

码农

the
code
maker

29

宇宙的故事

宇宙的发端

宇宙的形状

主宰宇宙的力

暗物质和暗能量

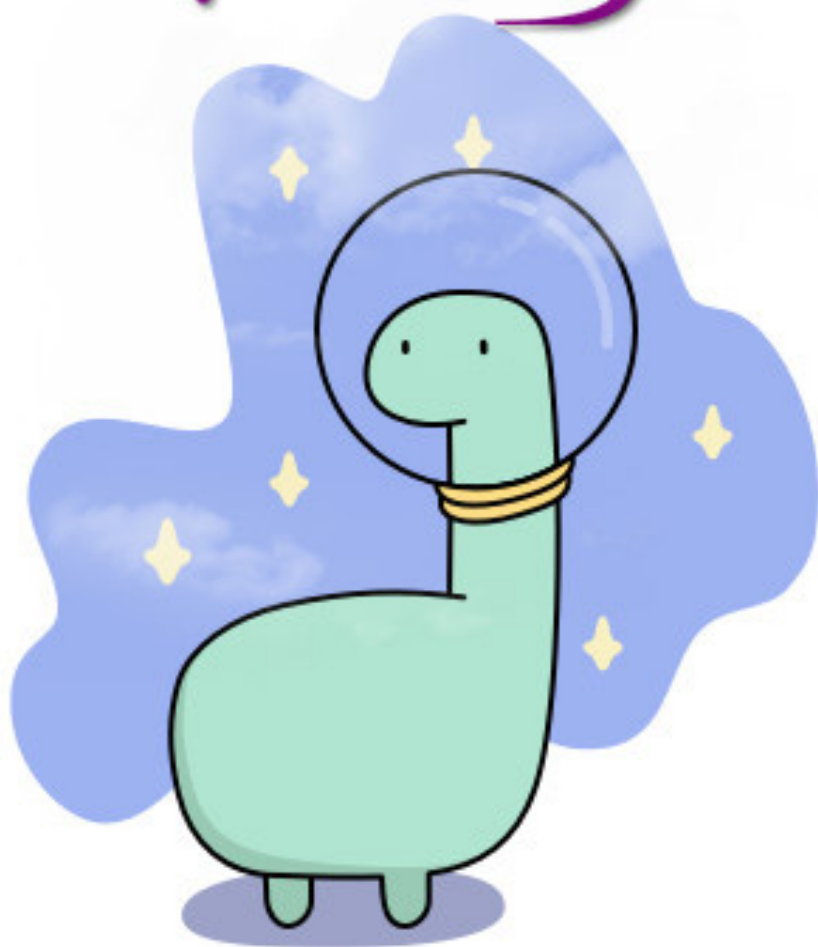
不可思议的引力

绝对零度

庞加莱猜想破解者佩雷尔曼

研究是为了探求谜底与真相

上帝是个左撇子



© Astro-Saurus by Andrew Parsons

目 录

编者的话

专题：宇宙的故事

- 1 宇宙的发端
- 11 宇宙的形状
- 23 主宰宇宙的力
- 33 暗物质和暗能量

人物


- 40 追踪“庞加莱猜想”破解者佩雷尔曼
- 53 对话村山齐：研究是为了探求谜底与真相

鲜阅

- 62 不可思议的引力
- 65 绝对零度

八卦

- 80 上帝是个左撇子
- 84 量子纠缠



书单

86 偷偷看下你的书单

妙评

89 “送”你几本优秀的技术图书



人类，真伟大



编者 / [刘敏](#)

人类，真的是一种很伟大的物种。我们不满足于糊口般的生存，被动接受安排的周遭，更渴望探寻不可触及的宇宙本原、揭秘自然的运行之道。为了应对这些亘古的挑战，哲学先家发出了一系列的“天问”，一代一代的人类传颂着破解的神话。有些伟人也曾为了真理，不惜与正统思想抗衡，推动人类向下一个谜题前进。

直到我们这一代，宇宙的故事才从多个科学的维度上首次为人类所全面了解。可观宇宙诞生于137亿年前的一个小点，经过大爆炸，这个小点不断地膨胀，后来演化出了星系和恒星、松柏和鸟兽、山水墨画、梁祝的故事，以及今天的你我。

曾经以为家是我们的全部，后来觉得出生的城市大得出奇，再后来发现往返于大学和家乡城市间的距离是那么的长。现在终于知道人类目前居住的地球，也只是银河系中数万亿颗行星中的一颗，银河系外更有数十亿个星系，所有这一切都包含在一个不断演化而又充满创造性和相互关联的宇宙当中。

随着一个谜题的解开，更多的谜题总是会相济涌现出来，关于宇宙的故事也才刚开始。

本期《码农》将带领读者朋友一起穿越时空，追溯宇宙的发端、探究宇宙的形状、揭秘神秘的暗物质和暗能量，以及主宰宇宙万物的四种力——引力、电磁力、强力、弱力。“人物”专栏会呈现给大家直接对话物理学大家——村山齐的访谈，以及追寻“消失的天才数学家”——佩雷尔曼的记录。“鲜阅”专栏刊载了两篇颇为惊艳的文章，分别介绍了引力的不可思议之处，即引力对一切物体的作用都是一样的，以及绝对零度这一宇宙常数。“八卦”专栏的文章一如既往地诙谐、幽默，却不失准确，有着严谨的科学依据。除了讲述那些不为大众所熟知的科学家们之间发生的故事，专栏文章更是用拟人化的手法、诙谐的语言，阐明了深奥的科学知识。

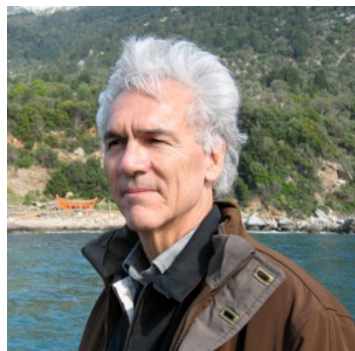
欢迎聆听宇宙的故事！ ■

宇宙的发端

作者 /Brian Thomas Swimme
& Mary Evelyn Tucker

每个文化都有其核心故事，不论它们是口耳相传的，还是书之文字的。这类故事包含着各自文化认为最可宝贵、最为有用、最居核心以及最是美好的东西。它们被认为包含了人们在面对种种亘古常新的挑战时应当如何定位自己的答案。这类故事当中的一些被人们如此看重，因而被一代又一代人所传颂。比如，荷马的《奥德赛》就在西方流传了或许将近二十八个世纪。而在南亚，《摩诃婆罗多》的故事也被传唱了超过两千年。以各不相同但都极为宝贵的方式，它们及其他许多故事仍在继续影响着这颗星球上的数十亿人。

这类故事毫无疑问在未来仍将被传颂，但与此同时，一个新的涵盖万端的故事已经出现。尽管它的出现只有几个世纪的时间，但它已然开始深刻地影响和改变人类了。这就是宇宙发展史的故事，就是我们的可观宇宙的演化历程的叙述。这个故事有着（并仍将继续会有）许多不同的名字。不过，要是我们可以将《新约》视为讲述了一个基督教故事，将《摩诃婆罗多》视为讲述了一个印度教故事，那么或许对于这个新叙述最简单的描述就是，它讲述了一个宇宙故事。



Brian Thomas Swimme, 1978 年从俄勒冈大学数学系获得博士学位，现为加利福尼亚整合研究学院教授。他致力于加深人们对于宇宙演化的理解，并为此成立了宇宙的故事中心 (The Center for the Story of the Universe)。他创作了多部图书和纪录片，包括与托马斯·贝里合著的《宇宙的故事》(The Universe Story)。

宇宙故事

这个宇宙故事与其他更传统的叙述之间的一个差异在于，对于这个更新的故事，我们还有一个“关于故事的故事”，即关于我们是如何逐步觉察到这个宇宙故事的历史描述。它始于十六和十七世纪，那时我们意识到地球并不是静止不动的，而是在绕太阳运行。在十八世纪，随着我们开始意识到人类心智乃至人类社会都不是静态的，相反它们都有着经过许多个世纪才得以形成的各种形式和结构，这种思想得到了进一步扩展。接着在十九世纪，我们发现生命形式本身也随时间发生过一系列重大的转变，甚至连岩石也并非亘古不变，而是同样在整个地质历史中发生过深刻的变化。最终，在二十世纪，我们开始认识到，恒星也发生过剧烈的改变，星系也是如此，而尤为令人惊讶的是，整个可观宇宙同样经历过一系列不可逆的转变。

这次精彩的历程不仅会吸引科学家，同样也会引发非科学家的惊叹。并且它还会让一些宗教传统重新思考或扩展其世界观。显然，当初哥白尼清楚自己日心说的激进性质，所有才没有选择在生前发表。达尔文也曾纠结于自己的生命演化观点的革命性意义。而到现在，我们仍在努力面对哥白尼、达尔文以及其他许多科学家在过去五个世纪里所带来的世界观转变。为什么会这样？因为这是一个如此涵盖万端的故事，它挑战了我们对于我们是谁、我们在宇宙中可能的角色的原有理解。我们的存在是出于偶然，出于必然，出于运气，还是有其目的？这个不断变化的宇宙中的创造性，其本质又是什么？

要想更充分地回答这些问题，并让这个宇宙故事整合进世界各地多样化



Mary Evelyn Tucker, 1985 年从哥伦比亚大学获得宗教史博士学位，专攻东亚儒学，现为耶鲁大学林业与环境科学学院、神学院以及宗教研究系的高级讲师和研究学者。出于对日益严重的环境问题的关切，她发起和组织了宗教与生态学论坛。她曾与托马斯·贝里长期合作。为传播贝里的理念，她与布赖恩·托马斯·斯怀默合作推出了“宇宙的历程”教育项目。

的人类文化当中，这还有待时日。笔者无意要取代或忽略其他那些故事，而是试图在此阐述这样一个挑战——创造一个共享的未来。今天，我们面前的一个大好机会是，以某种方式讲述这个新的宇宙故事，从而使得它可以帮助人类在面对以下这些紧迫问题时定位自己：我们从哪里来？我们为什么存在？我们应当如何共存？地球共同体如何才能生生不息？

宇宙的诞生

让我们从头开始讲起。宇宙如何而来？

这显然是个令人望而生畏的大问题，但现在看来，它确实有个发端。有些科学家将这称为大爆炸。不妨把这想象成一次光和物质（包含后来最终成为恒星和星系的亮物质以及一直未被人看见的暗物质）的大迸发。所有的时间和空间、物质和能量都始于一个温度达数万亿度的点，然后一切分崩离析，开始膨胀。

发现宇宙由膨胀而来并且现在仍在膨胀是人类历史上最伟大的发现之一。在现代西方社会，长久以来的通常认知是，宇宙是万事万物（大到恒星，小到原子）所在的广袤空间。虽然科学家早已知道，宇宙中的物质会发生形态的改变，但他们仍习惯于假定宇宙作为一个整体并不会发生变化。然而，这个假定后来被证明是错误的，因为宇宙在不断发展，宇宙有其故事——一个发端，一个中段（我们现在所处的阶段），以及或许在难以想象的久远未来，一个结尾。

这个伟大发现要部分归功于科学家埃德温·哈勃。二十世纪二十年代，在加州南部的威尔逊山上，他利用一部一百英寸口径的望远镜研究夜空，

试图确定我们的银河系是否是宇宙中唯一的一个星系。结果他不仅发现了，宇宙中遍布各式各样的星系，而且他还确认了，这些星系都在相互远离。在哈勃工作的基础上，现在科学家已经认识到，整个可观宇宙曾经比一颗沙粒还小，它从一个小点经过数十亿年的猛烈膨胀才成为现在的样子。宇宙是由膨胀而来的。

然而，我们的宇宙中还存在另一种基本的作用力：将事物吸引到一起的力，我们称之为引力。随着宇宙的膨胀和冷却，引力将一些物质吸引到一起，形成星系和恒星。膨胀与坍缩，这两种相对的动力过程在宇宙的诞生之初起着主导作用。宇宙的膨胀使得物质从发端时的小点相互远离，引力则使这些物质重新聚集到一起。我们现在知道，宇宙作为一个整体，从其发端至今，一直被这两种相对且富有创造性的动力过程所塑造。

这个双重的过程与生命的呼吸和血液运动有着惊人的相似之处。我们的肺部起伏翕张，我们的心脏跳跃舒缩。借助这些基本的运动，我们才得以存在。可以说，我们的生命之所以可能，正是因为宇宙这种翕张的韵律。那么我们的一吸一呼、一舒一缩是时刻反映宇宙更大规模的动力过程吗？但有一点我们至少是确定的，正是由于宇宙的大“张”，生命和人类才得以出现，得以在宇宙里面呼吸。

原子核与结合

在大爆炸之后的几微秒内，宇宙生成了夸克和轻子等基本粒子，紧接着夸克结合形成了质子和中子，后者在一片黏稠的等离子体中漫无目的地游荡。这时的宇宙几乎没有什么结构存在。这些量子之间会相互碰撞，发生互动，然后又分解开来，继续与不同的伙伴瞬间碰撞上上百万次。

但是，关于早期宇宙的现有数学模型告诉我们，即便只是在大爆炸之后的几分钟内，更多的结构就已经开始出现。基本粒子之间开始形成稳定的关系。一个中子可能会与一个质子发生互动，并且它们不再分解开来，而是从此结合在了一起。起初，这些新的结合体很快会被其他粒子撞裂破坏。但随着宇宙继续膨胀和冷却，这些原始的双合体和三合体开始得以保留下来。

宇宙正是在这样的结合和分解当中，不断演化出了越来越复杂的共同体。而这些简单的原子核就是最早一批存在于基本粒子当中的复杂共同体。不过有趣的是，所有的关系都要付出一定的代价，即便在这样的量子层次上也是如此。一个中子不是简单就能与一个质子相结合。为了相结合，中子和质子都不得不进行一番转变。它们各自丧失了部分质量，而这些质量变成能量，以光的形式释放进了宇宙。以前可有谁能想象到这一点？谁能猜到，创造一个量子共同体会要求粒子贡献出部分质量？或者其创造会伴随着光的产生？

所以即便在诞生之初，我们的宇宙也是在不断创造关系。当然，在理论上，我们可以想象出与此不同的另一番景象。我们可以在理论上讨论另一种全然不同的宇宙，其中的粒子相互孤立，之间不存在相结合的关系。这样的宇宙将是一盘散沙，有的只是相互之间完全独立的不可计数的粒子。但在我们的可观宇宙中，各式各样的结合所在皆是。即便在诞生之初，宇宙就产生出了简单的原子核，并在这个过程中将大量的质量转变成了光。随着中子和质子聚变成第一批原子核，整个宇宙便充溢着这种新的辐射。总之，这样的结合处于物质的核心，也是一切的关键。

时机与创造性

置身于一个无法想象其广袤和复杂性的宇宙当中，我们不免会试图寻找有意义的自身定位，以便使自己的生活图景变得完整。所以诸如宇宙的本质是什么、我们在其中的角色又是什么等问题贯穿了人类历史的始终。而现如今，通过思考这类问题，我们希望能在这个全球性文明日渐成形的时代让自己的生活过得更为完整、深刻。

在探寻意义的整个过程中，我们对于宇宙所持的基本图景至关重要。不过，单幅图景无法反映宇宙的全貌，所以我们需要多幅图景或隐喻。在前文中，我们已经考虑过了至少三幅宇宙图景。我们谈到了从一个小点发展出各式结构的宇宙，谈到了像心肺那样膨胀和坍缩的宇宙，还谈到了物质的演化及其言下之意——宇宙中充斥着各种使其复杂性增加的共同体。

当我们考虑在宇宙诞生之初这些原子核的起源时，另一幅图景便自己浮现了出来，一幅种子生长的图景。当一颗种子萌芽时，它起初集中注意于根的生长，然后转而注重茎叶的生长。这个生长过程是一个复杂而富有创造性的最优化安排。类似地，宇宙在一开始专注于制造原子核。这个过程只持续了短暂的一段时间，然后就停止了，继而其他过程开始。这里一个有趣的事实是，如果宇宙当初继续进行原子核的制造，直到比如铁，那么铁原子核将永远占据大多数。

但事实上，宇宙在不断膨胀和冷却，适合制造原子核的条件转瞬即逝，就像它们起初瞬间出现时那样。经过一个所有轻原子核被制造了出来的短暂阶段之后，工作重心发生了转移。某些新的东西即将出现，这与种

子的生长过程不无相似之处。而这种时机的动态变化在宇宙发展史的此后将近一百四十亿年里还将反复出现。

膨胀与生命的出现

可观宇宙最令人叹为观止的特征之一是其膨胀速率的精确。要是当初其膨胀速率慢点，甚至只是略微慢点，哪怕是慢上一亿分之一，宇宙都会重新坍缩。故事结束。

反过来，要是当初宇宙膨胀得稍为快点，甚至只是快上一亿分之一，宇宙都会膨胀得太快而致使结构无法形成。到时宇宙中有的只是四散的尘埃，而没有结构去孕育生命。

我们生活在一个膨胀速率恰好适合生命出现的宇宙当中。当科学家首次发现这一迷人的事实时，他们都渴望理解其中的原因。究竟过去发生了什么，使得我们的宇宙成为现在这个样子？

随着理论宇宙学家开始探究孕育生命的宇宙如何而来的谜团，一个理论引起了人们的注意。它最早由原苏联科学院朗道理论物理研究所的阿列克谢·斯塔罗宾斯基提出，后由如今在麻省理工学院的阿兰·古斯形成更为完整的形式。根据爱因斯坦的思想及其广义相对论，这些宇宙学家提出，一种可能的解释是，在大爆炸之后极短的时间里，引力的作用方式不是吸引而是排斥。正是这种排斥性的引力使得宇宙发生暴胀，使其恰好达到临界膨胀速率。换句话说，宇宙借助暴胀机制加快了自己的膨胀速率，使得其中可以孕育出结构和生命。

① Freeman J. Dyson, *Disturbing the Universe* (New York: Harper and Row, 1979), 250.

