

TURING 图灵新知

D  
e  
f  
i  
n  
i  
t  
e  
r  
i  
n  
i  
t  
y

# 从无穷开始

科学的困惑与疆界

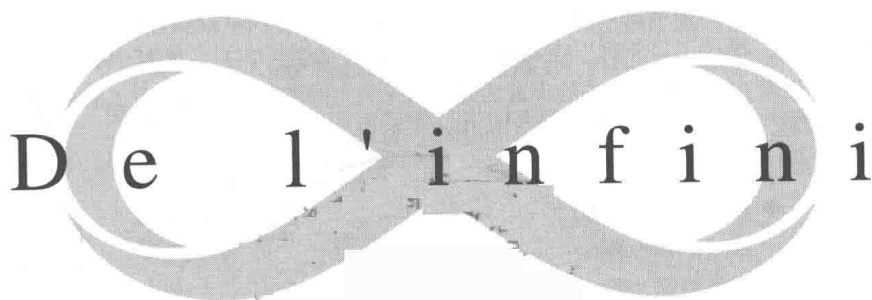
[法] 让-皮埃尔·卢米涅 马克·拉雪茨-雷——著  
孙展——译

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 从无穷开始

科学的困惑与疆界



[法] 让-皮埃尔·卢米涅 马克·拉雪茨-雷——著 孙展——译

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

从无穷开始:科学的困惑与疆界/(法)让·皮埃尔·卢米涅,(法)马克·拉雪茨-雷著;孙展译.--北京:人民邮电出版社,2018.4

(图灵新知)

ISBN 978-7-115-47919-8

I. ①从… II. ①让… ②马… ③孙… III. ①无限—普及读物 IV. ①B025.9-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第032792号

## 内 容 提 要

本书以生动的语言讲述了“无穷”的概念对科学研究和人类思想的重要推动作用,探讨了“无穷”在物理学、数学和天文学三大科学领域中的深刻意义,以及在哲学和文学中的丰富话题,从无穷大的浩瀚宇宙到无穷小的微观量子世界,展现“无穷”带给人类的困惑、恐惧、乐趣和无限启迪。

---

◆ 著 [法]让·皮埃尔·卢米涅 马克·拉雪茨-雷  
译 孙 展  
责任编辑 戴 童  
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:6.75 彩插:4  
字数:157千字 2018年4月第1版  
印数:1-4000册 2018年4月河北第1次印刷

著作权合同登记号 图字:01-2017-4511号

---

定价:39.00元

读者服务热线:(010)51095186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

## 版 权 声 明

Originally published in France as: *De l'infini. Horizons cosmiques, multivers et vide quantique*, Second edition, by Jean-Pierre Luminet and Marc Lachièze-Rey © Dunod, Paris, 2005, 2016  
Simplified Chinese language translation rights arranged through Divas International, Paris

巴黎迪法国际版权代理 ( [www.divas-books.com](http://www.divas-books.com) )

本书中文简体字版由 DUNOD Éditeur 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有，侵权必究。

## 前言

# 让“无穷”进来

“是谁？太好了，让‘无穷’进来。”

——路易·阿拉贡，《梦潮》（1924）

人类能直接认知的事物是有限的。但“无穷”二字经常会在思考的瞬间乍现。伊曼努尔·列维纳斯曾经说过：“有些事物能让思想超越一切限制，而这种特质就是‘无穷’。”但是，“无穷”这一概念是否真实存在于自然界，存在于试图描述自然界的科学之中？它是否存在于世间万物之中？它是否构成了一个实在、多重的现实维度？或者，它仅仅是人类思维中一种虚构的概念，没有任何一种物理现象与之对应？对于这些难题，亚里士多德曾给出过完整的阐释。

运动、空间、时间……每一种量都只有两种可能——有限或无限。然而，亚里士多德在《物理学》中提出，实际已知的实体和实际可实施的流程才是有限的。因此，他的学说并不排斥对“无穷”的思索。不过，亚里士多德并未真正承认这些概念的存在，他认为

