

TURING 图灵新知

消失的
与
幸存的
粒子
世界

镜中的 宇宙

——著

——译

集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

镜中的 宇宙

Hitoshi Murayama

消失的
与
幸存的
粒子
世界

[日] 村山齐 ————— 著
逸宁 ————— 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

镜中的宇宙:消失的粒子与幸存的世界/(日)村山齐著;逸宁译.--北京:人民邮电出版社,2019.6

(图灵新知)

ISBN 978-7-115-49583-9

I. ①镜… II. ①村… ②逸… III. ①宇宙—普及读物 IV. ①P159-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第228835号

内 容 提 要

我们以及我们的物质世界,为何能存在于宇宙?物质与反物质成对湮灭,应当使得宇宙中空无一物,但一部分反物质却神秘消失,物质世界因而得以幸存。这背后的神秘“力量”究竟是什么?

本书围绕“我们为何存在于宇宙”这一问题,从可感的物质世界出发,层层深入至微观粒子世界,结合基本粒子标准模型的体系,一路探索至中微子与反物质及物质世界间的隐秘关系。本书不只沉潜于对前沿研究的讲解,更是一部激荡人心的自然解谜佳作,能够让读者体会到自然探索中的感动与沉醉。

◆ 著 [日]村山齐

译 逸 宁

责任编辑 武晓宇

装帧设计 broussaille 私制

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

◆ 开本:880×1230 1/32

印张:6

字数:106千字 2019年6月第1版

印数:1-4000册 2019年6月河北第1次印刷

著作权合同登记号 图字:01-2017-3138号

定价:49.00元

读者服务热线:(010)51095183转600 印装质量热线:(010)81055316

反盗版热线:(010)81055315

广告经营许可证:京东工商广登字20170147号

前言

我们的身体是由物质组成的。除此之外，我们身边的一切，甚至包括地球、太阳等天体也是由物质构成的。可以说，我们生存在被物质包围的环境之中。如果将物质层层分割，就会来到原子的层级。原子(atom)一词源自古希腊语 atomos，意思是“不可继续分割的”。在原子发现之初，人们为了表明它是构成物质的最基本粒子，故将其命名为原子。

然而，之后的研究表明，原子并不是最基本的粒子，它是由带正电的原子核与带负电的电子构成的。后来的研究进一步发现，原子核由质子和中子构成，而质子与中子又分别由三个夸克构成。除此之外，一些新的基本粒子也相继被发现。

在发现上述这些基本粒子的同时，研究者还发现任何物质都存在与之对应的反物质。既然原子中存在电子和质子等粒子，那么也一定存在与这些粒子相对应的反物质。

1932年，美国物理学家安德森从宇宙射线中发现了反物质。随后，约里奥-居里夫妇(居里夫人的女儿及女婿)在1933年制造出了电子的反物质——正电子，这是人类首次成功制造出反物质。此

外，1955年研究人员在加利福尼亚大学伯克利分校利用大型基本粒子加速器，成功制造出了质子的反物质——反质子。

根据现阶段的基本粒子理论可知，一种物质势必和它相对应的反物质同时产生，研究者将这一现象称为“成对产生”。此外，一旦某种物质遇到与其相匹配的反物质，两者间就会发生“成对湮灭”现象，那么这种物质和它的反物质都会就地消失。不过，它们只是作为“物质”消失了，消失之后会产生等同于二者质量总和的能量。也就是说，“成对湮灭”可以看作是将物质与反物质的质量转变成能量的现象，而由这一现象产生的能量又会被用于生成其他的物质及其反物质。

物质与其对应的反物质一定具有相同的质量，然而它们的电性却是相反的。如果物质带正电，那么其反物质则带负电。

举例来说，我们无法自己看见自己的脸。虽然在化妆等情况下，我们可以通过镜子看见自己的脸，但严格来说，映在镜子中的脸并不是自己的脸。镜中的脸与实际的脸是左右相反的，所以即便看起来几乎一模一样，也无法说镜中的脸就是自己的脸。

物质与反物质的关系很像镜子内外“两个自己”的关系。我们把类似于镜子内外两个世界中某种要素正好相反的性质称为“对称性”。不过，反物质与物质的“对称性”并不是在影像上的左右相反，而是在电性上相反。

我们眼前世界中的一切都是由物质构成的，冰激凌也是如此。即使存在由反物质构成的冰激凌，我们也无法从外观去识别出来，因为反物质和物质对光的反应是完全一样的。此外，它们还具有相同的质量，所以很难将其区分开来。