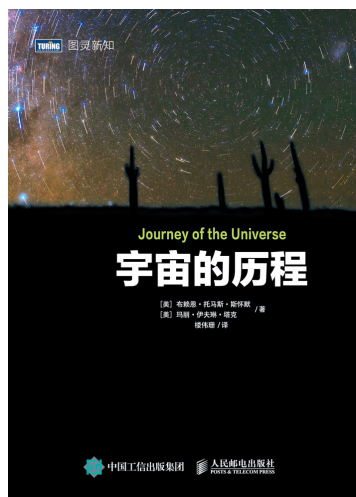
著名物理学家弗里曼·戴森也曾思虑及此，试图弄明白这一切。他意识到自己对在宇宙中的归属感找到了一种新的视角：“我对宇宙及其结构的细节研究得越多，我找到的表明宇宙在某些意义上必然事先知道我们将会出现的证据就越多。”^①，无论在哪种明的意义上，人类在宇宙发端之时都并不在场。但戴森的言下之意是，生命暗地蕴含在宇宙的动态过程当中，从其发端之时便是如此，而我们现在正在逐渐认识到这当中的种种方式。

原子与相互吸引

相互吸引位于所有层次的存在创造性的核心。当宇宙还不到五十万岁时，物质依然以黏稠的等离子体形式存在，其中的主要构成是氢原子核、氦原子核以及电子，而所有这些都沐浴在一片光的海洋当中。但随着宇宙继续膨胀和冷却，转变发生了——电子和质子相互吸引，形成了第一批原子。

原子的结构由带电粒子之间的电磁相互作用所主导。同性相斥，异性相吸。因此，带负电的电子和带正电的质子相互吸引，形成了氢原子和氦原子。宇宙作为一个整体也发生了转变，从一片辽阔的由基本粒子构成的等离子体海洋变成了一团团无休止涌动的由大得多的原子构成的气体云。

我们无法完全解释清楚为什么质子与电子会相互吸引。说异性相吸其实并没有回答它为何会如此的谜团。没有外在的力量把它们推到一起，它们不是受到所谓“电磁相互作用”才相互吸引。相反，它们相互吸引是各自本性使然。



《宇宙的历程》巧妙融合了科学知识与东西方的哲学智慧，娓娓讲述了一个关于宇宙、地球和人类演化的史诗故事。而这个故事将改变我们对于物质和时间的旧有认识，重新唤起我们对于人类在宇宙中的角色和使命的思考。

异性相吸，形成原子，这个事实不禁让我们感到惊讶。而对此感到惊讶的又是谁？不是别的，正是我们人类——这些原子在很久以后的一种发展产物。质子和电子之间的相互吸引并不是又一个关于我们宇宙的孤立事实。相反，质子和电子之间的相互吸引正是宇宙孕育出更大复杂性（包括在将近一百四十亿年后出现的我们）的一种方式。

宇宙变得透明

科学家发现的一个迷人事实是，微观层次上的一个改变，竟然能够实际上改变宏观宇宙的整体属性。我们可以从第一批原子出现的影响中看到这种动态过程——随着原子的诞生，宇宙变得透明了。

这个转变可以看成是一场大雾消散。在大雾弥漫时，我们无法看见远处的东西，因为雾中水滴会使光发生散射。在早期宇宙的等离子体中，情形也是如此。光子根本还没跑出多远，就被一个电子或一个质子所吸收和散射了。

但当电子和质子开始结合成为电中性的原子时，一个光子就可以在撞上另一个带电粒子前一直不被散射。光突然间可以沿直线传播了。这些原初的光，其中一些可能会被比如低温气体云的物质吸收而消失，但大多数会在此后的百亿年里继续在宇宙中不受阻碍地穿行。而与此同时，宇宙也展开了其不断深入、不断复杂化的历程。所以今天，当我们把灵敏的仪器对准夜空时，我们就能侦测到这些来自时间发端之时的光子，并从它们那了解到宇宙诞生之初时的故事。

原子的出现让宇宙进入了其创造性的一个全新阶段。要是当初没有原子形成，那么亮物质仍会以等离子体的形式存在，并被占据主导的暗物质以各种方式分割开来，而明亮的光也仍会在轻子和强子当中来回相互作用，并持续上百亿年。但随着原子的形成，新的可能性出现了。宇宙现在能够开始孕育出新的结构——星系和恒星。

就这样，一个发生在微观层次的事件（氢原子和氦原子的形成）影响到了宏观宇宙的整个故事。宇宙的整个历程，在许多关键时刻，竟然仰赖于发生在微观宇宙里的转变，这着实让人惊奇。这也让我们不禁开始思考这样一个值得注意的想法：或许宇宙作为一个整体的性质是由其组成部分的创造性所塑造的。■

宇宙的形狀

作者 / 春日真人

春日真人，生于1968年，日本东京大学力学系研究科理化化学毕业。1993年加入日本NHK电视台，曾任职于长野放送局、节目制作部教养节目组、节目开发部等，现担任经济、社会情报节目导演、制作人。作品有《生命再临：生命科学家柳泽桂子》《认识父母》《流产婴儿去向的冲击》《论文捏造：梦幻医疗为何崩溃》等，主要制作前沿医疗与生命伦理类节目。

每一个曾经仰望星空的人，脑海中大概都有过这样的疑问，“遥远星空的尽头是什么模样？我们身处的宇宙究竟是什么形状？”

大家的回答肯定五花八门。“宇宙是没有边界的啊，所以根本就没有形状。”这是一个10岁男孩的回答。“我觉得是方形的，要不然肯定放不下圆形的行星啊。”另一个7岁小女孩是这样想的。一位18岁的年轻小伙子则认为“因为宇宙是无限扩展延伸的，所以形状大概会像是个巨大的盘子吧。”

成年人的回答则较为理智，一位30岁的女士怀疑：“人类有能力探明宇宙的形状吗？如果能够知道，这倒是非常有趣的。”另一位42岁男士则干脆说：“这个问题根本没有答案。你想在可能浩瀚无穷的宇宙面前，我们人类是多么渺小，哪里才是宇宙尽头，宇宙尽头是什么样子，人类是永远都找不到答案的。”

事实上，从上古时代延续至今，关于宇宙形状的谜题不断挑起我们人类的好奇心。在古代的印度，人们认为，天国在大地之上，大地则由四头大象背负着，大象站在一只巨大的海龟背上，这一切又被一条巨大的蛇所环绕，而这条巨蛇所围绕的空间应该就是整个宇宙了。在古代埃及人

的宇宙起源说里，天空就是苍穹女神努特（Nut），月亮和星星都被悬挂在女神的身体之上。而在古希腊，主张“地心说”的托勒密则把以地球为同心的宇宙的最远端定义为一颗坚硬的恒星“天球”。

随着现代科学技术的发展，利用最先进的技术，关于宇宙的许多谜题已经被逐步破解。但是关于宇宙形状的全貌，很遗憾，至今仍是未解之谜。

然而就在近期，一个重要数学难题的破解，使探明宇宙形状的可能性大大增加。它就被命名为“庞加莱猜想”的数学命题。

庞加莱猜想——揭开“形状”的谜题

庞加莱猜想的诞生要追溯到距今一个世纪之前的1904年，也就是亨利·庞加莱50岁之时。其原文正收录在庞加莱于1904年发表的论文《对位相分析学的第5次补充》当中。在这篇论文中，庞加莱采用自问自答的形式对自身进行了发问。最后，他提出了后来被称为“庞加莱猜想”的问题。他写道：“还有最后一个必须进行研究的的问题，即使基本群可以与同胚空间互换，也不能形成单连通体，这个可能性存在吗？”

如果用严格的数学语言来表述，庞加莱猜想的具体内容应该是：任何一个单连通的、封闭的三维流形都与三维球面同胚。

这个疑问究竟与宇宙的形状有什么样的关系，本文接下来的部分将会对此详细说明。

南锡当地的一所高中开设了一门关于庞加莱猜想的特别课程，讲师是巴黎南大学的名誉教授瓦伦丁·贝纳胡博士，学生是理科毕业班在读的

100 名左右的高中生。瓦伦丁·贝纳胡博士的特别课堂上告诉大家，“庞加莱猜想”是一个与宇宙的形状及构造有关的数学问题。

贝纳胡博士随之拿出了一截红色的绳子，贴着投影在墙壁上的宇宙图片，他将绳子沿着宇宙形状绕了一圈。

“现在，请大家想象，有一个人带着足够长的绳子，从地球出发进行环绕宇宙一圈的旅行。假设这个人最后平安无事地返回了地球。这时，已经绕在宇宙上一圈的绳子，是不是会像这样，最终一定能够收回到自己的手中？”贝纳胡博士把刚才铺开的绳子拉回到了自己手头。

“如果绳子一定能够收得回来，那么我们就应该可以判断宇宙是球形的。这就是‘庞加莱猜想’这个数学难题所要说明的内容。”

如果能把环绕在宇宙上的绳子收回来，就可以说宇宙是球形的。这样听起来天方夜谭式的话语，让庞加莱高中的学生们都流露出讶异的表情，课堂上鸦雀无声。

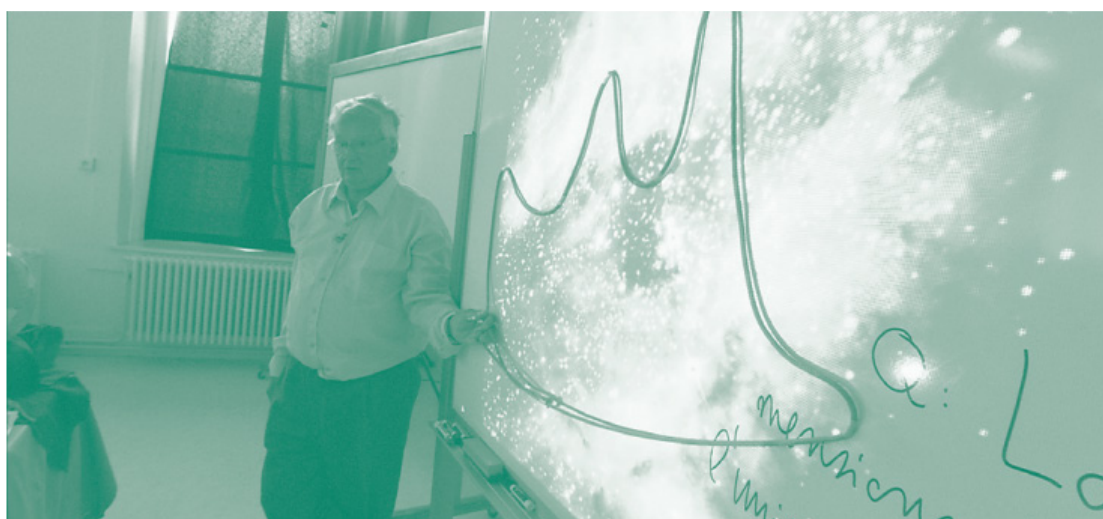


图 贝纳胡博士将绳子环绕在投影于墙面上的宇宙图片上

博士这时提出，应该先去了解一下过去我们人类是怎样看待地球的形状的，从这个故事讲起，大家可能会更加容易理解庞加莱猜想。之后的课堂内容，博士带领大家从现代穿越到了16世纪的葡萄牙。

地球的形状

“在科学并不发达的过去，人们大都认为地球是一个无限扩展的水平世界。也有科学家提出了地球是圆形球体的推测，但是当时并没有人能够证明这一点，以至于竟有人相信，在地平线的尽头有一个巨大的瀑布，或者是耸立着一座巨大的山等。

“到底在地平线的尽头是什么样的情形？地球的形状成为当时挑起人们好奇心的最大谜团。这个谜团的破解要一直等到我们都熟知的一位人物登上历史舞台。对，正如大家所猜想的，这个人就是葡萄牙的航海家、冒险家费迪南德·麦哲伦。1519年，麦哲伦带领一支由5艘船组成的船队，开始了环游世界的挑战，在此之前，这一壮举还没有人完成过。在航行路线上，麦哲伦并没有选择当时已经广为人知的东方印度航线，而是带领舰队西向航行。在这个未知的航线上探索是极端困难的，舰队的船接连不断地毁损，就连麦哲伦本人也在旅途中丧命，地点就在今天的菲律宾。

“但是，在这段多灾多难旅途的最终阶段，五只船组成的舰队顺利地从东向回到了出发地点葡萄牙。”

这个故事相信读者们都有所耳闻，航海家麦哲伦以身作则，展现了日常我们只能看到的“水平”地球实际上是“巨大球体的一部分”这一事实。

我们接着来听博士所讲的故事。

“同学们，在麦哲伦船队航海成功大约 400 年之后，我们的天才科学家亨利·庞加莱却提出了不同的想法，他认为用麦哲伦的方法，根本无法证明地球是球形的。庞加莱是这样推论的：‘如果地球不是完美的球形又如何？假设，存在一个贯穿北极和南极的巨大孔洞，地球的形状就像一个甜甜圈，那么在这种情况下，麦哲伦的船队应当也可以回到最初出发的地点。所以，通过航行回到了出发地点，就认为地球是完美的球形，这个论断不能够完全成立。’

这里我们要向读者说明一下，事实上，并没有现存的文献证明，庞加莱曾经对麦哲伦船队的伟业提出过异议。毕竟庞加莱并不是冒险家或者地理学家，他只不过是数学家。贝纳胡博士在这里编的这个小故事，只是为了说明在当时虽然大多数人都认为麦哲伦环行世界一周即是地球是球形的证明，但是身为数学家的庞加莱，应该会对这种武断的结论提出反对意见。

“同学们，请大家思考一下，在一个既没有人造卫星也没有飞机的年代，人们应该如何去调查地球的中心是否存在孔洞？实际上，庞加莱确实想出了一个非常好的办法。”

贝纳胡博士随之取出了两个地球仪，一个是普通的地球仪，一个是中空的甜甜圈形状的地球仪。博士告诉大家，有一种方法，不管地球实际上是什么形状，都可以仅用一根绳子就证明出来。

“首先请大家在脑海中想象，你手上拿着一根非常长的绳子，站在海边

的岬角上。第一步先把绳子的一头紧紧固定在岬角上，另一头则绑在一艘船上，这艘船开始向远方起航。



图（从上至下）如果那只绑着绳子的船只从罗卡角起航，环绕地球航行一周，回到出发点时，如果绳子能够全部收回的话，就可以证明地球是球形的

“这艘船环绕地球一周，很快就归来。当船回到原先的出发地点时，你把绑在船上那一头的绳子解下来，同样也绑在岬角上。大家想象一下这个场景，你的手上握着一根绳子，而这是一根环绕了地球一圈的绳子。当你往回收绳子时，如果能够全部收回，那么我们就可以说，地球是球形的。庞加莱就是这样进行推论的。”



读者们也许会问，世界上真的存在这样长的绳子吗？这是一个非常现实的问题。但是，请大家把这个和真实的实验区分开来，这个充其量也就是一种思想实验（在想象中进行的实验）。请读者们也和庞加莱高中的同学们一起，在脑海中拉动这条思维的绳索。

还有人会问，绳子会不会挂在喜马拉雅山上拉不动？其实喜马拉雅山虽然海拔很高，但是和地球的体量相比，还是可以忽略的。大家不要在意这些问题，继续想象我们在不断地努力地来回拉动绳子。现在如何？在大家的想象中，应该已经把绳子都拉回来了吧。



“如果能够把环绕地球一周的绳子全部收回来，那么我们就可以说地球是球形的。从太空眺望地球，这个论述的正确性可以很直观地证明。但是在那个时代，之所以说庞加莱的想法是革新性的，就是因为当时的人们无法从外太空远望地球，庞加莱仅仅用一根绳子就可以得出结论。

“那么接下来，请同学们想象，如果地球是甜甜圈的形状，会发生什么

样的情况。再试着想象一下，你手中握着环绕了地球一圈的绳子，现在开始用力往回拉，大家用力！”

这回怎么样？对，不知道为什么，绳子拉不回来了。

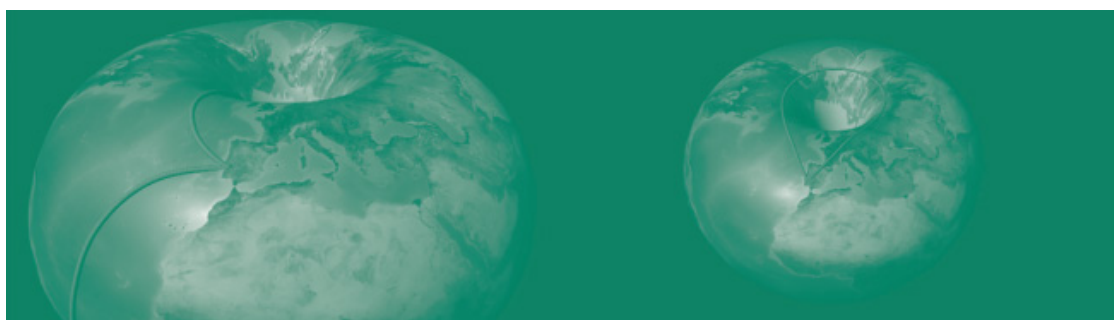


图 甜甜圈形状的地球，绳子会绑在环状上收不回来

从外太空的角度看地球，这个原因就很清楚了。绳子穿过了地球的中心孔洞，绕着环状地球的某一部分一圈。所以，往回拽绳子的时候，绳子已经绑在了环状地球上，收不回来了（上图的左侧）。而且，即便是绳子沿着中心空洞的边缘环绕一周的情况下，也不能收回。

讲到这里，一位同学举手提问：“老师，我觉得如果绳子是环绕孔洞边缘一周的话，应该能收得回来啊？”（上图的右侧）

这个问题在贝纳胡博士的意料之中。博士叫了一名学生来到讲台上，和他一起给大家示范。

“现在，我们在甜甜圈形状的地球上进行实验，看能不能把绳子收回来。像这样慢慢地把绳子往回拉……大家看，绳子悬在了空中，这种情况下，

我们不能说是成功收回了绳子。想要把沿孔洞一圈的绳子收回来，无论如何都会造成绳子离开地球表面的情况。如果不是严格地沿着地球表面收回绳子，那就不能将其视为调查地球形状的实验了。”

确实，从实际出发的话，要想这样拉回长绳，就必须让其能够对抗地球引力进而飘浮在宇宙中，这是非常困难的。也就是说，沿地球中心空洞边缘环绕一周的绳子，我们是不可能收回的。



图 如果在这种情况下想要收回，绳子必然会离开地表

宇宙的形状

“同学们，宇宙是比地球更为强大的存在。不同于地球，无论我们的科学技术如何发达，现在的我们还是不可能到达宇宙之外。刚才，我们探



《庞加莱猜想：追寻宇宙的形状》是日本NHK特别节目制作组关于“庞加莱猜想”的专题纪录，追寻宇宙的形状与神秘数学家的线索、谜题与真相。

讨论了如何在无法去到外太空的情况下证明地球形状的方法，那么现在请大家思考一下，是否也有一种方法，可以让我们不用踏出宇宙，就弄明白宇宙的形状？”

贝纳胡博士也讲道：“庞加莱思考的了解宇宙形状的方法，就是使用所谓的‘宇宙火箭’。他在自己的脑海中，想象把一根绳子绑到火箭上，让火箭飞向太空。绑着绳子的火箭在宇宙空间中只是不间断地自由飞行，最终绕宇宙一周并安全返回地球。请大家也想象一下，现在你手中握着的绳子的两端，构成了一个环绕宇宙的、异乎寻常庞大的绳圈。现在，我们再一次把绳子拉回来，大家用力！”

“如果这长长的绳子都能够收回来的话，那么对于宇宙的形状，我们可以做出怎样的推论？虽然现实中不可能发生，但是现在请大家试着想象一下，如果我们能够从外部观察宇宙整体，那么当绳子必然能够完全收回的情况下，就与地球实验相同，宇宙空间也不应该存在孔洞或者裂缝。也就是说，可以推断其形状为球形。庞加莱就是如此构想的。

“当然，宇宙是在三维空间上不断扩展的，存在的问题比地球的情形更加复杂。但庞加莱猜想的意义就在于推出了这样一个问题：如果用这样的方式去实验并且结果成立，那么就可以证明宇宙是球形的。这个实验中‘地球表面’换成了‘宇宙空间’，问题的难度就飞跃性地提高了。”

大家可能认为像这样用绳子来证明地球是球形的方法非常简单，而且谁都可以想得到。但是，对于宇宙的形状，作为现代人的我们目前是无法想象的。因为凭借现有的科学技术水平，人类还无法实现飞出宇宙这一目标。

如果宇宙是球形的，那么人在宇宙中沿同一方向前进，也有可能发现，不知不觉中又回到了出发点。在地球时，我们是沿地球表面（二维）向同一方向前进回到原点；而在宇宙中，我们则是在宇宙空间（三维）中沿同一方向飞行回到原点。

举个例子来说，我们甚至可以想象在球形的宇宙空间中向正前方射出的一颗子弹，明明飞行路线没有变，最终却打中了自己的后脑勺。那么，宇宙空间存在什么扭曲的地方吗？宇宙整体又是什么形状的呢？

这正是疑难之处。正是为了解决这些疑问，才有了庞加莱猜想，才有了数学的发展。■

主宰宇宙的力



作者 / 大栗博斯

美国加州理工学院理论物理讲席教授，理论物理研究所 (burkeinstitute.caltech.edu) 所长，日本东京大学 Kavli 数学物理学联合宇宙研究机构 (Kavli IPMU) 研究主任。东京大学理学博士，发现了量子场论与超弦理论的深层数学构造，其研究曾获得美国数学学会大奖 (2008 年)、德国洪堡研

微观世界中，作用于物质间的主角是三种“力”。整个自然界便是由这三种力再加上引力共四种力来维持运行的。在这四种力中，引力可能是我们最熟悉的。另外，对于理解宇宙而言，引力也是至关重要的线索。我在[《引力是什么：支配宇宙万物的神秘之力》](#) (人民邮电出版社，2015 年 11 月) 当中，讲解了关于引力的最新研究情况。

但是，在基本粒子的世界中，主角是电磁力、强力和弱力这三种力。

我们也能在日常生活中感受到上述三种力中的电磁力。在人们的认知里，它原本分为电力和磁力。19 世纪的物理学家将这两种力统称为电磁力，从此人们便将它们作为一种力来理解了。无论是干燥冬日里的静电，还是磁铁相互吸引的现象，都是源于电磁力的。原子聚拢构成分子，分子聚拢构成物质，我们日常生活中所接触的各种物质都是因电磁力而形成的。桌子很坚硬，椅子可供人坐，这都是因为电磁力将桌子和椅子中的分子聚拢在了一起。如果没有电磁力，就连我们的身体也会变得四分五裂。

那么，剩余的两种力又在何处发挥着怎样的作用呢？

“强力”与“弱力”的名字本来就不像专业术语，所以可能会有人认为它

究奖(2009年)、日本仁科纪念奖(2009年)、日本数学学会詹姆斯·西蒙斯奖(2012年),《超弦理论:探究时间、空间及宇宙的本原》获得2014年日本第30届日本讲谈社科学出版奖。著有前沿物理科普三部曲《引力是什么》《强力与弱力》《超弦理论》,数学入门科普《用数学的语言看世界》等。