“无穷”是“潜在的”，而并非实际存在。

一位步行者可以无限地重复行走，一步又一步……原则上，他总能再多走一步。“无限重复”引出了最初的“无穷尽”的概念：这种总能“再向前走一步”的特性就是“潜无穷”。这一概念自然而然地联系到自然数的连续性上：1、2、3……一个数后面总跟着另一个数，不存在最后一个数，因为必有后续者。这就是“递推法”的基本原理，数的“潜无穷”概念就此诞生。

不过，数字2的存在已经预示着“潜无穷”，因为 $2=1+1$ ，我们完全可以照这样的式子写下去， $2+1=3$ ， $3+1=4$ ，永无止境。1是一个单位，2是一种变化，变化多端。如果说2已经预示着无穷，这是否意味着，“变化”与“多样”本身就是潜在的无穷呢？

可见，无穷不仅是自然科学问题，也是哲学问题，涉及了神学、艺术、伦理学……因此，我们需要区分宇宙科学、物质科学与数字科学，即数学。

亚里士多德把“无穷”与“未完成”联系到了一起。在继他之后的几个世纪里，科学家——尤其是哲学家与神学家，都强烈反对“实无穷”理念，他们表现得十分激动，甚至超乎常理了。早期的基督教神父们、新柏拉图派学者和经院哲学家们认为，“无穷”首先是上帝的属性。而后，这个概念从神学领域发展到数学与自然哲学领域，阐述了关于透视几何学（15世纪）、宇宙无限大（17世纪）与无穷小（17到18世纪）的概念。由此，“无穷”变得可以被理解。从两百年前开始，无穷才作为数学与逻辑学领域中的一个独立概念被建立和归纳。

当物理学家竭力把无穷从理论中驱除出去的时候，数学家却很支持这一概念。实际上，无穷与数字和集合的概念有关。是否存在

一个数字与无穷相关？是否存在包含无数元素的集合？我们提出的问题或许有些幼稚。没有人能说清楚数学上的“存在”到底意味着什么。数字是否“存在”于我们这个维度之外的另一个现实之中？总之，无穷在两千年中一直是各种悖论的根源，这些悖论阻碍了无穷理论的建设。在诸多悖论中，最令人震撼的无异于“不可分论”（无穷小）与“自反性”（无穷大）。事实上，无穷大与无穷小这两种无穷貌似密不可分：比如，在一个极小的长度上，似乎能找到无数个无穷小的点。

无穷在数学中“无所不在”，让人类吃惊不已。因为人是一种有穷尽、受限制的生命体，禁锢在一颗有限的星球之上。然而，我们这种有限的生物却在研究着无穷，不断探索这一概念，因为这对理解“有限”的概念是不可或缺的。一个最直接的例子就是 $\pi$ 的计算，即圆的周长与其半径的比例关系。 $\pi$ 有无穷多位小数，但我们却用了一个包含无尽小数的数字来表达它。为了计算这一数字——阿基米德曾尝试过——需要用到一个无穷的计算过程。

19世纪初，数学家伯纳德·波尔查诺（1781—1848）首次提出，“无穷”与“有界”处于同等状态。到了19世纪末，格奥尔格·康托尔（1845—1918）的研究让众多科学家心生恐慌，最终被否定、被弃置。康托尔独自战斗着，最终精神失常。如今，人们将他的研究视为现代数学的起源。

直至20世纪，无穷的概念几经波折，才在物理学中重新赢得一席之地。诸如场的量子理论、相对论或黑洞模型等理论引发了新的“无穷”概念。自此，“有穷”与“无穷”开始在相同的模型中并驾齐驱。