不过，如果我们用手去拿反物质冰激凌，那麻烦可就大了。因为我们的身体是由物质构成的，所以如果接触到由反物质构成的冰激凌，就会发生大规模的湮灭，从而导致我们痛失手臂。这听起来令人毛骨悚然，不过在发生湮灭时，如果我们损失的只是一只手，那么这样的结果尚且算得上是幸运了。

大家知道爱因斯坦根据相对论推导出的著名公式 $E = mc^2$ 吧？这个方程式表明，质量等同于能量，并且二者可以相互转换。前文提到过，物质与反物质碰撞发生湮灭后会转化成能量，这就是根据上面的公式推导出来的。

在这一公式中， E 表示能量， m 表示质量，也就是重量。此外， c 表示光速。也就是说，能量和质量可以相互转换。由于公式右边是质量乘以光速（约为每秒 3 亿米）的二次方，因此即便是微乎其微的质量，如果将其全部转换成能量，也将是非常巨大的。

如果将物质的质量全部转换成能量，即能量转化效率为 100% 的话，那么由此所产生的巨大能量大约是汽车发动机中汽油爆燃时

释放能量的3亿倍。也就是说，在质量相同的情况下，反物质与物质发生碰撞产生的能量相当于汽油所释放能量的3亿倍。

单从这个角度来看，反物质似乎是一种十分理想的能源，因此它也经常在科幻作品中露面。在美国电视连续剧《星际迷航》(Star Trek)中，反物质作为“进取号”星舰的燃料为其提供飞行动力，而小说《天使与魔鬼》的故事则是从一名科学家瞒着研究所所长私自研制出0.25克反物质开始讲起的。

也许有人会想，不就是0.25克吗，有什么大不了的？事实上，如果0.25克的反物质遇到相同质量的物质就会产生巨大的能量，威力相当于第二次世界大战期间投掷在日本广岛的原子弹。幸亏在我们身边不存在反物质，这样我们才能过上如此和平安全的生活，否则后果将是不堪设想的。

不过，制造0.25克反物质的总费用约高达 10^{22} 日元，所以大学和企业几乎不可能制造出反物质。在《天使与魔鬼》中，科学家花掉了那么多钱却没有被所长发现，我想他们一定有巨额的研究经费，真是一家令人羡慕的研究所。(笑)

消失的反物质

在日常生活中，我们是不会遇到反物质的，但在宇宙中情况如何呢？其实，即使在浩瀚的宇宙空间内也几乎搜寻不到反物质的身影。不过，如果让时光倒回到宇宙诞生之初，我们应该就能发现大量的反物质了。

宇宙诞生后紧接着发生了大爆炸，大量的能量以光和热的形式释放出来。在这种环境下，我们的宇宙根本不用花费巨资就创造出了大量反物质。当然，产生反物质的同时也就产生了物质，所以当时的宇宙中也存在大量的物质。我们认为在宇宙形成初期，宇宙的规模要远远小于现在的宇宙，当时的物质与反物质就在初生宇宙的小空间中，不断重复着诞生和消亡。

后来，宇宙的规模不断扩大，温度也逐渐下降，整个宇宙开始冷却下来。此时，物质与反物质相遇的频率也逐渐降低，但只要二者相遇就会转化成能量。另一方面，随着能量密度的不断降低，宇宙中产生物质与反物质的频率也不断降低。如此一来，在宇宙形成初期产生的物质与反物质就几乎荡然无存了。

实际上，在现在的宇宙中我们几乎找不到任何反物质，而物质却被很好地保留了下来。宇宙中璀璨夺目的恒星和星系、地球和月亮，还有

在地球上生活着的我们，都是由物质构成的。这究竟是怎么一回事呢？

我们通过研究和计算发现，物质的数量实际上要比反物质多（约比反物质多十亿分之二）。即使所有的反物质都和物质发生了湮灭反应，宇宙中仍然会残留一部分物质。但是，物质与反物质在任何情况下都是成对产生的，所以二者数量应该正好相等。另外，它们只有成对相遇时才能发生湮灭，那么物质与反物质消亡的数量也应该相同。由于任何一方都无法单独消亡，通常来说宇宙中应该什么都不会留下，从而形成一个既没有物质也没有反物质的世界。

然而，我们却存在于宇宙之中。物质和反物质本来应该数量相同，是不是有谁将一部分反物质转化成物质了呢？否则不会出现现在的情况。但是，反物质会如此顺利地转变成物质吗？

这确实是关系到我们生死存亡的重大问题。反物质是如何消失的呢？其实，这一谜题可能即将被人类解开。

我们认为问题的关键在于中微子这一微小粒子。随着对中微子研究的不断深入，我们发现它具有非常不可思议的性质，甚至可能与暗物质及宇宙暴胀存在密不可分的关系。我们能够在宇宙中诞生可能也是中微子的眷顾和馈赠。此外，我们还发现希格斯玻色子、宇宙暴胀以及暗物质等要素都是人类诞生的必要条件。接下来，就让我们逐步解开这一谜题，一起来思考我们为何存在于宇宙吧！