们不是作用于微观世界的特殊的力。例如,人们当中既有臂力超群的强者,也有耐力很差的弱者……所以说,任何力都有强弱可言。

但是,“强力”与“弱力”并不是如此含义模糊的词语。虽然它们因一个比电磁力强、一个比电磁力弱而被粗糙地命名,但是任何一方都是作用于微观世界中的力,都是伟大物理学的术语。英语中也分别称之为“strong force”与“weak force”,“强力”与“弱力”的名称就是直译过来的。

为了理解伟大的新发现——**希格斯玻色子**的意义,我们也有必要了解这两种力。希格斯玻色子原本是科学家在努力研究强力和弱力作用机制的过程中预言会存在的粒子。我认为通过理解这两种力,可以透彻地理解标准模型,也能够体会发现希格斯玻色子的意义。

射线和地震都涉及“弱力”

当媒体报道发现希格斯玻色子的新闻时,可能会有很多人认为“这件事与自己的生活没有任何关系”。但是,与希格斯玻色子有关的弱力,并非与我们的生活没有关系。它虽然不像引力和电磁力那样能被我们感知,却给我们带来了巨大的影响。

射线的产生

2011年3月11日发生的东日本大地震引发了福岛第一核电站的核事故,放射性物质带来了波及范围广且影响严重的污染,释放出的放射性铯大概相当于广岛原子弹爆炸的168倍。这里产生射线的原因就是弱力。

特别是铯137的原子核,是由55个质子和82个中子组成的。在原子核中,

质子与中子的数量平衡是相当重要的。由于铯137的中子比质子多很多，所以它很不稳定。因此在弱力的作用下，中子会变身为质子，使原子核转为稳定。

你或许认为，力的作用能够改变粒子类型是件很奇妙的事情。我们在学校的理科课上所学的“力”是使物体运动状态发生变化的东西。日本文部科学省的中学学习指导大纲中这样写道：“只要有力作用于物体，我们就会发现该物体发生变形或开始运动，抑或运动状态发生改变。”但是，力的作用不仅仅能够改变物体的形状和运动状态。

例如，当我们说“语言的力量”和“艺术的力量”的时候，没人会想到它们能改变物体的运动状态吧？这些力改变的是理解它们的对象的思维 and 心智。另外，最近的经管书籍和自我启发类书籍的书名出现了《拒绝力》《倾听力》《烦恼力》等各种各样的“力”，这些力改变的也不是物体的运动状态。我想它们主要是指自己和对方的心理状态。阅读了那么多改变人心理状态的“力”型书籍，对于弱力把中子变成质子一事，从感性上应该也不会感到过分意外了吧。

中子是显电中性的（也正因此被称为“中子”），而质子带正电。中子变身成质子之后，原子整体电荷的“账面”就对不上了。因此，在中子变为质子的同时，会产生带负电的电子，这样才能保证质子的电荷能够与电子的电荷正负相互抵消。这些由中子转变而产生的电子会以非常高的能量从原子核中释放出去。这样，中子释放出电子变成质子后，铯就会变成钡。在如此形成的钡的原子核中，因为中子是突然变为质子的，所以尚处于不稳定的状态，于是就会通过电磁波释放掉多余的能量，以最终进入稳定的状态。

19世纪末，人类发现了不稳定的原子核会释放电子和电磁波的现象。当时由于不了解其中的真正原因，就把释放出的电子命名为 β 射线，把释放出的电磁波命名为 γ 射线。对于原子核释放出的射线，现在我们仍然保留这种叫法。

不稳定的铯在弱力的作用下释放出 β 射线和 γ 射线，变成了稳定的钡。 β 射线和 γ 射线对人体是有害的，自日本核电站事故以来，想必很多人对此都有了一些认识吧。

我们的细胞中含有叫作DNA的分子，它携带着生命的重要信息。从铯释放出的电子（ β 射线）所具有的动能相当于DNA中原子结合能量的10万倍。电磁波（ γ 射线）的能量也是同样巨大。拥有如此高能量的电子和电磁波一旦进入我们的体内并穿过DNA，就会切断原子间的相互结合。

DNA的结构被称为双螺旋，是像链锁一样相连的原子分为两列，呈相互缠绕延伸的螺旋状。这两列原子携带着相同的信息，即使其中一列受到损伤，也可以使用另外一列的信息实现修复。因此，铯释放出的电子和电磁波即使切断了双螺旋的其中一列，人体一般也能够完成自我修复。但是，如果不幸两列的同一地方都被切断，那就无法进行修复了。带有错误信息的DNA会导致人体产生大量的恶性细胞，从而诱发癌变。

铯137的麻烦之处并非仅此而已。它的半衰期长达30年，会带来严重的污染。假设有100个铯原子，它们不会一下子都变为钡。即使过了30年也还会残留50个，它们会继续释放射线，所以避难的人们几乎无法再次回到遭受污染的地区。

那么，为什么铯137的半衰期如此之长呢？

半衰期的长短取决于中子变为质子的速度，也就是由弱力的大小来决定。之所以放射性原子的半衰期长，是因为其弱力“弱”。如果弱力再强一点的话，铯的中子变成质子的速度就会加快，从而缩短半衰期。假设铯的弱力变成现在的4倍，那么它的半衰期将缩短至不到两年。如果放射性物质能够在一年多的时间内减少到一半，那么污染的影响也应该不会长期存在了。

但遗憾的是，我们无法随意调整弱力的大小。而且，如果半衰期变为不到两年，弱力就会变得很大，事故发生后就会随即释放出强度为原来16倍的射线。这种情况也可能会在短时间内产生更大的危害。弱力的影响不仅仅体现在放射性物质产生的污染上。核电站事故的直接原因是宫城县牡鹿半岛海域发生的大地震，而地震的发生机制也与弱力有关。

地震的发生

地球中心的温度极高，炙烤着叫作地幔的一层结构，并使其发生缓慢对流。地幔上方的地壳会因此而发生形变，当能量通过岩石圈的错位断裂释放出来时就会发生地震。那么，地球的中心为什么具有如此高的温度呢？2005年，KamLAND实验团队在日本岐阜县神冈町1000米深的神冈矿井下，成功地直接观测到了来自地球中心的中微子（伴随原子核反应释放出的基本粒子）。并且，发现了地球一半的地热（相当于 2×10^7 兆瓦）是在弱力引发的原子核反应过程中产生的（剩余的一半则是地球诞生时遗留的能量）。

因此，地震的一半能量来源于弱力。

“弱力”让太阳可以缓慢燃烧

也许有人听到弱力是辐射的原因和地震的能量来源之后，会觉得“如果没有这种麻烦的力就好了”。但是弱力并不是一味地带给我们麻烦。其实包括我们人类在内的所有生命可以存在于地球上，也多亏了弱力，因为弱力在生命之源——太阳燃烧的过程中，也发挥了重要的作用。

我先简单介绍一下太阳燃烧的机制。核电站发电利用的是铀等原子核在核裂变过程中释放出的能量，而太阳的能量则是在核聚变反应中产生的。质子聚集到一起，转变为氦原子核的时候，会产生核聚变能量，这种能量会以光的形式照射到地球上。因为太阳的73%是由自由游走的质子组成的，所以发生核聚变的原材料非常充足。但是，仅仅将质子聚在一起并不能让它们转变为氦原子。太阳之中发生的核聚变要经历以下步骤。

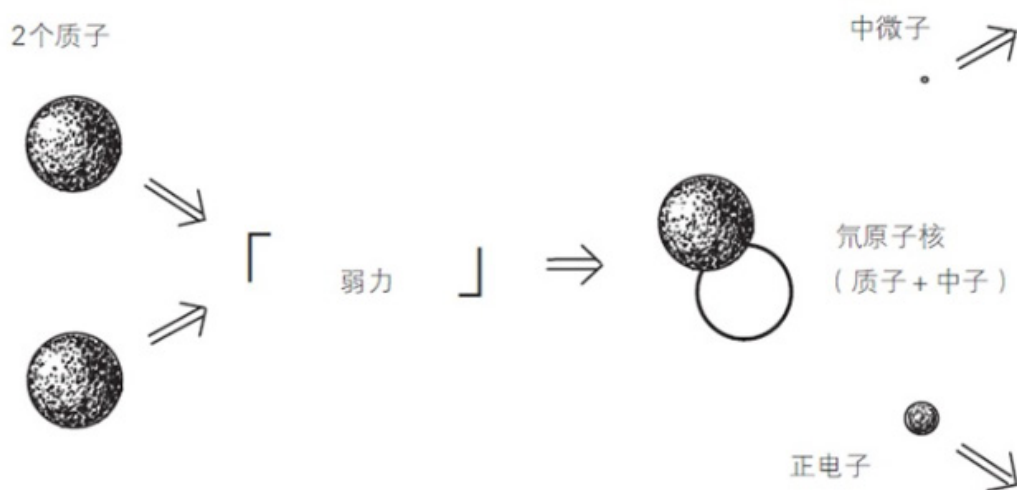


图2-1 太阳中的两个质子会在弱力的作用下转变为氦的原子核

首先，当两个质子靠近时，其中一个会偶尔在弱力的作用下转变为中子，于是质子和中子结合就能创造出氘的原子核（图 2-1）。这就是最初的一步，也是最棘手的难关。因为质子是带电的，所以质子之间会在电荷排斥力的阻碍下无法结合。当两个质子相互接近时，如果没有弱力在恰当时机发挥作用，让一个质子变成不带电的中子，是无法形成氘的。但是，弱力本身较“弱”，所以这种反应不会轻易发生。实际上，太阳中的一个质子与其他质子相遇变成氘原子核的事件可能 10 亿年才发生一次。

一旦创造出氘的原子核，那接下来形成氦原子核（2 个质子 + 2 个中子）就没那么困难了。这是第二个步骤。

也就是说，太阳的燃烧速度取决于在第一阶段引起反应的弱力的大小。正因为这样，太阳才获得了很长的寿命。我们预测太阳诞生于 50 亿年前，今后还能继续燃烧 50 亿年，核聚变反应不会一下子释放出巨大的能量，而是一点点地缓慢进行。这都是因为弱力较“弱”的缘故。

我曾咨询了美国加州理工学院的天体物理学家和日本国立天文台的天文学家。通过咨询得知，如果弱力比现在的大 10% 的话，太阳的寿命就会因此缩短 20%。再大一点的话，在 40 亿年前地球上的生物进化成人类之前，太阳就应该已经燃烧殆尽了。今后的 50 亿年中，我们之所以不用担心太阳的能量，也是因为弱力会保持着目前的大小而不会改变。

通过以上几点介绍，你应该了解到了弱力给我们的生活带来了很大的影响。

物质的质量之源——“强力”

理论物理学家默里·盖尔曼认为强子由更加基本的粒子组成，质子和中子等重子由3个粒子组成， π 介子和 η 、 ρ 、 ψ 等介子由2个粒子组成，这些基本粒子被统一命名为“夸克”。实验也验证了夸克的存在，目前普遍认为夸克是最基本的粒子。三个夸克组成一个质子或中子，质子和中子构成原子核，原子核与电子结合成原子（图2-2）。那么，原子的质量看起来好像就等于夸克与电子的质量总和。

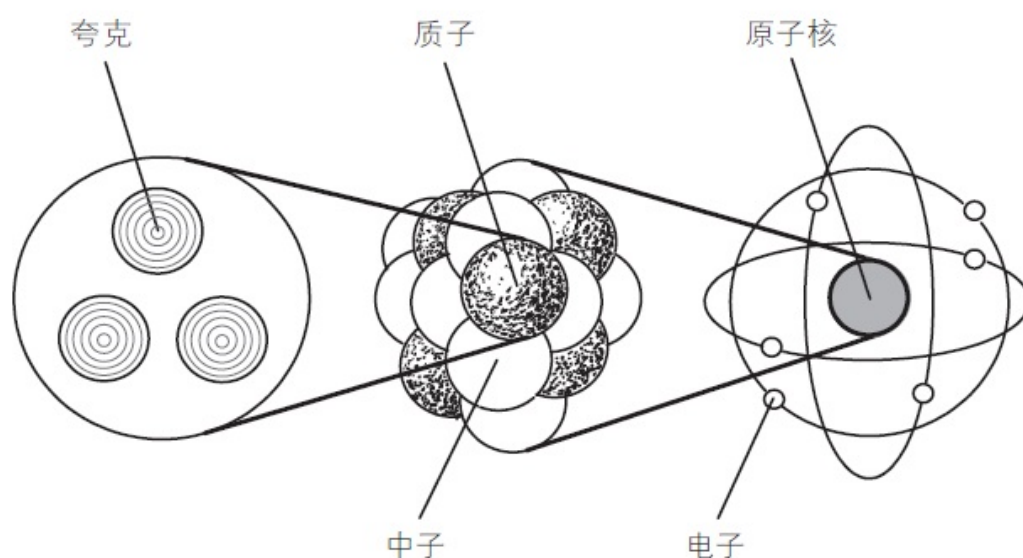


图2-2 三个夸克组成一个质子或中子，质子和中子构成原子核，原子核与电子结合成原子。那么，夸克和电子能够解释物质的质量吗？

然而，实际情况并非如此。在质子和中子的质量中，夸克的质量所占的比例只不过是1%而已。

那么，剩下 99% 的质量从何而来呢？除了构成原子的基本粒子的质量以外，应该还存在某处为物质提供相应大小的质量。

著名的公式 $E=mc^2$ 成为了理解这个问题的关键。爱因斯坦在 1905 年 6 月发表了狭义相对论的论文，并于 3 个月 after 在补遗中推导出了这个公式。能量 (E) 等于质量 (m) 乘以光速的平方 (c^2)。也就是说，质量与能量之间存在正比例的关系。

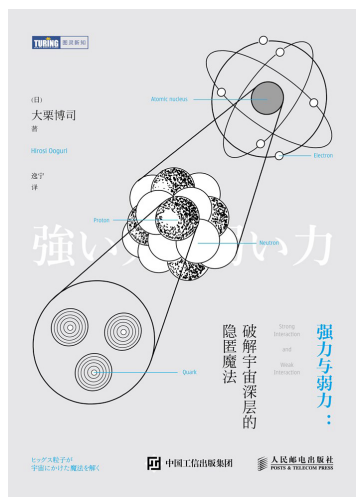
这个公式具有划时代的冲击力，它揭示出能量与质量在本质上是相同的。由于光速数值巨大，为每秒 30 万千米，所以该公式还表明微小的质量也可以产生出巨大的能量。如果重 1 克的 1 日元硬币能够完全转化成能量的话，或许可以提供 8 万户家庭 1 个月所消耗的电量。

爱因斯坦的这一发现，逼迫拉瓦锡的质量守恒定律做出了改变。既然质量可以转换成能量，那么质量和能量就不是各自独立存在的量。保持不变的量不是质量，而是质量和能量的总量。

例如，严格来讲，物质的质量也不是“原子的质量 × 原子的数量”。还需要把使原子结合在一起的电磁力的能量也计算进去。但是因为这种能量小到可以忽略，所以拉瓦锡的实验没有观测到它，从而得出了化学反应前后质量守恒的结论。

物质质量的 99% 来自“强力”的能量

同样，原子中使原子核和电子结合在一起的电磁能量也只占原子质量的一亿分之一。因此，可以说原子的质量基本等于原子核的质量。原子核的质量也基本上等于质子和中子的质量。



《强力与弱力：破解宇宙深层的隐匿魔法》以通俗易懂的语言解读了强力与弱力以及基本粒子的相互作用机制，用推理小说的线索追踪与解谜方式介绍了微观层面下的奇妙世界以及自然的基本结构，能够让你以全新的视角面对和反思宇宙、自然以及万物的存在。

如果沿用这种思维模式，我们会觉得好像可以用夸克的质量来解释质子和中子的质量。但是，实际上即使把所有夸克的质量加起来也仅占了质量的1%而已。

那么，剩下的99%的质量到底从何而来呢？这些质量其实源自将夸克束缚在质子和中子之中的“强力”的能量。

把使原子和原子、原子核和电子、质子和中子结合在一起的能量，换算成质量后的数值是非常渺小的。但是，作用于夸克的力却可以产生巨大的能量，这种力能够解释粒子剩余的99%的质量来源。

因为质子和中子的质量基本源于束缚夸克的能量，所以原子的质量，甚至连我们身边物质的质量，也基本都是源于这种束缚夸克的能量。

电子和夸克的质量仅占整体质量的1%。所以物质的质量基本可以解释为强力的能量通过公式 $E=mc^2$ 换算出的质量。

“三兄弟”为何性格迥异

在标准模型中电磁力、强力、弱力的作用机制都是一样的。可以说，这三种力就像“三兄弟”一样。实际上，研究者一般认为在宇宙诞生的大爆炸时期，这三种力具有相同的性质。

但是，在当前的世界中，电磁力、强力、弱力并不是同一种力。它们的强度也完全不同。虽然大爆炸时期具有相同的性质，但是随着宇宙的进化，它们的性质也出现了差异。目前的研究普遍认为力在宇宙诞生的时候就已经存在，不过其作用方式与现在存在差异。可以说，出生时候完全没有区别的三兄弟随着发育成长，性格也变得迥异了。■

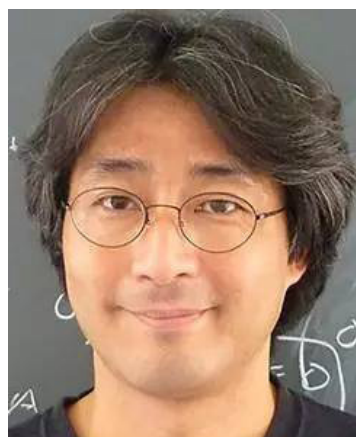
暗物质和暗能量

我们曾在学校学到“万物都是由原子构成的”，而且地球之外的天体也确实是由原子构成的。但是，2003年的发现告诉我们，其实“原子之外的东西”大约占据了宇宙的96%。刚刚进入21世纪不久，20世纪的“常识”就被彻底颠覆了。

暗物质

那么，非原子的96%到底是什么呢？很遗憾，目前我们还没有找到答案。不过，这些神秘的东西已经拥有了自己的名字。其中之一叫作“暗物质”（Dark Matter）。听起来像是科幻电影的名字，我们这一代人会在脑海里不由得浮现出《星球大战》（Star Wars）中的达斯·维德（Darth Vader）。不管怎样，由于我们完全不了解它的真身，也只能给出这样的叫法了。

不过，即便真身不明，我们也知道它是“存在”的。因为就像曾经的中微子，如果不以它的存在为前提，就会出现各种不合理的现象。在此，我先简单介绍其中一种不合理现象。



作者 / 村山 齐 (Hitoshi Murayama)

美国加州大学伯克利分校 MacAdams 冠教授，日本东京大学 Kavli 数学物理联合宇宙研究机构所长，国际直线对撞机 (International Linear Collider) 项目负责人，研究内容曾获日本西宫汤川纪念奖 (2002 年)，科普作品《隐匿的宇宙：用基本粒子揭开宇宙之谜》获日本新书大奖 (2011 年)。

地球之所以能以 30 千米每秒的速度转动而不飞向别处，是因为它被太阳的引力拉住“落”了下来。因此，拥有众多行星的太阳系并没有四分五裂，各奔东西。

大部分人可能都不记得在学校学过地球的公转速度。日本的学校没有教授这个知识点，可能是担心让孩子产生恐惧心理。(笑) 例如想到自己时刻都生活在以 30 千米每秒 (时速 108 000 千米!) 的速度疾驰的物体上，或许有人会感到不舒服。

不仅如此，其实包含地球在内的太阳系也在急速转动，而且速度为 220 千米每秒。也就是说，我们以约 80 万千米每时的速度徜徉于宇宙的海洋中。

不过，我们并不是毫无目的地盲目运动。与地球被太阳的引力拉住“落”下来一样，太阳系也受到了整个银河引力的牵制，所以太阳系不会脱离银河系，请放心好了 (但是，预计 45 亿年后银河系会撞上附近的仙女座大星系，这样看来，我们也得提前制订逃亡计划了)。

如此急速飞驰的太阳系也无法逃脱银河系，可见银河系引力之巨大。然而，在这一点上，我们却发现了一件不可思议的事情。那就是即使将整个银河系的星球和黑洞等天体全部集中起来，也无法形成足以牵制住太阳系的引力。

人类能够计算得出上述结果，本身已经是巨大的进步。从计算结果上看，银河系中还存在天体以外的某种东西，否则我们的太阳系是无法稳定地在银河系中运行的。现实状况是太阳系作为银河系的一员运行非常稳定，

