贝尔物理学奖。

是为两次。

剩下的半次,则属于本书的第一作者户塚洋二教授。作为小柴的主要后继者,户塚教授领导了神冈探测器的主要工作,在中微子观测领域独树一帜,凭借其对基本粒子物理学做出的巨大贡献,是当之无愧的诺贝尔奖候选人。令

人遗憾的是，户塚教授因患肠癌于 2008 年离世，从而与诺贝尔奖失之交臂。

二

户塚洋二出生于太平洋战争时期的 1942 年，从小在静冈县富士市长大。高中毕业后考入东京大学理学部物理学科，1972 年以博士学位毕业，曾先后担任东京大学理学部教授，以及东京大学宇宙射线研究所教授，可以说是战后日本本土培养出来的科研中坚力量。

户塚教授自 1995 年起担任神冈宇宙基本粒子研究设施的所长，并在 1997 年升任东京大学宇宙射线研究所的所长。1998 年，在他的带领下，超级神冈探测器成功地观测到了中微子振荡现象，从而证明了中微子质量并不为零这一划时代的重大科学成果。2002 年，户塚教授转任高能加速器研究机构基本粒子原子核研究所的所长，直至去世。

曾与户塚教授共事，并接受过其指导的梶田隆章教授于 2015 年摘取了诺贝尔奖。而在 2009 年，以户塚教授的名义设立的户塚洋二奖，其第一届获奖者也正是梶田教授。

梶田隆章出生于 1959 年，是埼玉县东松山市人。本科毕业于埼玉大学，在东京大学取得了博士头衔。现在担任东京大学宇宙射线研究所所长兼附属宇宙中微子观测信息融合中心主任。梶田教授在获得诺贝尔奖后接受记者采访

时曾被问及：“如果户塚先生还活着的话你觉得会和他分享诺贝尔奖吗？”，“我是这么认为的”，梶田教授对此毫不犹豫地回答道。

三

本书从本质上来说，不仅仅是一部有关中微子物理知识的科普作品，也是一部介绍中微子科学发现史的纪实作品，更是一部体现了户塚和梶田两位大师科学精神的科学随笔。

书中，户塚教授以平实的语调和浅显的文笔，将深奥的核物理学以及基本粒子物理学的基本概念，如同讲故事般娓娓道来。其深入浅出的笔法，即使是不具备相应物理学知识的一般读者读来，想必也不会有太多障碍。在不知不觉之间，宇宙射线、 μ 子、云室、中微子、 β 衰变等这些令人望而却步的物理学概念，也会在潜移默化之间变得熟悉，甚至亲切起来。

同时，户塚教授博闻强识，将 19 世纪以来人类在基本粒子物理学上取得的成果，有机地融合到对物理概念的介绍之中。一代又一代杰出的物理学先驱，其名字或如雷贯耳，或对一般读者来说略显生疏，如走马灯般登场谢幕，其性情、其事迹、其得意、其苦恼，随着对其研究活动的介绍而逐次展开，自然地走进读者的视野。

户塚教授在行文之中，会时不时地抒发一些个人对科学研究的心得体会。作为科学研究先进国家日本的超一流科学家，他对美国的科研制度和研究方法，以及做学问的态度进行了不带偏见的观察，并坦诚地对日本欠缺的地方进行了深刻的反思。不仅如此，作为一名富有经验的科学界前辈，户塚教授对学界的年轻一辈进行了鞭策，提出了许多富有建设性的意见和指摘。大师一针见血又平易近人的态度，必能让后学者们获益匪浅。

两位大师在学术上专攻一致，而又各有建树，然而其性格却大异其趣。这可以从本书正文和增补章字里行间的行文风格上一窥端倪。户塚教授为人直爽，富有幽默感，待人和气，却又严于律己，在学术追求上有着非同寻常的热情，是一位天生的领导者。而另一方面，梶田教授温厚冷静，虽并不很擅长言辞，但在科研的态度上却是十分地严谨。文如其人，由此，本书的正文和增补章的文风是不太一样的，译者尽可能忠实地保留了原文的原汁原味，希望读者能够借此深入体会两位大师不一样的性情特质。

四

近年来，日本在科学研究领域成就颇丰，进入 21 世纪以来，更是连年摘得诺贝尔奖自然科学部门的桂冠。这除了和日本政府本身多年以来在科研领域持之以恒的投入和

积累有关以外,还与日本良好的科研环境,尤其是社会上浓厚的科学氛围和民众的科学素养是分不开的。本书日文原版由岩波书店出版,岩波书店是一家历史悠久的老牌出版社,以出版优秀的学术书籍,传播弘扬科学和文化为宗旨。而两位作者皆是诺奖级的大师,在繁忙的学术工作之余,愿意为大众撰写通俗的科学作品,为普及科学精神贡献自己的力量,是真正值得尊敬的大师,也是我们理应效仿的榜样。