目录

第 1 章	腼腆的中微子	001
1.	首尾相接的“宇宙之蛇”	002
2.	未知的“黑暗乐园”	004
3.	宇宙中充满了中微子	007
4.	探索原子的世界	010
5.	消失的能量	012
6.	泡利的预言	013
7.	核电站中的“幽灵”	016
第 2 章	基本粒子的世界	019
1.	宇宙是由大量基本粒子构成的	020
2.	质子和中子是由夸克构成的	022
3.	基本粒子都是“三兄弟”	024
4.	基本粒子有“味”？	026
5.	力是粒子的交换	028
6.	强力的真相	032
7.	弱力的真相	033
8.	四种力的统一	035
9.	CP 对称性破缺	038
10.	小林 - 益川理论的登场	040
11.	验证小林 - 益川理论	043

第 3 章	奇异的中微子世界	045
	1. 掌握关键的中微子	046
	2. 中微子的质量	049
	3. 中微子与时间	058
	4. 利用中微子观测太阳	061
	5. 太阳中微子问题	064
	6. KamLAND 实验	066
	小专栏——神冈探测器与中微子	070
第 4 章	极轻的中微子之谜	073
	1. 中微子总是左旋的	074
	2. 超重量级的左旋反中微子	076
	3. 传达“力的统一”的基本粒子	079
	4. 左旋中微子极轻的原因	081
	答疑解惑	084
第 5 章	中微子是淘气鬼?	087
	1. 力的统一与中微子	088
	2. 中微子的馈赠	090
	3. 用中微子研究物质与反物质	093
	4. μ 子中微子变成了电子中微子	094
	答疑解惑	098
第 6 章	希格斯玻色子的真相	101
	1. 希格斯玻色子是“上帝粒子”?	102
	2. 利用小型汽车的碰撞打造重型坦克	107

- 3. 10^{15} 次撞击产生 10 个希格斯玻色子 111
- 4. 99.999 94% 的准确率 113
- 5. 探寻光子和 μ 子 115
- 6. 预言新粒子存在的希格斯博士 122
- 7. 对称性自发破缺 124
- 8. 希格斯玻色子的冷却与宇宙秩序 127
- 9. 看不见“脸”的希格斯玻色子 132
- 10. 新时代的开启——探寻希格斯玻色子的容颜 133
- 11. 实现统一的时代 137
- 答疑解惑 141

第 7 章 我们为何存于宇宙 145

- 1. 宇宙正在膨胀 146
- 2. 大爆炸的证据 148
- 3. 暴胀理论 152
- 4. 由基本粒子的涨落引起的褶皱 156
- 5. 逼近宇宙的开端 160
- 6. 被寄予厚望的“超弦理论” 164
- 7. 逼近比原子还要微小的宇宙开端 167
- 8. “SuMIRe 项目”与宇宙过去和未来 173
- 答疑解惑 175

后记 177

内文插画：齐藤绫一

内文图版：Sakura 工艺社

协作方：Kavli IPMU、朝日文化中心新宿教室

第 1 章
腼腆的中微子



1. 首尾相接的“宇宙之蛇”

对于“我们为何存在于宇宙”这一问题，如果我告诉大家“这一切可能与中微子有关”，大部分人可能会一头雾水，甚至有人会很惊讶，觉得我在胡说八道。

在进入正题之前，让我们先来思考一下宇宙的大小。我们在日常生活中使用的物品，例如笔记本、钢笔等文具，长度大概只有十几厘米，而我们的身高最多也只有几米。随着尺寸的不断扩大，车站、百货商店等建筑可高达数十米，东京塔、东京晴空塔等建筑则可高达数百米。像富士山和珠穆朗玛峰这样的高山海拔可高达数千米。此外，地球的直径约为 1.3 万千米，地球与太阳之间的距离约为 1.5 亿千米，太阳与海王星之间的距离约为 45 亿千米。像这样，表示大小的数字在不断增大。

当然，宇宙更加辽阔。太阳系的外侧是浩瀚的银河系，银河系的外侧则遍布着以仙女座星系为代表的诸多星系，它们共同聚集构成了星系团。如果照此扩大观察的尺度，可以说宇宙是无边无际的。

由于大爆炸产生的光能传播的最远距离大约为 10^{27} 米，因此我们尚不了解超出这个距离之外的情况。不过，我们已经把宇宙的可知范围扩大到了比笔记本和钢笔的尺度大 29 个数量级的程度。可以说这种尺度的宇宙是非常巨大的。