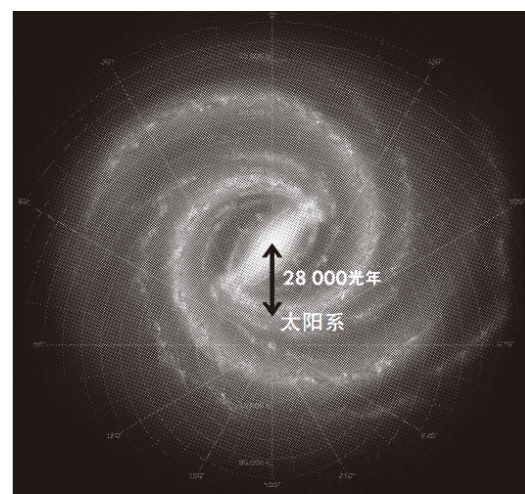
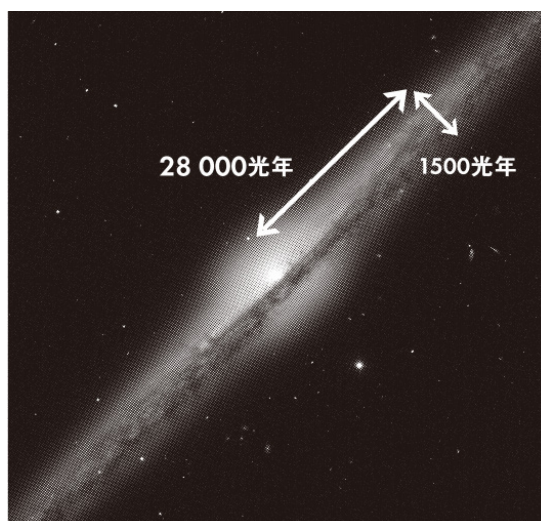
这样看来，确实存在某种我们未知的东西。

那么，是什么东西的引力将太阳系限制在银河系中呢？

是暗物质。

当然，暗物质并非仅存在于我们所在的银河系。邻近的仙女座大星系也基本都是暗物质。

暗物质遍布于整个宇宙的各个角落，其能量约占宇宙总能量的23%，为原子的5倍。我们原本以为闪闪发光的天体是银河系的主角，然而却没想到构成天体的原子在宇宙中只是个小角色。“星系”徒有其名，其实它是暗物质的聚集地。银河系的实际状态是混杂了少量天体的巨大暗物质集合。



Credit: NASA

图（银河系） 银河系是拥有几千亿天体的集合体，太阳系以220千米每秒的速度围绕银河系的中心旋转

暗能量

阅读完前文，想必你应该明白了“万物并非都是由原子构成的”。但是，就算将原子和暗物质加在一起，其能量也仅占宇宙的27%，这只不过是整个宇宙的一小部分。其余的73%，也就是宇宙的大部分究竟是什么呢？

像暗物质一样，这些未知的能量目前也仅仅有一个名字，即“暗能量”（Dark energy）。不过，对于暗能量的情况，我们目前了解的比暗物质还要少。

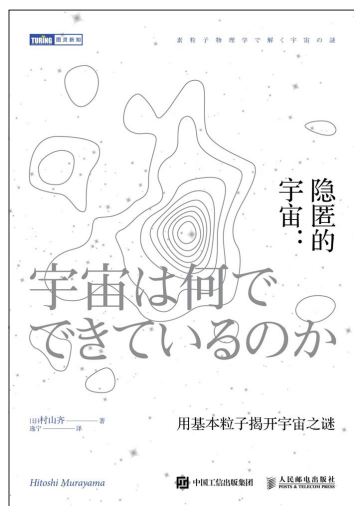
虽然暗物质与我们所了解的原子完全不同，但是它拥有类似于“物质”的属性。为什么这么说呢？因为随着宇宙的不断膨胀，暗物质的密度在逐渐变小。这个道理并不难理解。例如，如果将盛放玻璃球的盒子的体积扩大到原来的2倍，玻璃球的密度就变成了原来的一半。所谓物质，就是这样的东西。从这一点上讲，原子和暗物质是没有区别的。

但是，暗能量就不一样了。用极为荒唐的话来说就是，无论宇宙这个“盒子”变到多大，暗能量的密度也不会变小。这句话听起来，仿佛暗能量像妖怪一样，令人感到十分恐惧。如果可以的话，就像《没有妖怪》^①那首歌唱的那样，我更愿意认为“妖怪都是骗人的”。

但是，如果不以存在如此令人毛骨悚然的能量为前提，就无法解释令人更为恐惧的事实现象，即宇宙“正在加速膨胀”。

宇宙曾经被认为是既没有起点也没有终点，始终维持大小不变的空间。后来人类能够认识到宇宙正在不断膨胀的事实，则要归功于人类对来自宇宙的“光”的观测。

① 《お化けなんてないさ》是一首十分欢快的日本童谣。——译者注



《[隐匿的宇宙：用基本粒子揭开宇宙之谜](#)》是著名基本粒子物理学家村山齐教授关于“宇宙是什么”的畅销科普读物。本书以回答“宇宙由什么组成”以及“我们为什么存在”这两个人类最为原始、朴素的疑问为线索，结合最新的基本粒子物理和天体物理研究，用风趣幽默的语言和比喻，从全新的视角讲述了“宇宙的本原结构”和“自然的本原法则”。

光和声音的“波”在接近或远离波源（光源、声源）的时候，其波长会发生变化。大家在日常生活中也都有过“多普勒效应”的体验吧？当一辆救护车逐渐接近自己的时候，我们听到的警笛声会越来越高；而车离去的时候声音则会越来越低。这是因为靠近我们的声音波长缩短了，远离我们的声音波长延长了。

光的波长也会发生与之相同的现象。声波随波长的变化出现声音“高低”的变化，而光波出现变化的是“颜色”。例如，离我们远去的天体看上去是红色的，静止的天体是黄色的，逐渐靠近我们的天体是蓝色的。

通过观察光谱中颜色的变化，例如看上去本应为黄色的天体变成红色等现象，我们发现恒星和星系正在逐渐远离地球的事实。这种说法并不意味着地球处于宇宙的中心，只是从地球观察点来看，其他天体在不断远离地球而去。因为整个宇宙空间都在膨胀，所以每个天体看上去都在彼此远离。

宇宙的“诞生”确实源自大爆炸，那么下一个问题就是它的膨胀将持续到何时。

关于这一点，研究领域目前大致认为有两种可能性。一种可能性是宇宙永远膨胀下去，另一种可能性是膨胀到极限后转向收缩。无论出现哪种结果，这里都是以宇宙的膨胀速度逐渐“减速”为前提的。

可以这样来理解，始于大爆炸并逐渐膨胀的宇宙，就像猛然向上空抛出的球。球所拥有的全部能量就是最初抛掷者向其施加的，球被抛出后会逐渐减速是理所当然的。那么关于球的未来趋势，我们只能想到球继续上升并逐渐减速，或者球上升到一定高度后转而下落这两种可能性。

但是，最近的研究发现**宇宙的膨胀正在“加速”**。这也是彻底颠覆我们宇宙观的事实之一。

如此一来，我们只能认为存在某种“透明人”似的东西在后面推着“抛出的球”上升。这里的“某种东西”被认为是暗能量。这种神秘的能量在宇宙背后推动其不断加速膨胀，无论宇宙这个“盒子”变成多大都不会使自身密度变小。这种来路不明的神秘能量占据了宇宙的70%之多。 ■

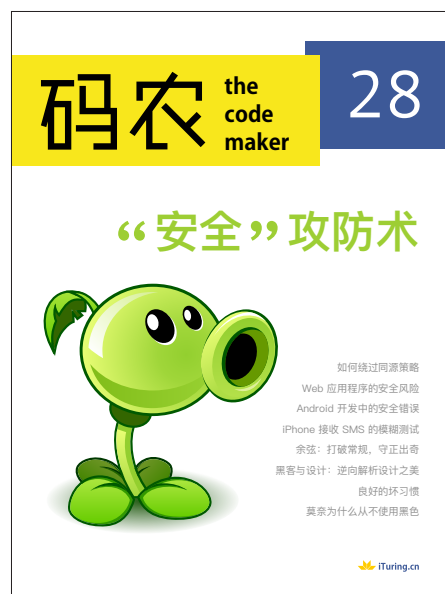
读《码农》还能赚银子！

吐吐槽

《码农》电子刊如今慢慢悠悠已经出版了29期，从一开始的好评如潮，到现在的“怎么这么抽象啊”“赶脚内容没有以前好了？”“一下就翻完了，没什么内容啊”……小编表示压力很大，现在的码农读者太难伺候了，明明是免费杂志，¥%#%&*%#@ ¥* @ ¥#@！

但是，一看到好评，编者还是会热泪盈眶，热血沸腾，各种正能量啊“这么好质量的杂志还免费，天上掉馅饼呀”“希望一直出！每一版都读了，很值得推荐！！”……

所以《码农》还是会一直做下去，但是，是好是坏，您得给个话儿啊！



活动规则：在[吐槽贴](#)中留言，选出任何一期中你最喜欢的文章和最不喜欢的文章，即可获得图灵社区银子2两！凡吐槽吐得掷地有声者，加赠银子3两（共5两）！（[如何使用银子兑换图书](#)）

活动时间：本活动长期有效。

追踪“庞加莱猜想”破解者佩雷尔曼

2006年的西班牙马德里，国际数学联盟(IMU)在此主办的菲尔兹奖颁奖仪式即将开始。西班牙国王胡安·卡洛斯一世作为颁奖嘉宾莅临现场，同时会场中还汇聚了来自世界各地、活跃在学术最前沿的4000余名数学家们。

作为数学界的最高荣誉奖项，四年一度的菲尔兹奖仅授予在四年间做出突出学术贡献的数名数学家，因其获奖人数之少，也被认为是较诺贝尔奖具有更高权威的奖项。

而这一年，毫无疑问，大家都认为菲尔兹奖应当授予给出了庞加莱猜想证明过程的那位数学家。

当原国际数学联盟主席，来自牛津大学的约翰·波尔(JohnBall)教授出现在颁奖台上，将要宣布获奖者姓名时，从观众席上传来了热烈的掌声。波尔教授稍作停顿，等待掌声平息之后，正式宣布：“本届菲尔兹奖授予来自圣彼得堡的格里戈里·佩雷尔曼博士！”与此同时，一个蓄着长胡子的男子巨大头像照片也出现在颁奖台上方的屏幕上。这个人正是格里戈里·佩雷尔曼(Grigoriy Perelman)博士，正是这位40岁的俄罗

斯数学家证明了素有“世纪大难题”之称的庞加莱猜想。教授话音刚落，会场上就响起了雷鸣般的掌声，这掌声，是与会的数学家们对这个可以称得上是数学界百年一遇的奇迹的赞叹，也是他们难耐心中喜悦的真情流露。



图 宣布拒绝领奖消息的约翰·波尔

但是，在此之后，事件的发展陡然急转直下。“非常令人遗憾的是，佩雷尔曼博士拒绝前来领奖。”波尔教授随后就宣布了这一消息。当时，会场中可能有人没有听清楚教授的这句话，或者是根本没理解教授的意思，仍然有稀稀拉拉的掌声响起，但很快就安静了下来。数学家们不敢相信，佩雷尔曼博士居然就这样拒绝了菲尔兹奖的奖章和奖金，并且根本没有出现在会场，这是真的吗？



图 菲尔兹奖颁奖仪式现场

这个事实对于那些曾经倾注十分的心血、万分的努力想要亲自证明庞加莱猜想的数学家们来说，不啻于一记闷雷。

来自美国的沃尔夫冈·哈肯（Wolfgang Haken）博士就曾经在长达 30 多年的研究生涯中，致力于证明庞加莱猜想。“迄今为止，还从来没有任何一位数学家拒绝领取过这四年才颁发一次的菲尔兹奖。这次的事件对国家数学联盟来说是非常沉重的打击。虽然我很不愿意这样想，但他的行为是不是故意想引人注目？无论如何，自此之后，佩雷尔曼这个名字将会传遍全世界。”他说道，“我很想知道这背后的原因，而且，佩雷尔曼博士究竟是怎样一个人，他的生活是什么样子的，我也非常感兴趣。”



图 格里戈里·佩雷尔曼

出生地——圣彼得堡

据说，行踪不明的佩雷尔曼博士就隐居在这个他曾出生的城市。

纵横交错的运河与古老的街道相映成趣，满载游客的观光船让河面上变得热闹非凡。一到周末，更是有许多来自不同国家的情侣们，选择在这里的教堂举行结婚仪式，幸福的场面随处可见。

但是，佩雷尔曼博士的住处却不是那么容易能找到。

佩雷尔曼博士的住处位于圣彼得堡郊外，那里是一片遍布高层住宅楼、比较拥挤的区域。附近的居民说，这附近住宅的格局大部分都类似于日本常见的1LDK^①房型，是比较适合平民居住的公寓。

① 日本的1LDK指一室一厅一厨的房型。L代表起居室 (Living Room)，D代表餐厅 (Dining Room)，K代表厨房 (Kitchen)。

——译者注

一层的公共休息区里放置着住户信箱，但上面没有写任何名字。佩雷尔曼博士应该住在6层。我们大胆地敲了敲门，但没有任何反应。

这些都让我们不禁怀疑，这位破解了世纪难题的数学家是不是真的住在这里。我们找到了一位路过的住户，问道：“请问佩雷尔曼先生是住在这里吗？”

“是的，是住在这里。”这位女住户还帮我们按了佩雷尔曼博士房间的门铃。虽然按了好多次都没有反应，但这位女士的表情似乎觉得这是理所当然的。

“我住在这儿5年，也只见过他6次左右。”

“您最后一次见到他是什么时候？”我们问道。

“大概两三个月前吧。他的衣着非常朴素，脸完全都被大胡子盖住了，整个人好像有种生人勿近的感觉。”

这位女士还告诉我们，佩雷尔曼博士的母亲也住在市内，他经常往返于自己租的这间公寓和母亲的住处之间。但是，在因拒绝领奖而受到全世界的关注以后，他似乎就一直寄居在母亲那里。

我们向她请教：“您知道怎么才能见到博士吗？”

“我不清楚。他曾经在研究所工作过，那儿也许可以告诉您一些消息。”

在我们的采访中，除了这位女士以外，其他住户基本上都不太了解佩雷尔曼博士的来历。

博士就职过的 Steklov 数学研究所位于一条古老的石阶路上，这条路就在流经圣彼得堡市中心的丰坦卡运河边上。这附近也正是陀思妥耶夫斯基的小说《白夜》中男女主人公相遇的地方。

在这个俄罗斯最具传统的研究所里工作，数学家们不需要像大学教授一样，他们不需要指导学生，或是处理那些事务性的工作。因此，虽然薪水不是最高的，但这个研究所汇集了俄罗斯全国的顶尖数学精英，在这里他们可以专注于追求自己的学术研究。



图 坐落在圣彼得堡丰坦卡运河旁边的 Steklov 数学研究所

娜塔莎女士是佩雷尔曼博士在研究所的同事，她带我们找到了博士工作的房间。打开吱呀作响的木质房门，呈现在我们面前的是一个不算特别宽敞的房间，屋子正中摆放着一个椭圆形的桌子，在窗户边并排摆放着 4 张桌子。

“这就是数理物理学的研究室，佩雷尔曼博士和其他几位数学家一起使用。”娜塔莎女士指着房间最尽头的那一张桌子，上面摆放着一台大大的台式计算机。“博士经常坐在那个座位上，在工作时他一般都是背向其他人的。”

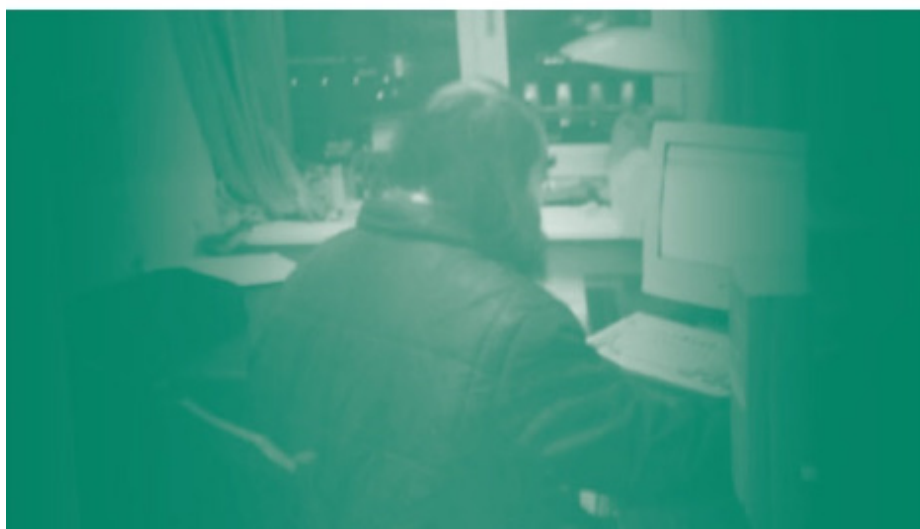


图 佩雷尔曼的座位以及同事拍摄的背景照片，拍摄于 Steklov 数学研究所

从博士的座位看去，丰坦卡运河上来来往往的游览船和小桥清晰可见。

采访中，我们还找到了佩雷尔曼博士消失前留下的最后一张照片，是某位同事给他拍摄的。在这张照片中，我们也只能看到博士面向计算机的背影。

据说，到达研究所上班后，博士所做的第一件事就是坐在计算机前面查阅当天的电子邮件。同一间办公室的其他同事经常会三三两两围坐在圆桌旁，边喝茶边讨论数学议题，但博士从来没有加入过这个小圈子，都只是埋头忙于自己的研究工作。

“有时候他会突然从座位上站起来，我们都以为他有什么事情，结果他只是从桌子上拿一些小点心，嘟囔几句就又回到了座位。他看上去好像是个很难接近的人，但只要问一些数学问题，他就会非常耐心地回答，态度好得让人惊讶。”娜塔莎如此描述博士的工作场景。

但是，2005年12月，博士突然辞去了研究所的工作。所有的同事都极力挽留，但他还是决定离开。自那以后，人们就再也没有在研究所见到过他了。

“有传闻说他早已离开了数学界，但我认为这说法根本不可信。对佩雷尔曼来说，数学就是他的一切，数学就是他的全部人生。”娜塔莎女士虽然声音不大，但语气坚定。

金钱地位皆可弃

博士离开研究所后，研究所的行政人员就遇到了点小麻烦。从世界各地寄给佩雷尔曼博士的信件，在行政办公室的角落里快要堆成了一座小山。

“这些都是一些演讲的委托或者邀请函。您看，这一封是美国伯克利研究所寄来的，这封来自意大利的米兰。所有信件上面都写明希望投递给佩雷尔曼博士本人。”研究所工作人员也表示很无奈，大部分的信件都是挂号信，但博士本人拒绝去领取。结果这些信件就都转到研究所来了。虽然有点困扰，不过看起来这些工作人员倒没有任何怪罪佩雷尔曼博士的意思。

“我觉得放弃菲尔兹奖这件事，非常符合佩雷尔曼本人一贯的风格。”担任研究所经理的塔玛拉女士对我们说。这是一位身材高大、面容威严的女士，她已经在研究所工作了45年之久，是这里资格最老的员工。她在学生时攻读的专业就是数学，在研究所博得了员工们深厚的信赖，那些到国外出差的数学家们带回来的礼品把她的办公室都要淹没了。

就在辞职的几个个月前，佩雷尔曼博士突然来到她的办公室，开口说希望把薪水的一部分还给研究所。

“‘我并没有参加过这个项目，所以也不会要这笔钱。’”塔玛拉女士转述博士当时的话后又补充解释了一下，“这件事其实是因为当时博士收到的工资明细上，写着一个他根本不知情的项目名称。他觉得自己没参加过这个项目，所以这个钱不能收。后来我发现，这个项目是当时和博士同一办公室的另一位学者以小组形式发起的，博士当时正好在从事另一

个与此无关的研究。不过，即使他领了这笔钱，估计也没有同事会因此责怪他。至于把领到的薪水再还回来的，在我印象中，这个研究所过去从没发生过这样的事。”

虽然有过这样的事，但事实上，佩雷尔曼博士的生活并不十分宽裕。当时，他仅仅靠着每月 5000 卢布的工资，支撑着自己和母亲两个人的生活。如果某个月工资的转账发放稍微迟了点，他就会绷着一张脸走进塔玛拉女士的办公室，向她抱怨怎么这个月的工资还没有发。

“也就是说，佩雷尔曼其实一直都只遵循着自己的一套行为原则。据我的经验，这也可以说是很多数学家共同的特征。他们大多数都只忠实于自己内心的准则，很少会因为考虑到和他人的人际关系而改变这个原则。所以，大家把佩雷尔曼的所作所为拿来和一般社会大众的普遍基准相比较，是没有任何意义的。从这个层面上讲，大家觉得他的行为令人费解，我反而觉得这是再正常不过的事了。”