上海交通大学出版社作为国内一流的大学出版社,能够在第一时间引进出版本书,无疑是做了一件有利于提高我国民众科学素养的好事,也是这种科学精神的最佳体现。而中国,拥有以屠呦呦为代表的一批优秀的科学家,也在向着科学的顶峰前进。相信本书的出版,能够吸引大众热爱科学、亲近科学,也能够指引更多年轻的科学爱好者们走上科研的道路,为国家的荣誉增光添彩,为人类的福祉做出贡献。

最后,译者要感谢出版社的陈艳编辑在本书出版工作中所付出的心血,以及译者的家人在本书的翻译工作上所给予的无私支持。

施佳贤

2017年3月2日

关于增补章的说明

本书是在岩波科学系列中的一册，即于一九九五年刊行的户塚洋二所著《从地底探索宇宙》的基础上，增补收录了由其共同研究者梶田隆章亲自撰写、介绍此后研究成果的《中微子的质量——超级神冈对大气中微子的观测》（《科学》杂志一九九八年三月号）一文，合并为新版发行。

户塚氏的著作原文照录，梶田氏的文章由原来的横排改为竖排，与之相应地调整了数字的标记法等。两部分中出现的人物头衔和观测数据等都保持当时的原样。

岩波书店编辑部

2016年2月



目录

序 章 神冈宇宙基本粒子研究设施 / 1

研究生生活何其孤独 / 2

顽强的美国人 / 4

超级神冈和新的研究环境 / 6

第1章 宇宙射线的发现 / 8

从金属箔验电器里发生的电 / 8

赫斯的发现 / 9

用云室观察宇宙射线 / 10

正电子的发现 / 12

μ 子的发现 / 15

宇宙射线原来是从宇宙来的原子核 / 17

π 介子的发现 / 18

飞行中的粒子更长寿?! / 21

V 粒子的发现 / 23

第2章 高能物理学和宇宙射线 / 25

加速器的发明 / 25

在实验室里制造宇宙射线 / 27

达到极限的加速能量 / 28

宇宙射线东山再起——中微子 / 30

带着宇宙间最大能量的宇宙射线 / 31

引力波 / 32

第3章 中微子是什么 / 34

β 射线的发现 / 34

β 衰变之谜 / 36

泡利的中微子假说 / 38

中微子和反中微子 / 40

怎样捕捉中微子? / 42

中微子的发现 / 44

第4章 太阳能量之谜 / 48

太阳和放射线的反能源危机 / 48

对逆能源危机的解释 / 50

太阳能来源于核聚变反应 / 52

太阳中微子 / 54

戴维斯的太阳中微子观测 / 57

太阳中微子的数量不够! / 59

第5章 神冈诞生的故事 / 62

在神冈诞生之前 / 62

质子衰变会导致万物寂灭? / 64

切连科夫辐射 / 67

水切连科夫装置和光电倍增管 / 70

从光电倍增管获得的信号 / 73

神冈的建设 / 75

终于到了完工的那一刻 / 78

第6章 捕捉到中微子了 / 80

质子衰变并未发生 / 80

转向中微子观测 / 81

超新星爆炸的消息 / 85

什么是超新星? / 86

来自超新星 SN1987A 的中微子 / 90

三种中微子 / 93

成功观测到了太阳中微子 / 94

太阳中微子之谜 / 96

第7章 迎来超级神冈 / 99

新的启程 / 99

对超级神冈的殷殷期待 / 103

任重而道远 / 105

增补章 中微子的质量

——超级神冈对大气中微子的观测 / 111

中微子 / 111

测量中微子的质量 / 112

大气中微子 / 115

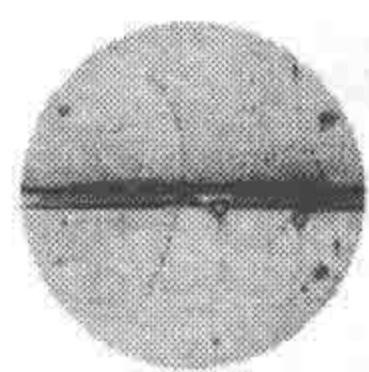
捕捉中微子的巨大水槽——超级神冈 / 116

超级神冈捕捉到中微子质量的证据 / 120

天顶角分布的非对称 / 123

目标是新物理学的突破口 / 125

后记 / 127



序章

神冈宇宙基本粒子研究设施

一上来就是这么唬人的名字。那就在进入正题之前，先简单解释一下这个名字的由来吧。所谓“神冈”，是观测设施所在的岐阜县的地名。所谓“宇宙基本粒子”，指的是通过观测宇宙来解开基本粒子之谜，以及通过观测从宇宙中来的基本粒子来解开宇宙之谜这两个研究目的。所谓“研究设施”，指的是研究装置以及聚集着数名研究人员的场所。开动和维护观测装置是相当花钱的，所以才特地起了这么难懂的名字，这样才好从国家那里拿到必要的预算。如果要正确发音的话，估计会咬到舌头，所以我们一般都叫它神冈观测所。

这个观测所坐落于奥飞驒地区神冈的矿山小镇边上的一个叫做茂住的地方。茂住那里有一些设施，拥有最新型的计算机系统以及能够与大城市和国外的大学进行信息交换的高速通信线路。但由于大部分的装置都位于地下