不过，随着对宇宙研究的不断深入，我们发现除了大的物体以外，微小的物质同样至关重要。如果把笔记本和钢笔的尺寸再继续缩小，就会进入原子、原子核、基本粒子的微观世界。虽然现在的宇宙大到让我们无法想象，但如果时光能够倒流，宇宙就会不可思议地不断缩小。另外，我们发现宇宙在刚诞生的时候，是非常微小且炽热的。因此，要想查明宇宙如何诞生、如何演变为现在的模样，我们还必须了解微小的世界。

为了真正理解无比巨大的宇宙，竟然得去研究微小的基本粒子世界，这真是太有趣了。我不禁想起了希腊神话中的衔尾蛇。这条蛇在吞食自己的尾巴时，躯体会呈现为圆环状，它仿佛象征着和谐的宇宙。如果将蛇头比作整个宇宙，蛇尾比作基本粒子，那么宏大的宇宙和基本粒子的微观世界就可以像衔尾蛇吞食着自己的尾巴那样衔接在一起（图 1-1）。宇宙与基本粒子之间仍然存在很多未解之谜，世界上许多研究者都对此产生了浓厚的兴趣。

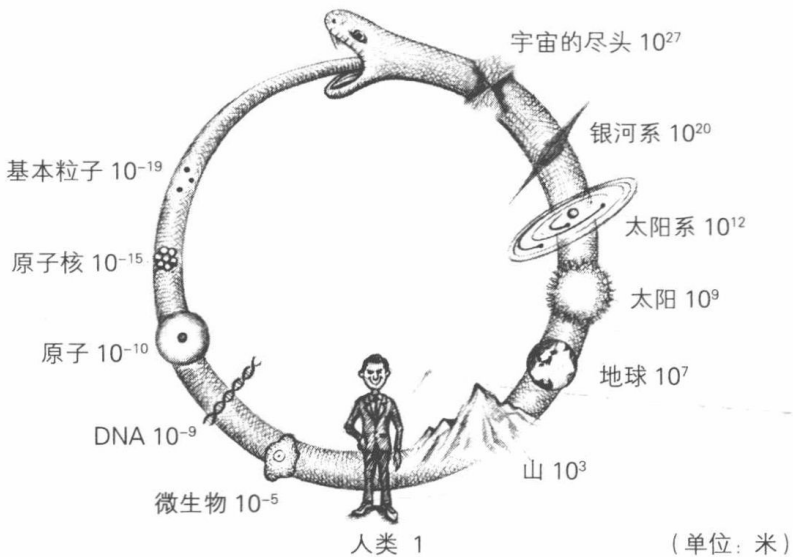


图 1-1 衔尾蛇与和谐的宇宙 在希腊神话中出现的衔尾蛇会吞食自己的尾巴。我认为我们的世界也是这样的结构，即宏大的宇宙与微小的基本粒子衔接在一起

2. 未知的“黑暗乐园”

宇宙究竟由什么构成，其实我们尚未完全了解。2003年，由美国国家航空航天局（NASA）发射的观测卫星“威尔金森微波各向异性探测器”（WMAP）成功测得了宇宙的能量明细。听起来我们似乎已

经搞清楚了宇宙的成分，然而事实并非如此。只要提起宇宙，我们就会想到璀璨的繁星和绚烂的星系，然而它们的总量仅占整个宇宙的0.5%左右。此外，在本书后文中即将为大家介绍的中微子，在宇宙中所占的比例为0.1%~1.5%，也属于宇宙中的少数派，甚至连由构成我们身体的原子所构成的所有物质也仅占整个宇宙的4.4%左右。即使将以上所有物质都加在一起，其占比也仅为宇宙整体的5%左右，远远达不到100%。

世间万物都由原子构成，这是我们在学校学到的知识。但是，宇宙中的原子总量甚至不到宇宙整体的5%，所以这句话其实是完全错误的。我真希望涉及这部分内容的教科书能够尽早得到修订。以前，我们一直认为物质是宇宙的全部，然而物质在宇宙中只是微不足道的少数派。

那么，其余的大部分是什么呢？对于人类来说目前这仍是未解之谜。WMAP的观测结果显示，暗物质占宇宙能量总体的22%左右，暗能量则为72%左右。虽然物质与这两部分相加后，可以在比例上圆满地凑成100%，但我们尚不了解暗物质和暗能量究竟是什么。我们只不过是给未知的神秘物质和能量起了临时的名字罢了（图1-2）。

不过，暗物质这种不可思议的物质，与恒星及星系的诞生和演