塔玛拉女士并没有试图去分析佩雷尔曼博士拒绝领奖这件事，但她好几次重复了一个话题——他具有数学家们特有的性格。

“也许在社交方面佩雷尔曼并不擅长，即使客气一点地说，他的性格也说不上是开朗的。但是，他具有超出常人的、无与伦比的诚实性格，是完完全全的诚实。数学本身就是由许多严密的逻辑法则堆叠而成的学科，这在另一方面也使数学家们性格变得冷淡，看起来就好像是缺乏感情的人一样。”

据我们调查，自从拒绝了菲尔兹奖以后，俄罗斯国内的媒体就一直在追踪博士的个人生活，在电视上不断反复播出。

圣彼得堡当地媒体曾经报道过，人们甚至还创造了与佩雷尔曼博士相关的流行词语。比如“佩雷尔曼化”（可能是“佩雷尔曼”一词的动词形态？），这个新词指代某人行踪飘忽不定，或者根本不知去向。而“寻找佩雷尔曼”这个词组则用来指代不可能的事，或者明知根本就无法实现还要去做的行为。

这些流行语虽然很幽默，但对追踪佩雷尔曼博士的我们来说，还真是笑不出来。

沧桑巨变的天才少年

对于俄罗斯国内这些针对佩雷尔曼博士的舆论，有一个人感觉万分痛心，他就是佩雷尔曼高中时的恩师亚历山德拉·阿布拉莫夫（Aleksandra Abramoff）先生。阿布拉莫夫先生现在就职于莫斯科教育委员会，担任新学校筹划的相关工作。为了见到阿布拉莫夫先生，我们立即启程飞往莫斯科。

匆忙地跟我们寒暄过后，阿布拉莫夫先生就直奔主题。格里沙是佩雷尔曼博士少年时代的昵称，这个称呼源自于他的名字格里戈里。我们告诉阿布拉莫夫先生，虽然没有直接采访到佩雷尔曼博士，但是我们有一段偶然录下的、关于他的电视节目录像。阿布拉莫夫先生马上要求我们播放给他看。在观看节目的过程中，他一直眉头紧锁，不停地抽着烟。

“这个报道真是太过分了。人们对他都应该怀有敬意，但这个节目不但没有敬意，反而做出这样无礼的举动，真是太过分了……”看完节目的阿布拉莫夫先生有点气愤。他从书架的最里面抽出一本厚厚的文件夹。

里面有佩雷尔曼博士高中时代的照片，有许多新闻报道的剪报，甚至还有他当时考试试卷的答题纸，这些都整整齐齐地保存在这个文件夹里。看得出来，这些资料对阿布拉莫夫先生来说很重要，文件夹上没有一点灰尘，照片也保存得非常好。照片中，少年时期的佩雷尔曼博士看起来比现在更胖一点，发型也是很清爽的短发。照片里面，他和朋友们聚在一起非常开心地微笑。



图 阿布拉莫夫先生手指向的就是少年时期的佩雷尔曼

“佩雷尔曼对很多领域都有兴趣，不论谈起什么话题，虽然他的话可能很少，但谈话一定都能继续下去。也可以说，他的知识很渊博。他不擅长运动，但是很喜欢去散步。过去，我们经常一起边散步边讨论数学话题。他经常会有一些惊人之语，比如有一次他就告诉我‘我有种感觉，好像曾经有个人悄悄在我耳朵边，把解法小声说给我听’，类似的话屡屡让我感到非常吃惊。”



《[庞加莱猜想：追寻宇宙的形状](#)》是日本NHK特别节目制作组关于“庞加莱猜想”的专题纪录，追寻宇宙的形状与神秘数学家的线索、谜题与真相。

而现在，在这个他曾经教过的最优秀的学生身上，究竟发生了什么事情？对佩雷尔曼博士不再现身的原因，就连阿布拉莫夫先生也毫无头绪。采访的最后，他对我们说了自己的一些看法：“有句话是这么说的，‘对拥有丰富才能的人，人们必须谅解他们的与众不同。’被称为天才的这类人，一定有一些地方表现得比较奇怪。但是现在，俄罗斯国内的媒体氛围对佩雷尔曼缺乏足够的宽容。为什么他不得不和社会大众保持一定距离？这是因为什么事情引起的？人们必须首先怀着敬意，然后再去思考事情的缘由。”

有传闻说佩雷尔曼博士喜欢采集蘑菇，我们还专程探访了圣彼得堡郊外的森林。在5月的森林里，我们并没有找到博士，而且这个时候就连蘑菇都很难找得到。

佩雷尔曼博士为什么对荣誉不屑一顾，又为什么消失在人们的视线中？

“清高的数学家”“完完全全的诚实”“数学就是他的整个人生”……尽管这些了解佩雷尔曼博士的数学家们给出的评语所包含的真正意思我们还不是很清楚，但是我们能感觉到，这里面也许就隐藏着解开博士失踪之谜的线索。我们是不是还未了解到那些真正重要的信息？■

对话村山齐： 研究是为了探求谜底与真相



村山老师是取得了国际成就的物理学家，是致力于宇宙国际共同研究的年轻领导者。为了将最先进的研究成果回馈于社会，村山老师积极举办民间讲座等活动，同时，村山老师的第一部科普著作[《隐匿的宇宙：用基本粒子揭开宇宙之谜》](#)已经由图灵出版，是一本难得的科普畅销书。

村山奇，日本东京大学卡弗里数学物理联合宇宙研究机构所长、特聘教授，美国加州大学伯克利分校物理教研室教授，直线对撞机合作组(LCC)副主任，美国艺术与科学学院会员，日本学术会议合作会员。1964年出生，东京大学理学部毕业，东京大学研究生院理学系研究科博士课程毕业，经任东北大学助教等职位，成为美国加州大学伯克利分校教授，并

下面让我们来追寻村山老师在这些丰富多元活动中的思想轨迹。

村山老师，您的专业是“基本粒子物理学”，是普通人不熟悉的领域，那么，这是怎样的研究领域呢？

基本粒子正如其字面意思，通过不断深入剖析物质，研究微观层面中组成物质的基本粒子的结构和运动机制，这就是基本粒子物理学。这一领域在20世纪取得了巨大进展，我们世界物质的基本结构已大致明了。

物质由原子组成，原子的中心部位存在原子核，原子核周围环绕着电子。原子核由质子与中子构成，质子、中子又由更微小的粒子夸克组成。原

就任日本文部科学省作为世界顶级研究基地而设立的日本东京大学卡弗里数学物理联合宇宙研究机构的第一任所长。专业为基本粒子物理学，主要的研究课题包括：超对称理论、中微子、早期宇宙、加速器实验的唯象理论等。著有《[隐匿的宇宙：用基本粒子揭开宇宙之谜](#)》(宇宙は何でできているのか，幻冬舎)、《宇宙只有一个吗》(宇宙は本当にひとつなのか，讲谈社)、《我们为何存在于宇宙之中》(宇宙になぜ我々が存在するのか，讲谈社)、《村山先生，究竟了解宇宙多少》(村山さん、宇宙はどこまでわかったんですか，朝日新闻出版)等。2002年获西宫汤川纪念奖，2011年获日本新书大奖第一名。

子的直径约为一亿分之一厘米，夸克的直径则小于十亿分之一厘米，可见它们是多么微小。就像这样，我们现在已经能够从微观层面重新了解物质了。

另一方面，当我们仰望浩瀚的宇宙，会意识到宇宙中尚有许多未解之谜，而基本粒子的研究在很大意义上与宇宙息息相关。例如，追溯过去的宇宙，那时曾经没有恒星和星系，只存在暗物质与原子。再进一步向前追溯，宇宙还曾经处于原子核与电子各自零乱运动的时期。越往早追溯，宇宙越接近微小基本粒子的世界。基于这个意义，现在的宇宙研究也都是从基本粒子物理学的角度进行的。

现在您就任日本东京大学卡弗里数学物理联合宇宙研究机构的所长一职，那么该研究机构是什么样的组织呢？

卡弗里数学物理联合宇宙研究机构，是为了解答宇宙的根源性问题而设立的国际性研究机构，机构中的数学家与物理学家合作进行研究。我们总是说宇宙中存在着很多未解之谜，在卡弗里数学物理联合宇宙研究机构中，研究者试图汇集最先进的科学成果来阐述“宇宙的起源”“宇宙的组成”“宇宙的未来”“宇宙的基本规律”“我们为何存在于宇宙中”这五类问题。这五类问题是非常基础且重要的问题，也是特别难以解答的问题，爱因斯坦也没有实现曾经梦想过的“统一理论”。在宇宙的统一理论中迫切需要融合和贯通数学、物理学、天文学这三大领域，其中，我当前最感兴趣的是暗物质与暗能量。

虽然如此，但研究宇宙与基本粒子对我们现阶段的生活与工作完全没有帮助，只是科学家在逻辑思考的理论层面进行研究。因此，科学家自然

会受到文化差异与成见的影响，我们在研究工作中也在极力消除这类影响。这些是随着我的谈话，在脑海中浮现出的一些想法。

阐明“宇宙的起源”以及“宇宙基本规律”的研究到底是什么呢？包括我在内，我想大多数非专业人士都不会懂得。那么您在日常生活中是如何思考的呢？您认为一天之中是否存在最适合头脑思考的时段？

我个人一天之中头脑最清醒的时间是晚上，完全属于“夜猫子”类型的人。晚上 21 时到 24 时可能是我头脑最灵活、最清醒的时间。在结束一天的工作、返回家中后，时间完全属于我个人，我或者做饭，或者泡个热水澡，在此期间我会总结今天一天的事情，并开始仔细考虑具体事项的处理。

我认为大脑的思考方式有多种，例如可以在某种程度下系统地分析思考。但我认为在深入思考的阶段，您头脑中会进行“头脑风暴”吧？那种时刻，是否容易产生某种灵感，或者您拥有某种自己特有的思考模式？

我从未想过您提出的这些问题，所以一时之间也不能回答您。但从小时候起，我就喜欢琢磨各种事情，对“这是什么”的疑问，总是要彻底搞明白才行。现在我还清晰地记得关于夏天喝可乐的一件事，在我们插入吸管准备喝可乐时，吸管却会浮上来，一般情况下大家会感觉烦躁吧，但我会想“咦，什么情况？怎么会这样？”吸管为什么会浮上来？可乐与吸管是什么关系？当时我盯着可乐思考着这些问题，之后注意到吸管周围漂着很多碳酸泡沫，于是我想到了是因为吸管与泡沫都比水轻，所

以才会浮上来。这段记忆发生在小学三年级前后，一个小孩子一直盯着可乐与吸管，直到自己想明白前因后果，我想当时可能是缘于读过阿基米德泡在浴缸中看到热水溢出，从而想出测量皇冠比重方法的故事吧。

另外，在热气腾腾的米饭上撒上鲢鱼干，鲢鱼干不是会“嘭”地升起来吗？就这事也会令我兴奋地思考“这是为什么”，结论为，米饭的热量使空气升温而变轻，形成上升气流，上升气流使干燥的鲢鱼干蓬松升起来，鲢鱼干在遇到热空气吸收水分后又恢复原状，落回到米饭上。对于类似这样的问题，我总是希望能想出答案。我具有强烈的好奇心，一旦注意到什么就希望马上调查研究，明白原因。哪怕只是稍微明白一点儿，自己都会欢欣雀跃，在疑问全都解开时的瞬间，我会感到无比舒畅。我永远不会忘记揭开谜题时的那种喜悦与兴奋。至今也仍然是为了探求谜底与真相而做研究。

真是了不起的观察力！但是一般情况下，小学总是填鸭式地让学生死记硬背知识，虽然孩子的好奇心应当受到重视，但在实际的教学中却很难实现这方面的引导与培育。

小学教育中鼓励学生自己尝试着去思考问题的情况确实很少，因为教学时间有限，一些知识必须要先让学生牢记，这是不可否认的事实。例如记不住九九乘法表是不可能小学毕业的，但我认为如果拿出两三分钟时间向孩子提出“这个你怎么想”“你稍微想一下”这类的引导性问题，那么，情况就会有很大的不同。

我个人非常不擅长要求记忆、背诵的课程，对在空白地图上默写平原、河流、山脉名的课程完全提不起兴趣，导致最终没能掌握这些知识。但

另一方面，我非常喜欢记忆日语中的汉字，那是因为老师会教授汉字的结构与原理，例如，有的汉字是象形字，有的是形声字。汉字的左边为偏，表示意思；汉字的右边为旁，表示发音。这样就很容易记住汉字的结构与含义。

我也不喜欢记忆历史课中的年代和人物，但却深深被历史剧吸引。我也曾经读过科学家的传记，也醉心于一些描写大发明、大突破背景故事的电视剧。这类个性且生动的电视剧会呈现出研究者的成长历程与其成果之间的关联，这令我心潮澎湃。我认为让孩子们产生并保持好奇与兴奋的感觉是非常重要的。

现在的学校教育中缺乏让孩子们兴奋和自主思考的训练，我们也在研究，准备打破一些原有的条条框框来重新制定教育规则，为此需要一定的勇气和经验积累。

科学家，据说包括爱因斯坦在内，对研究都会具有一定的先入之见。但是，在逐渐积累数据与推断的过程中，如果现有的思路遇到问题，科学家在深思熟虑后认为确实不能再顺利推进研究，他们就会不得不舍弃以往的范式，进而采纳新的范式。

在科学史上，这样的事情发生过很多次。从地心说到日心说，这是对最初的理论学说的大逆转。之后，曾一度被认为是理所当然的基础学说（或理论）也接连被动摇。例如“光”一直被认为是一种波，但现在已知它实际上也是一种粒子。反之，“电子”这种基本粒子曾经被认为是一种粒子，但不可思议的是，我们已经认识到它也是一种波。

根据爱因斯坦的相对论，“时间”也不再是之前我们一直所相信的、所有人都共同拥有的那个时间。如果速度加快，时间将会延缓。就像这样，科学建立在反复舍弃之前理论的瞬间之上。当前的常识或许在不久的将来就会被颠覆，科学家们就是在这样的环境中从事着研究工作。

进入 21 世纪，在物理学领域中，对事物的看法发生了很大改变，对于处于物理学领域之外的人来说，可能感觉不会很强烈，但如果读过相关的科普书，就会惊讶不已。那么，这 20 年到底发生了多大程度的变化呢？

我毕业后取得学位，开始从事研究工作距今已经 20 年。当时，基本粒子理论中已经形成了“标准模型”，关于宇宙，也已经形成了“大爆炸”模型，那个年代的物理学成功地概括了这些模型，并从根本上确立了以此为标准的基础理论。面对这种情况，虽然令人欢欣鼓舞，但另一方面，科学家们也进入了一种不知如何进一步推进研究工作的胶着状态，因而当时的科学家们无所事事，无研究可做。

然而，在之后的 10 年左右，以前的理论体系中的做法与思路等破绽百出，实际上许多事情都没有研究明白，物理学陡然变得十分有趣。其中最令人震惊的是 1998 年发现的“暗能量”。根据该发现，“宇宙自大爆炸后，就被引力所牵制，因而膨胀变缓”等以往的说法被推翻，“某种力在与引力的抗衡，并推动、加速了宇宙的膨胀”的事实被揭露了出来。

之后，在 2003 年，宇宙能量的详细情况被相当准确地分析了出来。其中，已经明确我们通常称为物质的原子只不过仅仅占宇宙整体的 4.4%。在小学时，我还记着我们学习过“万物由原子组成”这样的知识，但那

是个大谎言。另外，说起宇宙，我们会想到夜晚的天空上闪耀着明亮美丽的群星吧，可是在宇宙之中，恒星与星系也只仅仅占0.5%。

那么，原子以外，宇宙剩下的95%是什么呢？宇宙的22%是被称为暗物质的谜一样的物质，73%是“暗能量”，由于暗物质与暗能量其真面目尚不得而知，所以，坦率地说，对于宇宙，我们已知的是更多的“未知”。宇宙的95%还仍然是未解之谜。因此，针对至今为止的物理学理论，我们发现了巨大的漏洞，以此为契机，物理学进入了较大的范式转换时代。

发现原有理论体系存在巨大漏洞的科学家们纷纷荣获诺贝尔奖，而另一方面，世界各地的研究人员积极参与到弥补漏洞的新挑战中。之后的近10年间，诸位研究人员对问题的研究方法进行了思考，终于将实际的实验与观测结合到了一起。从此，我们将要迎来揭开宇宙未解之谜的时代，我认为这是大势所趋。

我对暗能量、暗物质的话题非常感兴趣，让我问一个非常业余的问题吧，为什么我们没有更早地注意到暗能量与暗物质呢？

在20世纪30年代，观测星系团的研究人员就已经注意到引力异常的现象。星系团中汇集大量的星系，尽管各星系以非常快的速度运行，但位于其中的各星系并不会脱离星系团，而是处于一种稳定的状态下。研究人员们注意到：即使星系之间的引力会彼此吸引，但仅凭这些可见的恒星引力并不足以使得星系维持在稳定的状态。因此，研究者认为一定存在某种不可见的大质量物质来提供引力。然而，由于当时的观测技术以及解析观测数据的理论尚不发达，未能够进一步进行调查与确定。

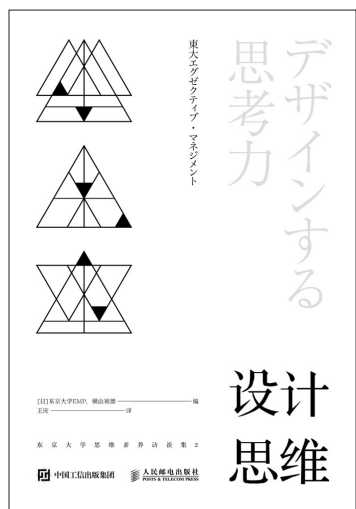
20 世纪 70 年代，这种物质的存在被确定，因为这些物质不发光，且具有巨大质量，所以称之为“暗物质”。研究已经明确，暗物质的质量约为具有目前所能够观测到的普通物质质量的 5 倍，它们也是宇宙形成的源头。即，宇宙大爆炸后形成暗物质，暗物质彼此聚集，其引力将普通的原子拽入其中，从而形成恒星，进而成长为星系。恒星是生命之源，所以，如果没有形成恒星的暗物质，我们就都不会存在。

可以认为在我们的周围也存在着大量的暗物质，它们甚至穿透我们的身体内部。这么说的话，总感觉有些奇妙和恐怖吧？不过，暗物质是不会与普通的物质发生反应的，这是暗物质的特征。

我们所居住的太阳系在银河系中以 220 千米每秒的惊人速度运行，尽管如此，太阳系也不会从银河系中飞出，而是留在了银河系中，这也是暗物质作用的结果。地球公转速度实际为 30 千米每秒，不过小学教育中并没有向小学生讲授该速度，可能是因为这样的速度会使一些小朋友产生不适感，例如一想到自己站在以 30 千米每秒的速度运转的球体之上就会感到恶心之类的。

那么，是从什么时候开始能够观测暗物质的呢？

先举一个例子，观测星系旋转的速度时，我们使用的是多普勒效应，在该方法中实际使用的是无线电波。我们需要捕捉到星系中和星系边缘的无线电波，才能进行测量。虽然星系的边缘区域没有恒星，但存在大量的氢气，所以也会释放出无线电波，捕捉这种无线电波，才能够正确地测量星系无线电波的波长。除此之外，准确的测量还需要满足多项条件。



《设计思维：东京大学思维素养访谈集2》是日本东京大学EMP项目的访谈集，访谈以“知识”和“设计思维”为线索，用对话的形式呈现了基本粒子物理学、植物病理学、信息通讯技术、西方经济史、有机合成化学等领域中研究大师的“构建式”思考方式，并讲解了相应领域的有趣知识。

从20世纪60年代起，满足这些条件的观测技术与解析方法才得以实现。之后，研究人员便在观测中遭遇到了暗物质。但是，即使我们准确地发现存在那种物质，但无法将其与普通物质进行区分。直到进入本世纪才开始，我们才能够区分暗物质与普通物质，这确实是近期的研究成果。

说到科学，当试图说明某种新事物时，科学的正确阐述首先是应当以已了解的事物为基础进行说明，而不是突然阐述一种不可思议的假设。2003年，研究者通过多角度的观测、研究，确定了暗物质的存在。意识到存在某种未知的物质，然而确认其存在，进而通过观测与实验直至证实其存在，这一过程是有一些难度的，并非想象中那么简单。

原来如此。在我们的印象中，一般都认为理论物理学的知识是用纸与笔来研究的，这样说来这是误解吧？在当前观测技术与解析方法等基础设施已相当完善的环境中，如果不进行综合性的研究，大多不能形成理论。另外，进入21世纪后，在天体物理学界，研究所需要的设施正在逐渐完善吧？

当然，也曾经有段时期并不具备之前的理论与技术。在20世纪八九十年代，都是先形成理论，再通过实验逐个验证理论。对于研究理论的人来说，通过实验只是验证了自己已经了解的事物，因此没有任何意义，他们反而希望能从实验中发现意料之外的事实。如果能够遇到“现在的理论无法解释”这样的问题，那么，研究人员会立即兴奋起来，开始新的思考和研究。1998年暗物质的发现就是这样的转折点。■

不可思议的引力



作者 / 大栗博司

美国加州理工学院理论物理讲席教授，理论物理研究所 (burkeinstitute.caltech.edu) 所长，日本东京大学 Kavli 数学物理学联合宇宙研究机构 (Kavli IPMU) 研究主任。东京大学理学博士，发现了量子场论与超弦理论的深层数学构造，其研究曾获得美国数学学会大奖 (2008 年)、德国洪堡研

关于科学发现的奇闻趣事当中，有很多真伪不明的传说。如伽利略仰望教堂的吊灯后发现“摆的等时性”，牛顿观察苹果从树上掉落想到万有引力定律等。关于引力还有一个有名的轶事，那就是伽利略的“比萨斜塔实验”。在实验中，伽利略从塔上同时放下大小相同的铁球和木球，与大多数人预想的“重的铁球会先落地”的结果相反，两球以相同的速度落下。据权威考证称，这个实验其实未曾出现过。

但是，其实验结果是准确无误的。1971 年，阿波罗 15 号的指令长大卫·斯科特 (David Scott) 在月球表面向我们展示了同样的实验。在没有空气阻力的月球表面同时释放铁锤和羽毛，它们以完全相同的速度落下。

这可以说是与我们直觉相反的现象吧。亚里士多德也认为，越是含土元素多的（也就是重的）物质，下落的速度越快。在伽利略的时代到来之前，任何人都坚信这一点。像鸟的羽毛和纸片那样轻的物体受到空气阻力的影响较大，这也干扰了人们对于这方面的理解。

不过，考虑到引力的性质，重的物体和轻的物体同时落地的现象依然令人不可思议。虽然桌子上的铅笔和橡皮并没有黏在一起，但是如果将地球上的所有物体都看成是黏在一起的话就会发现，质量越大引力的作用

究奖(2009年)、日本仁科纪念奖(2009年)、日本数学学会詹姆斯·西蒙斯奖(2012年),《超弦理论:探究时间、空间及宇宙的本原》获得2014年日本第30届日本讲谈社科学出版奖。著有前沿物理科普三部曲《引力是什么》《强力与弱力》《超弦理论》,数学入门科普《用数学的语言看世界》等。

就越强。因此,物体越重,受到“被地球吸引的力”越强。如果在同一高度同时释放苹果和西瓜,由于质量更大的西瓜被地球强有力地吸引着,所以会认为它将先到达地面。

然而实际上并非如此。在没有空气阻力的环境中,物体的下落速度是一样的,与质量并不相关。这是为什么呢?

我们容易忽视“物体越重,使它动起来就越难”的事实。本来质量就仅仅表示使物体“动起来的难易程度”。只要想象一下拉拽翻斗车和两轮拖车的情况,就能明白质量越大动来越难的道理。

拉拽地面上的物体时,因为物体越重需要克服的摩擦力越大,所以使其动起来就越难。不过即使没有摩擦力,也存在使物体动起来的难易程度差异。例如在失重的宇宙飞船中,假设体重为200公斤的相扑手和20公斤的孩子互相冲撞。因为双方都轻飘飘地浮着,所以完全没有摩擦力。由于作用力与反作用力相等,因此他们彼此受到的力是大小相同的。

但是,他们远离互撞地点时的速度是不同的。体重轻的孩子会飞得更远。如果你不同意这一观点,请尝试思考一下相扑手用手指把小跳蚤弹飞的情景(图5-1)。相扑手和跳蚤不会以相同的速度飞出去,因为质量大的相扑手“动起来更难”。另外,这一现象与引力、摩擦力完全没有关系。



图5-1 在失重状态下,如果相扑手与跳蚤互撞,谁将被弹飞?



《[引力是什么：支配宇宙万物的神秘之力](#)》以新颖有趣的形式讲解了从牛顿、爱因斯坦到前沿物理的研究内容，用全新的方式解读相对论、量子理论、超弦理论。真正让你理解引力、引力波、 $E=mc^2$ 、黑洞等概念的含义与意义，也能让你体验到追寻宇宙深层谜题的冒险快感。

那么，我们再思考一下苹果和西瓜下落的现象。地球用引力这条无形的绳索拴着二者，仿佛在互相拉拽。与刚才的例子中相扑手比孩子和跳蚤更难动起来一样，重的西瓜也要比轻的苹果更难动起来吧？如果是的话，那么似乎要与我们“重的物体先落下”的直觉相反，轻的苹果会先落下。

但是另一方面，地球吸引西瓜的力更强。所以“难动起来”的物体受到的引力更强。也就是说，质量大的物体具有“难动起来”和“被引力强烈吸引”的两个性质，之所以苹果和西瓜同时落下，我们只能认为是因为这两个性质正好互相抵消。因此，尽管质量越大的物体受到的引力越强，但引力对运动的影响与质量无关。

读到这里，会有很多人想起在学校时学的“质量和重量的区别”吧？在学校的课堂上，老师告诉我们，质量表示改变物体运动状态的难易程度，而重量表示引力的强度，要区别对待这两个概念。其实，我们可以认为它们没有任何关系，不论哪个量大，苹果或西瓜中的哪一个先落地都不足为奇。

不过现实是它们正好互相抵消，因此同时落地。关于这一点，通过精密的实验我们已经发现，目前在100亿分之一的精度下“质量”和“重量”是一致的。也就是说，“质量”和“重量”实质上是一样的，没有必要将它们区别开来考虑。

那么，为什么“动起来的难易程度”与“引力的强度”正好互相抵消彼此的效果呢？关于这个问题，牛顿理论也无法解释清楚。牛顿回答说“自然就是这样”，他给出的答案不是“WHY”，只是“HOW”而已。后来阿尔伯特·爱因斯坦对“WHY”做出了解答。■

绝对零度



作者 /James D. Stein

耶鲁大学学士，加利福尼亚大学伯克利分校博士，现为加利福尼亚州立大学长滩校区的数学教授。著有：《数学如何解释世界》(How Math Explains the World)、《正确的决策》(The Right Decision) 以及《数学如何帮助你的生活》(How Math Can Save Your Life) 等。

小时候，我经常在礼拜日的下午做一些如今人们所说的智能培养。我们家在郊区，但父母擅于利用纽约丰富的博物馆资源。每到礼拜日，我们就会乘上火车，前往纽约、纽黑文和哈特福德，在施拉夫特餐馆吃完午餐后，便一头扎向博物馆。去大都会美术馆的时候，我总是觉得苦不堪言（除了看到骑士盔甲的时候，因为我没想到15世纪的骑士竟然那么矮小），但还是要忍受，因为我知道下一次父母就会带我去美国自然历史博物馆，如果运气非常好的话，也许会带我去海顿天文馆。即使现在的互联网丰富多彩，也很难想象亲临天文馆时为孩子带来的奇妙感觉。

我在海顿天文馆的每分每秒都乐在其中。参观的结尾是观看蔡司天象仪的投影表演，其精彩程度完胜我看过的所有电影场景。另一大乐趣便是，穿行在天文馆的太阳系分馆内。参观者可以称量自己在火星上的体重，也能够了解到冥王星（对我来说，冥王星永远都是一颗行星）上的气温。对我来说，最大的困惑就是，他们怎么知道的？

我当时知道人类并没有登上冥王星，连火星也没有登上。那么对于一块未曾涉足的土地，怎么能够测量它的温度呢？就算人类能够登上火星或冥王星，登上太阳表面总不可能吧，他们又怎么知道太阳表面的温度为

5500 摄氏度呢？而蓝巨星的表面温度更高，可以达到 50 000 摄氏度。不过，相比于日冕的 1 000 000 摄氏度以及太阳核心的 25 000 000 摄氏度，以上就是小巫见大巫了。可他们是怎么知道的呢？一根能够测量 25 000 000 摄氏度高温的温度计是什么样的呢？

还有一个问题我更加琢磨不透：25 000 000 摄氏度的高温高出纽约郊区的温度十万八千里，而冥王星（一朝为行星，终生为行星）表面温度大约为零下 200 摄氏度，则似乎与地球相差得并不太离谱。为什么温度高起来没个头，而低起来则似乎比零下 200 摄氏度低不了多少呢？

冷的本质

是否存在一个低温的极限，这一问题最早在 17 世纪就提了出来。当时人们对于冷和热各有一套相类似的理论。热的方面就是燃素说，它将可燃性看做含有一种叫做燃素的物质；当一种物质燃烧的时候，空气会吸收燃素，燃烧后的灰烬便成为“去燃素”的物质。类似地，冷也是从一种物质转移到另一种物质。冰冻理论认为世界上存在一种终极冰冻体，它即是寒冷的终极提供者，其他所有物体均从终极冰冻体上获取寒冷。

英国物理学家罗伯特·玻义耳是历史上第一批利用科学实验手段探索冷的本质的科学家之一。当时正值小冰期，欧洲陷入了持续数百年的寒冷气候当中，而在玻义耳开展此项研究时，寒冷气候正达到其最低气温的时候。这恐怕不只是巧合而已。玻义耳称量了一桶水的重量，然后把水放在室外，等第二天水结冰了之后再次称量。冰所占据的体积比原来水的体积要大（冰比水密度低，因而冰块会漂在一杯水上），甚至撑破了桶壁，不过其重量却跟之前一模一样。如果水确实从终极冰冻体中吸收

了什么东西的话，那么显然所吸收的物质是没有重量的（即使有重量，也是17世纪的测量工具无法测量出的微小重量）。玻义耳所得出的结论是，物质之所以变热或变冷是由于物质内部的一些特性所引起的。不过，热力学的进一步发展则要等到测温学的发展以及标准刻度的采用之后了。

测温学的发展以及纪尧姆·阿蒙顿的实验

最早发明蒸汽机[当然，这是一项在当时看来无法商业化的发明（图6-1），否则工业革命就要提前两千年发生了]的亚历山大港的希罗已经认识到空气受热后会膨胀，从而制造了原始的温度计。他将试管开口的一端插入一个水容器中。随着空气的膨胀或收缩，水与空气的交界面会上下移动。这个设备的问题是它会受到气压变化的影响。解决这一问题的办法直到17世纪中期才出现，当时的托斯卡纳大公斐迪南二世·德·美第奇使用一管密封的酒精来代替空气，从而隔离了气压的影响，这样酒精的体积只受周边气温的影响。在密封



图6-1 汽转球是已知最早以蒸汽发动的机器，由亚历山大港的希罗首先提出（来源：Knight's American Mechanical Dictionary, p.17, 1876）

管旁边标上刻度以后，温度计就可以实际使用了。随着科学家用水银取代酒精作为指示剂，现代温度计的研发也就差不多完成了。选用水银后，温度计也可以造得更加小巧。正是借助空气—水银温度计的帮助，纪尧姆·阿蒙顿首次提出了测量最低温度数值的可能性。

阿蒙顿是一位法国科学家，自小耳朵就听不见，这可能也是他没能进入大学学习的原因。他自学了数学和科学，改进了温度计、气压计以及湿度计的设计，后来又将研究注意力从摩擦力转向气体中温度与压力的关系。他将一个装着空气和水银的容器放入水中。根据阿蒙顿的测量记录，水结冰时对应的刻度为 51，而水沸腾时对应的刻度是 73。阿蒙顿提出，当空气的体积及相应压力为零时，便无法再进行进一步的冷却，不过他并没有去计算绝对零度的数值。

我们这里可以去算一下。阿蒙顿的温度计上面的一个刻度等于 4.55 摄氏度。依照他的数据，从冰点减去 51 个刻度，即减去 232.05 摄氏度，便可使空气的压力变为 0。这个结果已经很不错了（实际数值大约为 -273.15 摄氏度），要知道在 18 世纪晚期，安托万·拉瓦锡、皮埃尔—西蒙·拉普拉斯以及约翰·道尔顿测算出的绝对零度还徘徊在 -1500 摄氏度到 -3000 摄氏度之间。最终的数值以及绝对零度这个名称，都是由开尔文男爵确定的。他提出了一个始自绝对零度的温标，而水的冰点对应 273.15 开尔文。

尽管理论上已经标明了，但并没有人准备去制造绝对零度，这在当时看来就像月亮或恒星一样遥不可及。个中原因无非就是人类还无法制造寒冷。制造热是很容易的，只要找来可燃物，点燃它即可。但在当时只有自然

界才能制造寒冷，这一点直到19世纪初一位科学家做的一次实验才被打破，而这位科学家所做的其他所有事情恐怕都比这件事要有名。

迈克尔·法拉第和气体液化

迈克尔·法拉第年轻的时候曾听过知名化学家汉弗里·戴维爵士的几堂公开讲座，当时他还在一家装订厂工作。法拉第大胆写信给戴维，自告奋勇，询问他是否需要助理。戴维被他打动了，就聘了他做助理。于是，科学史上最伟大的一位实验科学家的事业就此展开了。

当然，法拉第最为人所知的是他有关电的实验，不过在化学领域，他同样贡献卓著。有一天，他通过水合氯醛制出了液态氯。当时他把液态氯装在一个密封的试管里，当他想要更近地观察时，不小心打破了试管。试管在实验室里炸开，玻璃碎片四处翻飞，液态氯瞬间从液态转化为了气态。作为一名聪敏的观察家，法拉第想到既然液体的蒸发会导致爆炸，那么如果施加压力在气体上可能会产生相反的效果，使气体液化。有趣的是，尽管法拉第偏爱纯科学研究，而对于将科学发现商业化没有太大兴趣，但他还是在本子上记下了：这一现象在未来应该会有商业上的应用。当然，这一点在日后也成为了现实，厨房里的冰箱就是最好的例子。液体在冰箱的制冷系统里循环。先是在冰箱内的蒸发器汽化，吸收周围的热量，从而达到制冷的效果。而后汽化的气体被压缩机加压，重新液化，并释放出从冰箱内吸收的热量。液体会如此循环往复，直到冰箱内达到某一均衡温度。虽然道理十分简单，但该发现彻底改变了世界。

化学家通过一个相态图来表现不同物质的液化点和固化点。一条轴代表压力 P ，另一条轴代表温度 T ， P - T 平面分为几个区域，每个区域代表物

质的不同状态 (图6-2)。很多气体的相态图显示, 比如二氧化碳以及冰箱内的那些气体, 只要有足够的压力, 即使在室温下, 也可以产生液化效果。但有些被称为永久气体的物质, 仅靠改变压力是难以制造出液化效果的。荷兰物理学家范德华对此作出了解释, 他认识到分子内的作用力使得仅仅依靠压力来液化永久气体会异常困难; 要做到这一点, 必须要进行相当程度的降温操作。

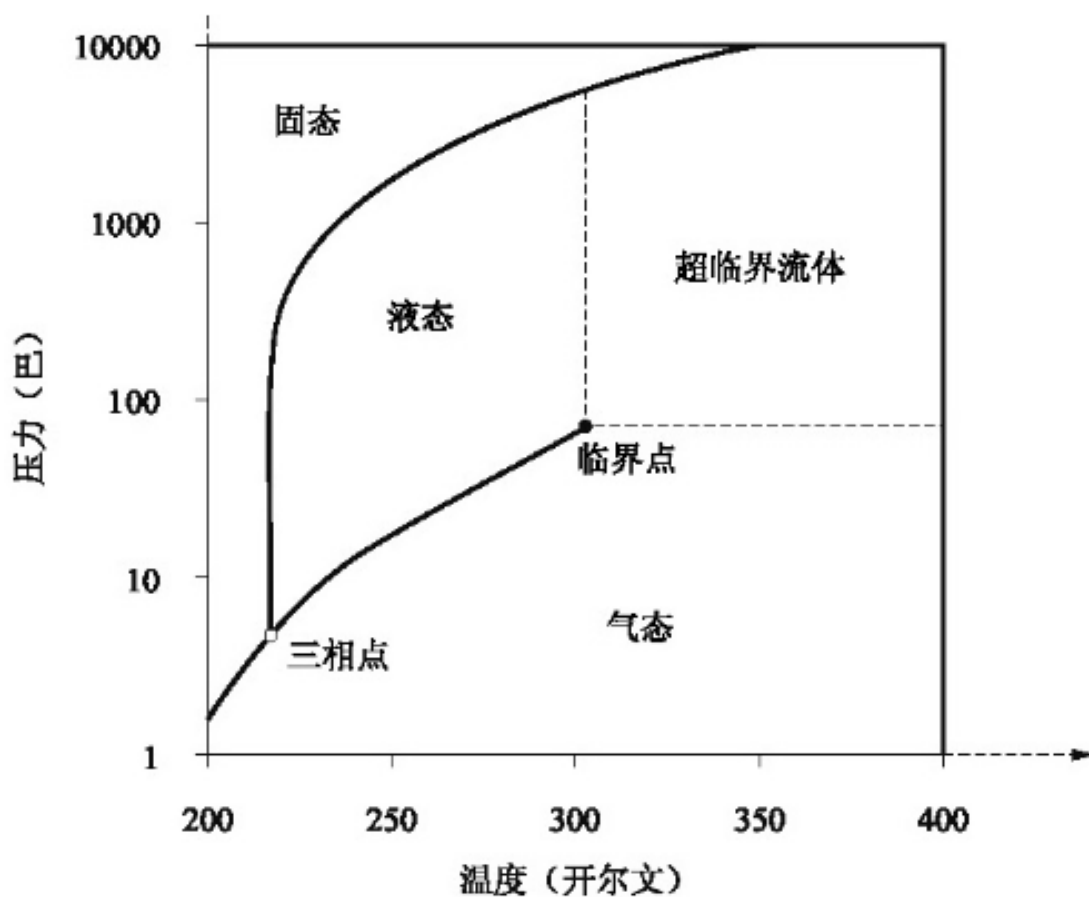


图6-2 二氧化碳的相态图。在热力学里, 三相点是指可使物质的气相、液相、固相共存的一个温度和压力; 而临界点是指可使物质以液态存在的最高温度或以气态存在的最高压力, 当物质的温度、压力超过此界线时, 它会相变成同时拥有液态及气态特征的流体: 超临界流体 (制作者: Ben Finney, Mark Jacobs)

要获得这些更低的温度需要使用被称为阶式液化的技术，也正是依靠这种技术，人类在寻找最低温度的道路上取得了很大的突破。阶式液化是通过先液化一种气体，然后运用该气体去为另一种气体降温，之后再通过增加压力的方式液化第二种气体。第一种通过这种技术进行液化的永久气体是氧气，然后是氮气。最终，了不起的苏格兰物理学家詹姆斯·杜瓦成功攻克了被他喻为“氢气高峰”的难题，在-252.87摄氏度的温度下将氢气液化。

尽管杜瓦花了超过十年的时间才取得这项成就，但他并没有在科学界获得他自认应得的荣誉。杜瓦的运气很差，在他登顶“氢气高峰”时，威廉·拉姆齐爵士正好完成了某项更加惊人的工作：他分离出了氦气，这种气体一度被认为只存在于太阳。设想一下如果艾德蒙·希拉里爵士刚登顶珠穆朗玛峰，结果发现远方还有一座更高的山峰在向他招手，然后又被告知那山峰已经有人爬上过了，这恐怕就是杜瓦当时的心情吧。

在液化氦气的竞赛中打败杜瓦的是荷兰物理学家海克·卡末林·昂内斯，而他在获得液态氦气时所达到的温度仅仅高于绝对零度四摄氏度。昂内斯以及英国物理学家欧内斯特·卢瑟福男爵两人，尽管在不同的国家工作，解决的问题也不同，却同时发展出了如今被称为“大科学”的科研方式。过去的科学家通常要不就是独行侠，要不就是在一个小团队中工作，而昂内斯和卢瑟福则都发展出了大型的实验室，一大帮科学家和技术人员在其中工作。正如作家达蒙·鲁尼恩所说：“快跑的未必能赢，力战的未必得胜，但这就是下注的方式。”卡末林·昂内斯采用了一种阶式液化技术的变种，运用氧气去液化氮气，然后运用氮气去液化氢气，最后用氢气去液化氦气。这和杜瓦使用的方法一样，只是昂内斯的资源更加丰富。结果在1908年，昂内斯取得了成功。

这项成就还附带令人意外和兴奋的发现。在分析液氮的属性时，卡末林·昂内斯决定要测量一下它的电阻，结果发现，在一个足够低的温度下，液氮完全没有电阻；液氮中的电流长流不止。人类所知的第一个超导体就这样被发现了。（寻找高温下的超导体是当代物理学的主要课题之一，那些在常温下能实现超导并易于造型的材料无疑具有极大的经济价值。）另外一个同样令人吃惊的发现是液氮没有黏性。有黏性的物体，比如蜂蜜和糖浆，会很难倾倒。而将液氮放在一个敞口的容器内，它会显得不受重力约束，随意流动，甚至会漫出容器。

科技进步的标志之一就是某种原本少见的物质变得唾手可得。一个世纪前的艰巨任务如今已经成为商业中的基本材料。现在一公升液氮的价格已经和星巴克的一杯拿铁加饼干价格相当。不过它的保存却不容易，恐怕需要一个特殊的杜瓦真空瓶，而这个设备要花费数千美元。杜瓦和卡末林·昂内斯都因他们对于终极寒冷的追寻而被人们铭记，这似乎也比较合乎情理，虽然两位被铭记的方式不尽相同。

玻色-爱因斯坦凝聚与终极寒冷领域

我出生后大约十年，室内空调才开始普及。而纽约郊区的夏夜常常是非常炎热的，为了能够入睡，我们会采取一种非常简单的降温方式：在睡前往身上轻轻洒一层水，水分会慢慢蒸发，起到为身体降温的效果。这就和一杯没盖盖子的热水会慢慢凉下来的道理一样：分子有一定的平均温度，但温度最高的分子会蒸发离开，留下温度较低的分子。

通过对于液氮蒸发冷却技术的巧妙运用，20世纪中期的科学家得以达到仅高于绝对零度千分之一度的温度。然而科学家却希望更进一步，他

① T. Koshy, *Elementary Number Theory with Applications*, 2nd Ed. (Burlington, MA: Academic Press, 2007), 567。

他们在追寻一种新的物质状态，爱因斯坦曾预言过这种状态的存在，但其存在只有在无限接近绝对零度时才能被发现。

这一研究的推动力是来自一个当时意想不到的地方——印度。一百年前，印度还被认为是一块科学上的不毛之地。然而“一战”前不久，一位名不见经传的印度数学家拉马努金给牛津大学的数学家戈弗雷·哈罗德·哈代写了一封信，描述了一些有趣的发现。哈代形容这封信是他一生中真正感觉罗曼蒂克的瞬间。拉马努金的一些结论他已经知道，一些他持有疑义，但还有一些结论却令他大为吃惊。他曾经写道：“这些结论一定是正确的，因为倘如它们不正确，没有谁会有如此想象力能创造出来。”①这封信也使拉马努金成为了一名国际数学界的明星。十年之后，印度物理学家萨特延德拉·玻色写了一封信给爱因斯坦，是关于光子的统计力学研究。或许是记得哈代收到拉马努金信时的情形，爱因斯坦读了玻色的信后被深深打动，并将玻色的结论翻译成德文，又以玻色的名义将文章投到著名的《物理学杂志》上。爱因斯坦将玻色的工作扩展到其他一些粒子，并预言存在一种尚未被证实的物质状态。这一物质状态被称为玻色爱因斯坦凝聚，只有在非常接近绝对零度时才存在。玻色爱因斯坦凝聚是玻色子（自旋为整数的各种粒子，可以是基本粒子，比如传播相互作用的粒子；也可以是复合粒子，比如碳12的原子核）只占据能量最低的量子态时的状态。在这一状态下，这些粒子均丧失其本来的属性，不仅是“人人为我、我为人人”，而是变成“人人是我、我是人人”。

玻色和爱因斯坦已经证明，玻色爱因斯坦凝聚所需的温度远低于运用液氮蒸发冷却技术所能达到的温度。

为实现这一目标，需要引进一种新的技术——激光。当原子冷却后，其动能会下降。而由于动能取决于原子的质量和速度，所以速度也必须下降。绝对零度就是原子完全停止不动时的温度，不过量子力学已经证明这是不可能达到的，只能逼近。尽管如此，使用激光冷却技术能使得原子的运行速度小到完全分辨不出静止还是运动。道理非常简单明了：如果一个原子沿着某一个方向运行并撞击到反方向运行的一个光子，原子便会从光子上吸收一些能量。就像在球场上撞上防守队员，运动员的脚步自然会慢下来，因此撞击到光子的原子运行速度也会减慢，只要该光子的频率与原子自发辐射（不受外界作用时，自发地辐射出一个光子）时的频率“产生共振”或相一致即可。

科学家们争相比赛谁能第一个制造出玻色爱因斯坦凝聚，其激烈程度丝毫不亚于一个世纪前制造液氮的竞争。不过这次的竞争气氛更为友好，各个竞争团队会一起参加会议，交流心得、结论和想法。其中一个团队由来自科罗拉多大学波尔得分校的埃里克·康奈尔和卡尔·威曼率领，另一个则由麻省理工学院的沃尔夫冈·克特勒主持。埃里克·康奈尔和卡尔·威曼拔得头筹，将大约两千个铷原子冷却到绝对零度以上不到百万分之一度的温度时观察到了玻色爱因斯坦凝聚。不久克特勒也获得了类似的成果，但使用了远多于前者的原子数量。最后，三位都获得了2001年的诺贝尔物理学奖。

还记得在我参观海顿天文馆的时候，讲解员讲到虽然太阳日冕的温度高达上百万度，但我们却感觉不到其热度。我很吃惊，即使是热水倒到身上，我们都会感觉得到。然而，由于太阳的日冕稀薄得不可思议，因此所含的热量也少到几乎不存在。类似地，你也绝不可能捡起一块干冰（-78.5

摄氏度的二氧化碳固体)。通过一个简单的运算也可以说明，我们完全可以捡起一个玻色爱因斯坦凝聚，而不受任何伤害。最初的玻色爱因斯坦凝聚仅仅包含 2000 个铷原子。相比之下，一粒盐就包含大约 10^{18} 个原子，即立方体的每个表面含有 1 百万个原子。而一个含有 2000 个原子的立方体的每个表面大约只有 13 个原子。虽说铷原子要比钠原子或氯原子（盐的成分）大一些，但如果 2000 个铷原子组成的玻色爱因斯坦凝聚构成一个立方体的话，其边长大概也要小于一颗盐粒棱边长度的万分之一。因此，即使是接近绝对零度，用手将其捡起也是安全的，当然前提是你要能找得到它。

最后的新花样：负的绝对温度

世界上通用的两种温度测量方式华氏度和摄氏度均有负的温度，因为它们的零度不过是一个参考点而已。如果气温掉到零摄氏度以下，说明今天有点冷，但不是特别冷；而如果温度掉到零华氏度（ -17.78 摄氏度）以下，说明今天非常寒冷，不过这对任何居住在美国中西部或加拿大的民众来说应该已经习以为常。然而，绝对零度意味着一切运动全部停止，但这一点又是违反量子力学的。因此如果绝对零度对应的是没有运动，那么我们可以想象当温度低于绝对零度时，对应的则应该是不属于这个宇宙的量子。或许是快子？这是一种假想粒子，拥有质量却能以超光速的速度运行，它或许能达到负的绝对温度。但到底什么东西能比没有运动运动得更慢呢？

这里的问题是，我们一直在以运动的概念来定义温度，这种方式来自于经典物理学。统计力学对于温度的定义则更加宽泛，采取这种方法就可

以定义负的绝对温度。对此的准确解释需要用到微积分以及熵的知识，但我们可以大致了解负的绝对温度是怎样产生的，而无需涉及太多这两方面的知识。

下面是一个大家熟悉的例子，可以用来说明熵的概念。最近我参加了一个正式晚宴，晚宴分为两个阶段，餐前鸡尾酒阶段和晚餐阶段。在鸡尾酒阶段，人们自由走动；等到用餐开始，人们纷纷坐回安排好的位置上。对于熵的一个非正式定义是，熵是在不同系统状态下个体元素所具备的不同排列方式的数量。晚宴上只有两种系统状态：鸡尾酒阶段和晚餐阶段。而在这里，系统中的个体元素就是客人。鸡尾酒阶段的熵比晚餐阶段的熵高，因为在鸡尾酒阶段客人的排列方式要比晚餐阶段的更多。统计力学中使用“宏观状态”一词表示对系统内较高层的描述，使用“微观状态”一词来表示对较低层的描述。对应着鸡尾酒阶段宏观状态的微观状态大概应该如此描述：“弗雷德在吧台喝着马蒂尼酒，正和阿妮达聊天，阿妮达刚刚从酒保那里点了一杯血色玛丽。”

接下来我们来想象一杯漂浮着一块冰的水。两个相邻的冰分子被限制在彼此靠近的位置，并按照大致相同的方向运动。但当冰块融化以后，这两个分子就可以在杯中自由移动，失去彼此的关联性。冰水混合的状态所具有的个体分子的排列可能要比冰化为水时的排列少，因为后者中不存在“相邻分子”的限制。

熵也有可能会减少，不过在日常生活中，要使熵减少必须往系统中注入能量。在晚宴上，如果放任自由的话，客人会喝着鸡尾酒，四处走动。这时女主人必须宣布晚餐开始或率先落座示意大家。我们也能让一杯水

转变为冰水混合的状态，但必须引入一定的能量来制造冰。这一事实使我们能够为绝对温度给出在数学上更精准的定义，这时绝对温度不再是粒子动能的函数，而是注入系统中能量的变化与相应熵的变化的比值（如果读者熟悉微积分的话，这里的公式为 $T=d_S/d_E$ ）。

当然，对于多数我们熟悉的系统来说，注入能量后熵会增加。在一个接近绝对零度的系统中，所有分子均以极低的速度运行，微观状态数量很少，因此熵会很低。为系统注入热量后，分子的运行速度会加快，并不再被限制在彼此非常靠近的状态，于是熵便会增加。由于能量被注入该系统导致熵的总量增加， d_S/d_E 的符号为正，因此我们观测到的温度总是正的。从理论上讲，这些系统具有无限数量的微观状态；注入足够的热量以后，我们可以想象分子会以非常高的速度在整个系统内四下翻飞。不过，有些系统只能实现有限数量的微观状态，在这些系统中所发生的情况与我们日常生活中的有所不同。在此类系统中存在一个临界点，过了这个临界点以后，再注入更多能量，系统的熵反而会下降；这就对应了一个负的绝对温度，因为这时能量注入导致熵的减少，相应 d_S/d_E 的符号为负。

运用量子理论，我们可以想象出这样一个系统，并不难看出负的绝对温度（随着能量增加而熵减少）是如何产生的。假设通过磁阱使四个原子被限制在一根非常细的金属丝上，于是当能量被注入时，所有能量都被用于改变原子的自旋而非其位置或速度。假定该系统并非玻色爱因斯坦凝聚，所以原子1、2、3、4均拥有自己的属性。每个原子拥有两种状态：自旋向下（低能量）状态或自旋向上（高能量）状态。假设该系统的初始状态是最低能量配置，即四个原子均处于自旋向下状态，这也是该能



《揭示宇宙奥秘的 13 个常数》

以定义宇宙的 13 个数字为线索，梳理了人类探寻这些数字的历史过程以及这些数字的物理学、化学或天文学意义。在叙述过程中，作者夹杂了个人经历、诗歌、音乐等元素，娓娓道来，使得本书成为一本科学与人文并重的有趣读物。

② 尽管这句名言的出处存在争议，不过我在讲普朗克常数的章节里还会再次提到它，因为我觉得它说得太好了。

量配置下系统的唯一微观状态。如果此时加入一个量子的能量，会产生四种可能的微观状态：其中任意一个原子都有可能变成自旋向上状态，而另外三个则保持自旋向下状态。这时微观状态的数量增加了，即能量的注入导致了熵的增加，这对应的便是正的绝对温度。如果再注入一个量子的能量，则会产生六种可能的微观状态：四个原子中的两个（1 和 2，1 和 3，1 和 4，2 和 3，2 和 4，3 和 4）会变成自旋向上状态。同样，这次能量的增加也导致了熵的增加。然而，如果此时再注入一个量子的能量，将只剩四种可能的微观状态：四个原子中只有一个处于自旋向下状态，而另外三个均处于自旋向上状态。这时能量的增加便导致了熵的减少，于是绝对温度为负——“低于”绝对零度。

奇异得超乎我们所能想象？

这样的系统不只有负的绝对温度一项怪异之处。尽管可能看上去十分怪异，但这样的系统处于负的绝对温度时要比处于正的绝对温度时更热，并且热量会从负的绝对温度系统传导至正的绝对温度系统！当然热量总是从热的系统向冷的系统传导，不过这里并非是以温度衡量的。实际上，在绝对温度的量表上，从略微高于绝对零度到正的绝对温度再到正的无限大（尽管这不可能达到），然后跳至负的无限大（同样也不可能达到）再到负的绝对温度，最后到略微低于绝对零度，这是个愈来愈热的过程。因此，可以说略低于绝对零度时是比地狱还要热很多。

了不起的天体物理学家阿瑟·爱丁顿爵士曾经说过，宇宙不仅是奇异得超乎我们想象，而且是奇异得超乎我们所能想象。② 如果我们能用数学来描述，那它或许就并未超出我们的想象。有人可能会争辩说，负的绝

③ 这的确很惊人，却也千真万确。不妨拿几样东西的价格作为参照。由于1加仑合3.785公升，所以液氮的价格大约为19美金每加仑。你爱喝的酒可能都要比这贵，当然这是假设你对酒有选择，而不是随便在连锁店买两美元一桶的便宜货。

对温度只是一种从温度的数学定义推导出的人造物。但温度的这种定义是为了使处于热平衡的任意两个系统具有相同数值的温度。

负的绝对温度似乎不见于我们的宇宙，但我们可以通过定义温度的热力学等式，再加上统计力学的知识，来预言一种或许超出宇宙本身想象力的现象。在实验室中我们已经创建出了负的绝对温度的系统，相关的研究也已经进行了近半个世纪。虽然对此的商业化产品尚未出现，但请耐心等待吧。想想一个世纪以前，几滴液氮就花费了科学家将近二十年的努力，而现如今已经可以随便在谷歌上搜到五美元一公升的卖家了。③ ■

上帝是个左撇子



作者 / 大栗博司

美国加州理工学院理论物理讲席教授，理论物理研究所 (burkeinstitute.caltech.edu) 所长，日本东京大学 Kavli 数学物理学联合宇宙研究机构 (Kavli IPMU) 研究主任。东京大学理学博士，发现了量子场论与超弦理论的深层数学构造，其研究曾获得美国数学学会大奖 (2008 年)、德国洪堡研

在李政道和杨振宁解开弱力破坏宇称对称性 (宇称不守恒) 这一谜题之前，弱力的宇称对称性得到了实验的验证，而且人们对此深信不疑。

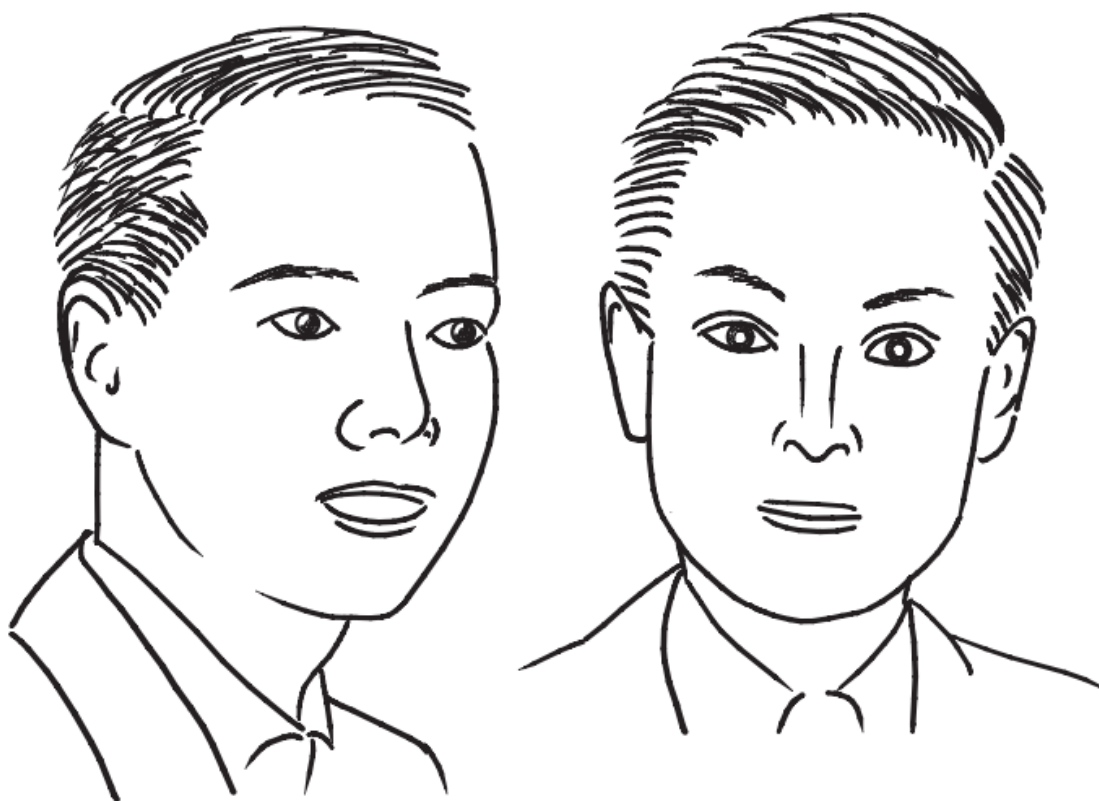


图 7-1 李政道 (1926—) 与杨振宁 (1922—)

究奖(2009年)、日本仁科纪念奖(2009年)、日本数学学会詹姆斯·西蒙斯奖(2012年),《超弦理论:探究时间、空间及宇宙的本原》获得2014年日本第30届日本讲谈社科学出版奖。著有前沿物理科普三部曲《引力是什么》《强力与弱力》《超弦理论》,数学入门科普《用数学的语言看世界》等。

如果这一预想成真,将轰动整个物理学界。在两年前发挥批判天性的泡利此时也没有痛快地接受这个观点。这次他没有直接对李、杨二人发表什么言论,而是给后来成为CERN(欧洲核子研究组织)所长的威斯科夫写了这样一封书信。

“上帝应该不是左撇子。我愿意在以实验确认的左右对称(也就是宇称守恒)上赌上巨款。”

但是,李、杨二人的预想是正确的。进行实验的是李政道在哥伦比亚大学的同事吴健雄。虽然名字看上去像是个男人,但是通过“Madam Wu”的称呼我们可以得知她是一位女性研究者。作为 β 衰变实验的专家,吴健雄通过观察钴60的衰变现象,确认了宇称不守恒。因此该实验首次表明基本粒子的世界中存在“左右之别”的基本定律。



图7-2 吴健雄(1912—1997)

得知实验结果的泡利又给威斯科夫写了一封信。

“我刚从最初的打击中恢复过来，现在开始冷静下来了。要是不和你打赌就好了。不过，这已经成为了一个笑柄。其实我也没什么可苦恼的。现在让我感到震惊的并非上帝是个左撇子的事实，而是强力左右对称的性质。”

因为宇称不守恒的预言很快得到了实验的验证，所以次年李、杨二人获得了1957年的诺贝尔奖。在授奖演讲上，杨振宁做了如下的发言。

实验结果并没有确认弱力是否宇称守恒。然而，应该令人感到震惊的是在相当长的一段时期内大家错误地坚信弱力是宇称守恒的。更应该令人感到震惊的是，本次发现可能会让我们此前深信的时空对称性遭到破坏。不过，我们并不是抱着这样的野心去进行研究和发现的，只是一味苦心地钻研K介子的性质罢了。

获得诺贝尔奖之后，完成如此伟大发现的李政道和杨振宁二人的关系开始恶化，并于1962年遗憾地分道扬镳。作为芝加哥大学的同窗，从成为朋友以来，他们二人在16年的时间里从事了很多共同研究的工作，但是他们彼此好像都认为都是自己先想到的“宇称不守恒”。

根据庆祝李政道60岁诞辰的国际会议记录，李政道当时回忆道，是他指出了弱力宇称不守恒的可能性，遭到了杨振宁的强烈反对。于是他邀请杨振宁来到了哥伦比亚大学，在吃午饭的过程中通过讨论让杨振宁认可了自己的观点。他正想说把自己的发现撰写成论文发表的时候，年长的杨振宁却强行插了一嘴道：“咱俩一起写论文吧”。



《[强力与弱力：破解宇宙深层的隐匿魔法](#)》以通俗易懂的语言解读了强力与弱力以及基本粒子的相互作用机制，用推理小说的线索追踪与解谜方式介绍了微观层面下的奇妙世界以及自然的基本结构，能够让你以全新的视角面对和反思宇宙、自然以及万物的存在。

然而，杨振宁在自己的论文选集里添加的亲笔注释中，同样提到了他们二人在哥伦比亚大学附近的中餐厅里进行讨论的情景。不过，这里是杨振宁率先发现如果强力宇称守恒、弱力宇称不守恒就能解决“ τ 介子”和“ θ 介子”的衰变谜题。虽然最初遭到李政道的反对，但是他最终还是接受了自己的观点，于是二人一起验证了过去的实验。另外他还写道，在16年的共同研究过程当中，年长的自己发挥了指导性的作用。

可能是诺贝尔奖的名声破坏了他们二人共同研究的对称性。回想起当时的情况，杨振宁是这么说的：

遗憾的是，这样的名声把此前没有的东西带进了我们的关系之中。1962年4月18日，李政道和我在他的办公室里谈了很久，“从我们作为芝加哥大学研究生相识”，我们回忆了1946年以来发生的往事。……几个月后，我们就永别了……“16年的友情”是我人生中非常有意义的一段插曲。虽然我也为分别感到苦恼，但是人生路上有意义的事情基本都伴随着痛苦。

我认为像他们这种强大的研究团队关系出现破裂，不仅令其本人感到遗憾，对于科学的进步也是一件憾事。■

量子纠缠

作者 /JR Minkel

《科学美国人》编辑，纽约大学科学与环境报告学硕士。2006-2008年在“科学美国人”网站（ScientificAmerican.com）从事宇宙学和物理学领域的撰稿工作。此外，还在《科学美国人》《科技新时代》《新科学家》《发现》《科技纵览》以及《科学家》等杂志上发表文章。

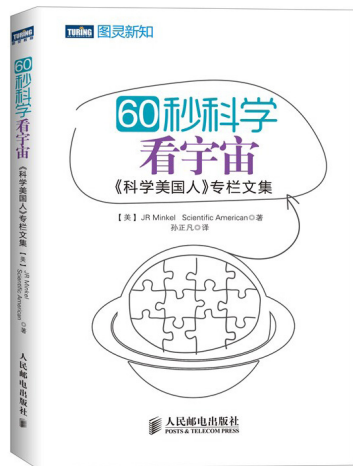
量子力学的随机性已经够诡异了，但其诡异性远不止于此。根据量子规律，宇宙一端的粒子的行为能够同时决定宇宙另一端的另一个粒子的行为，并且两个粒子间不存在任何信号的传输。

这种量子关系称为量子纠缠，爱因斯坦曾经为之头疼过，并称之为“幽灵般的超距作用”，同时他认为这是量子力学并非宇宙最终规律的标志。今天很多不了解量子纠缠的研究者已经开始接受它了。

当粒子在同一个过程中产生的时候，它们就处于纠缠状态了，比如某些特殊的晶体将一个光子分裂成两个能量更低的光子。如果研究者生成了许多光子对，并测量每个光子的极化（空间取向），他们会发现光子对之间的对比结果都是随机的。

但他们发现每一对的测量结果总是存在某种特殊的联系。如果一对光子中的一个极化方向是垂直的，那么另一个光子的极化方向就是水平的，反之亦然。这就好像看立体画中的点，这些点本身看起来好像是随机的，但实际上可以分成两组，一只眼睛看一组，图像就浮现出来了。

利用量子纠缠，科学家已经建成了远程传输装置。虽然这些装置无法把



《60秒科学：看宇宙——《科学美国人》专栏文集》精选自《科学美国人》的“60秒科学”栏目，主要介绍宇宙中的物质和能量相关定理，量子力学的诡异性质，空间、时间和物质运动的神秘联系，太阳系的组成，银河系内外的奇幻成员，宇宙大爆炸等宇宙论，内容广泛涉及物理学和天文学知识，充满了自然奇趣。

物质分解，然后在另一个地点将之重现，但它们可以做一件近乎完美的事情。研究者利用量子纠缠已经实现了“瞬间转移”，即将一束光波中的量子态传递到一团原子云中，这种技术可以用来实现量子计算。不过，你不能像星际迷航中的斯科特船长那样被瞬间转移，瞬间转移只存在于那种简单干净的量子体系中，不适用于复杂的生物。

相关趣事

你可以利用量子纠缠传递密码信息。如果有窃听者企图中途截取信息，他会对纠缠态形成干扰，从而暴露自己。

2007年，研究人员在空气中将纠缠态的光子传输了144千米，从加那利群岛的拉帕尔玛岛传到了摩洛哥海岸的特内里费岛。下一步，可能最快到2014年，将实现从地球到国际空间站之间纠缠态光子的数千千米的传输。■

书单



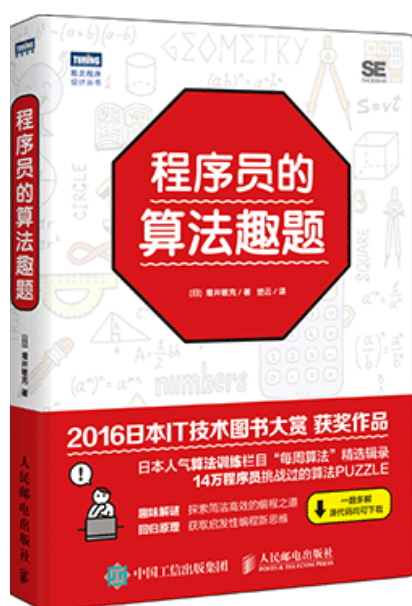
Head First JavaScript 程序设计

作者：Eric T. Freeman, Elisabeth Robson

书号：978-7-115-45841-4

图灵社区推荐：**15**

难得的JavaScript入门书。内容既有JavaScript的基本知识，也涵盖对象、函数和浏览器文档对象模型等高阶主题。书中配备了大量有趣的实例、图示和练习，让读者轻轻松松掌握JavaScript。



程序员的算法趣题

作者：增井敏克

书号：978-7-115-45923-7

图灵社区推荐：11

一本解谜式的趣味算法书。从实际应用出发，通过趣味谜题的解谜过程，引导读者在愉悦中提升思维能力、掌握算法精髓。



用数据讲故事

作者：Cole Nussbaumer Knaflic

书号：978-7-115-46011-0

图灵社区推荐：5

通过大量的案例研究，介绍数据可视化的基础知识，以及如何利用数据创造出吸引人的、信息量大的、有说服力的故事，进而达到有效沟通的目的。



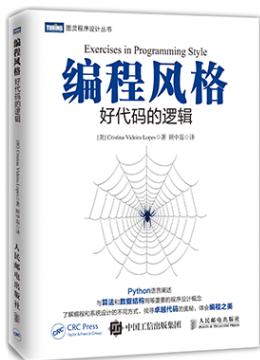
Lua 设计与实现

作者：codedump

书号：978-7-115-46537-5

图灵社区推荐：9

本书首先介绍了Lua中的数据结构，比如通用数据是如何表示的、Lua的字符串以及表类型的实现原理，接着讨论了Lua虚拟机的实现，并且将其中重点的一些指令进行了分类讲解，最后讨论了垃圾回收、模块实现、热更新、协程等的实现原理。



编程风格：好代码的逻辑

编辑

5

作者：Cristina Videira Lopes

书号：978-7-115-46035-6

图灵社区推荐：8



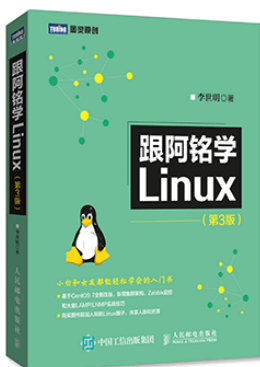
Ruby 基础教程(第5版)

6

作者：高桥征义，后藤裕藏，松本行弘

书号：978-7-115-46294-7

图灵社区推荐：11



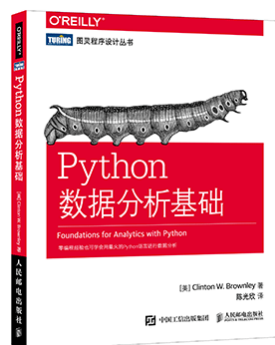
跟阿铭学 Linux (第3版)

7

作者：李世明

书号：978-7-115-46268-8

图灵社区推荐：4



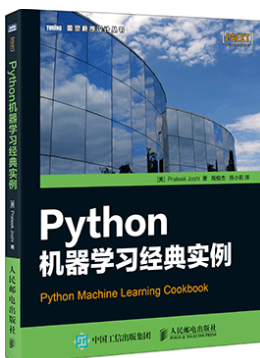
Python 数据分析基础

8

作者：Clinton W. Brownley

书号：978-7-115-46335-7

图灵社区推荐：4



Python 机器学习经典实例

9

作者：Prateek Joshi

书号：978-7-115-46527-6

图灵社区推荐：5



数学也荒唐：20个脑洞大开的数学趣题

10

作者：Jérôme Cottanceau

书号：978-7-115-46548-1

图灵社区推荐：3

“送”你几本优秀的技术图书

作者 / [被搁浅的鱼](#)

本书单内推荐的技术类书籍，都曾给本人留下了不少启发和收获，诚如列夫·托尔斯泰在小说《安娜·卡列尼娜》中所说的那样：“幸福的人都是相似的，不幸的人各有各的不幸。”

即使每位读者对技术佳作的评判标准各有迥异，相信此书单上的荐书也不至于落入三流之列吧！

Java 相关

- 《Java 编程思想（第 4 版）》

评分：8.0

这本书不用多说，一度被推崇为 Java 编程领域圣经级的存在，但本人觉得有点过誉了。基于 JDK1.6，后续没有更新；文风稍微有点教科书的感觉，只是系统介绍 Java 语言的特性，缺少对语言特性的思考！（作为圣经级评判标准）

- 《Effective Java 中文版（第 2 版）》

评分：8.0

这本书和上本一样，基于 Java1.5，内容没有更新，但是这本书中很多建议让我受益匪浅。推荐每位 Java 从业人员阅读。

- **《Java 核心技术》**

评分：7.5

如果说《Java 编程思想（第 4 版）》只是有点教科书的话，这本就是纯教科书了。最不能忍受的是，示例代码的排版和变量命名。算是 Java 语法和特性类书籍中介绍最全面的一本工具书。

- **《Java TCP/IP Socket 编程（原书第 2 版）》**

评分：8.0

本书已经绝版，比较古老，基于 Java1.5，但绝对值得一读。这本书让我对 Java 网络编程的认识上了一个台阶，相信也一定会让你们有所收获。(如果没有，来打我啊！ ^_^)

- **《Netty 实战》**

评分：9.0

作为书单中唯一一本中文版还没出版的图书，绝对是我目前见到过的市面上学习 Netty 最好的书，没有之一。

- **《深入理解 Java 虚拟机：JVM 高级特性与最佳实践（第 2 版）》**

评分：9.5

这本书在国内 Java 圈里大名鼎鼎，无数大牛争相推荐。我读了四遍，每读一次，都有不同的收获。强烈推荐每个想了解 Java 底层的程序员阅读！

- **《实战 Java 虚拟机：JVM 故障诊断与性能优化》**

评分：7.5

可以和《深入理解 Java 虚拟机：JVM 高级特性与最佳实践（第 2 版）》一起阅读，相信你会有不一样的收获哦！

- **《实战 Java 高并发程序设计》**

评分：7.5

介绍 Java 多线程内容最全面的一本书，不足的是，每个技术点里的应用示例稍显不足，给人一种意犹未尽之感，但瑕不掩瑜，值得一读！

- **《编程语言实现模式》和《ANTLR 4 权威指南》**

评分：8.5

这两本书是由 Java 生态中构建 DSL 的首选框架 ANTLR 的作者编写的，如果将前一本比作道的话，后一本就是实现前一本思想的术。这两本可以看作是一套书，推荐一同购买阅读！

- **《Java 8 实战》或者《写给大忙人看的 Java SE 8》**

评分：7.5

当前 Java 已经升级到了 1.8，有多少小伙伴还在用 1.7 及其之前的特性？做为 Java 1.5 以来变动最大的 Java 版本，这两本书无疑都是比较好的新特性科普书！任选一本即可，两本我都有，个人推荐第一本（吐槽下，虽然第一本的勘误有点多）。

- **《Maven 实战》**

评分：8.5

Java 旗舰级构建工具 Maven 讲解的第一书，应该说，在国内外介绍 Maven 的书籍当中，无出其右者！虽然书中介绍的版本稍微有些过时，但新版和老版的兼容性以及前后的一致性，让这本书依然保持了目前的最好水准！

- **《数据结构与抽象：Java 语言描述（原书第 4 版）》**

评分：8.0

这本书在介绍数据结构方面比较详细、易懂，想学习算法结构或应付面试的小伙伴可以一阅！

- ***Optimizing Java***

评分：10

推荐书单中唯一一本满分的书，英文版还没有写完。虽然只看了英文版的前三章，内容瞬间惊艳到了我，所谓“得不到的永远在骚动”。如果

后面写的内容不太狗尾续貂的话，毫无疑问将会成为 Java 相关书籍中的一哥，图灵已经获得了中文版的出版权利，现在只能期望这本经典了！

函数式编程相关

- **《函数式编程思维》**

评分：8.0

系统介绍了函数式和过程式编程的区别以及函数式编程的相关特性，熟悉过程式语言的程序员可以把它当做了了解函数式编程思维的导读书籍。

- **《Scala 函数式编程》**

评分：9.0

虽然这本书名只包含 Scala，但是它适合每一位想深入了解函数式编程精髓的程序员！毫不夸张地说，这本书教会了我函数式编程！书中作者的很多见解让我犹如醍醐灌顶，与之相见恨晚的感觉！强烈推荐！（顺便吐槽下，这本书中添加的国人写的推荐序 2，差点让我和这本好书擦肩而过！罪过！）

- **《Scala 集合技术手册》**

评分：8.5

国人原创的图书，目前我了解到的最佳的 Scala 集合相关图书，可以和《Scala 函数式编程》配合一起参照阅读，这两本书简直不要太配哦！

以上三本是我见过的、介绍函数式编程套路的最佳图书。除了Lisp及其方言、还有Haskell这种独树一帜的函数式语言之外，这三种书完全可以让让你笑傲其他支持函数式编程的语言！

软件架构相关

- **《企业集成模式设计、构建及部署消息传递解决方案》**

评分:9.5

2003年出的一本书，现已绝版，正版二手书居然被奸商炒到了一个匪夷所思的价格，你很难想象书中描述的十几年前遇到的企业开发难题，居然和现在企业开发所遇到的问题毫无二致，提出的解决方案即使在最近几年也借助Akka这类框架而大行其道！本该给满分的一本书，由于出版时间相对久远，书中的代码和解决问题所用的技术基本都已过时，所以扣掉了0.5分！

- **《响应式架构：消息模式Actor实现与Scala、Akka应用集成》**

评分：8.5

因为工作的需要，连续完整看了3遍以上的书。此书内容基本是用新技术践行了上本书中提及的解决方案，书中用到了诸多上本书里提到的解决方案模型。如果说上本书是因为实现技术过时而不能在书单中得到满分推荐的话，加上这本践行的书，绝对可得到推荐满分！建议一起阅读！

- **《软件框架设计的艺术》**

评分：9.0

目前已经绝版，感谢图灵社区找到库存的最后一本样书。本书作者是 NetBeans 最初的架构师和创始人，结合数十年维护 NetBeans 这一优秀开源项目的智慧结晶，书中很多的思想和实践建议，几乎都是在无数血泪教训中总结出来的，值得所有想变优秀的 coder 和技术 leader 阅读。阅读这本书所花费的时间，绝对会得到加倍的回报！

- **《软件开发与创新：ThoughtWorks 文集（续集）》**

评分：8.0

这本书是某次活动满额送的，书很薄，当时买回来就当作一个添头，立马束之高阁。偶然整理书架，拿来看了两眼，从晚上 8 点一直看到了深夜 3 点左右，书中的一些想法和建议让我深受启发！这本绝对算是国内短小精悍类的优秀技术书。

前端相关

- **《深入浅出 Node.js》**

评分：9.0

可谓 Node.js 第一书，印象最深的是，书中对“阻塞/非阻塞、同步/异步”之间的区别介绍。对于之前傻傻分不清的概念，瞬间明了。强烈推荐！

- **《JavaScript DOM 编程艺术（第2版）》**

评分：9.0

过年回家一口气读完的一本书，绝对是前端开发使用 JavaScript 的程序员必看的一本！在书中，作者对平稳退化的论述，刷新了我这个前端渣对 JavaScript 的认知！

大数据相关

- **《大数据系统构建：可扩展实时数据系统构建原理与最佳实践》**

评分：7.5

最近大数据架构、流处理的垃圾书如雨后春笋般地冒出，这本算是目前为止我见过的为数不多的一股清流了！

- **《Hadoop 技术内幕：深入解析 MapReduce 架构设计与实现原理》**

评分：7.5

虽然这本有点过时是基于 Hadoop1.x 的，但是这本书还是值得想通过阅读 Hadoop 源码提升自己编码水平的程序员买来一观。算是大数据领域为数不多的国产原创良心之作！

其他相关

- 《C++ 程序设计现代方法》

评分：9.0

之前一段时间，为了阅读 Open JDK 源码，几乎购买了 C++ 语言类的所有经典书籍，这本是目前我认为对初学者最友好的 C++ 语言学习图书！

- 《Go 程序设计语言》

评分：8.0

前段时间，用 Java 写协议解析写得有点不开森，又听说 Go 语言解析协议不错，入坑。目前买过 3 本 Go 语言相关的书，这本是我认为排名第一的书，值得每一位想了解和学习 Go 语言的读者阅读！

- 《第一行代码 Android（第 2 版）》

评分：8.0

2015 年初和人打赌开始学习安卓，作为新手的我买了至少 5 本国内外和安卓入门相关的书。这本书前一版的内容可谓毫无悬念地甩开了其他同类书 N 条街，第二版虽然只看完了前三章，不过全书的感觉保持了前一版的高水准，可作为新手入坑安卓的首选！

- **《Redis 开发与运维》**

评分：8.0

凑单买的书，当时对此书的期望并不大。因为某一天晚上睡不着，闲来无事地翻了几章，可能期望太低的缘故，内容竟带给我一小点的惊艳之感。想系统了解 Redis 及其应用的同学不妨买来一读。

- **《算法图解》**

评分：9.0

目前为止，唯一一本让我这个算法渣渣，看得津津有味的算法类书籍，这本绝对是算法渣们的福音！看了以后，会让你不禁感叹，原来算法书也能写得这么有趣、易懂！

- **《Mahout 实战》**

评分：6.5

作为书单评分最低的一本（因为版本过老），本来书单里没想推荐这本书。书中讲解的 Mahout 版本也很早，现在已经过时，之所以在书单加上这本，是因为自从 AlphaGo 打败李世石后，机器学习类书籍简直多得烂了大街。本人也买了许多，不管国内外，给出的评分都远低于这本，所以在此列出这本。提醒下大家，机器学习和人工智能的书，请谨慎购买！■

选自[图灵社区](#)

投稿须知

码农 the
code
maker

《码农》(Code Maker) 是国内计算机图书高端品牌之一的“图灵教育”所推出的免费电子期刊。本着“分享知识、提升技术、塑造人生”的思想，向国内广大计算机技术从业人员及技术爱好者，传播国内外、世界前沿的技术知识。采用双月刊的形式，每两月推出一期主题鲜明的杂志。围绕主题内容，每期杂志分别设有相关的“人物”“鲜阅”“践行”“八卦”“书单”“妙评”等专栏内容，目的是摒弃刻板、陈旧的“正统式”陈述方式，帮助读者全方位、多角度地理解主题内容。

《码农》欢迎广大读者在这里投稿作品、交流学习。

作品要求：

内容真实、准确、合法，并且不会侵害任何第三方的合法权益；

对于提交的作品在版权、邻接权、信息网络传播权、文字内容及转授权等方面与第三方发生纠纷或者引发其他法律责任的情况，《码农》不承担任何责任；

以电子版形式发送到邮箱 liumin@turingbook.com

对于采用的作品，我们会在杂志出版后，支付给作者一定数量的银子！银子可在图灵社区 (www.ituring.cn) 上使用，兑换到“图灵教育”品牌下的纸质图书！

图灵社区 出品

出版人：武卫东

编辑：刘敏

设计：大胖

本刊只用于行业交流，免费赠阅。
署名文章及插图版权归原作者所有。



地址：北京市朝阳区北苑路13号院领地OFFICE C座603室

电话：010-51095181

微博：weibo.com/ituring

Email: ebook@turingbook.com