这本书描述了“无穷”在宇宙学、数学和基础物理学中平行发

展的故事。各学科的无数学者孜孜不倦地对这一主题进行阐释。我们将讲述某一思想流派或某一时代最具代表性的成果。从亚里士多德、卢克莱修、布鲁诺、牛顿、波尔查诺、康托尔到爱因斯坦，众多富有远见卓识的天才共同撰写了无穷的传记。而关键在于，我们要明白为什么在历史的每个阶段，“无穷”的物理意义都与其形而上学的意义错综相连。

了解一门科学的历史是必不可少的。一个人若不知其历史，就不可能明白这门科学的实质。在跳出历史后，我们想借助爱因斯坦之后近一个世纪的现代理论微光，来重新思考“无穷”的现实意义。尤其是，相对论仍是物理学中硕果仅存的“实无穷”之一——空间无穷、时间永恒。这也反映出相对论在科学领域中特殊的认识论地位。物理学最前沿的发展，如时空拓扑学、重正化、量子真空、弦理论、量子宇宙学都让“无穷”不断死而后生，正如传说中的凤凰涅槃……



# 目录

<b>第 1 章 苍穹浩瀚</b> .....	1
热情与争论.....	1
阿派朗.....	2
封闭世界.....	5
现实还是潜在?.....	6
有穷世界的悖论.....	8
受争议的亚里士多德学派.....	12
恒星地球间的裂缝.....	14
布鲁诺:对“无穷”的狂热.....	16
新的天文学.....	19
牛顿的宇宙学.....	24
宇宙曲线中的宇宙岛.....	29
新的时空.....	33
扩张的宇宙.....	36
夜之黑,“无穷空间”的第一佯谬.....	37
到底是有穷,还是无穷?.....	43
双重生命.....	48
宇宙视界.....	50
宇宙拓扑学.....	62
无穷的幻象.....	68
<b>第 2 章 数字的无穷</b> .....	78
运算中的无穷.....	78
超大数.....	81
无穷的直觉.....	84

无穷变为现实	89
无穷的悖论	92
康托尔的基数无穷	93
连续统假设	102
数学上的更多无穷	107
有穷论与直觉主义	119
<b>第3章 物质的无穷</b>	<b>121</b>
持续性、延展性与无穷性	121
芝诺悖论	123
微积分	126
物质的可分性	128
黑体与无穷	131
量子场	132
空	133
重正化物质	137
希格斯玻色子	139
暗能量?	141
超弦理论	142
无穷就这么消失了?	143
<b>第4章 独特的量子引力</b>	<b>145</b>
无底洞	145
时间的起点	153
有限时间的威胁	154
奇点的威胁	156
量子引力与离散时空	158
量子几何动力学	166
从宇宙到多重宇宙	170

后记 对无穷的反思 .....	183
伪装起来的无穷 .....	184
宇宙学：无穷获得认可 .....	185
应该消除无穷吗？ .....	186
参考文献 .....	189
人名对照表 .....	194

## 第1章

# 苍穹浩瀚

“苍穹之浩瀚，充满挑战与变迁，无边奥秘难以尽述，但相比其他，这也不过是一句略显冗长的话，说得让人喘不过气来。”

——勒内·夏尔，《异域领地》

## 热情与争论

“太初伊始，宇宙如同一锅无边无垠、致密而静止的汤，包含无数的粒子。天空的组成物质与地球相同，而且不由诸神统治。”两千五百多年前，克拉佐曼纳的阿那克萨戈拉（公元前500—前428）如是说，而他也因此成为了历史上第一位被控渎神和异端的学者。不过，相比众多后继者，阿那克萨戈拉还是很幸运的，他曾经的学生伯利克里及其他多位很有权势的朋友为他辩护，最终他被无罪释放，躲过了雅典的敌视。

从这个小故事我们可以隐约看到，自久远的年代起，无穷就曾让人们为之着迷，但也引起了诸多争议。就像大多数伟大的哲学理念一样，无穷这一概念也起源于古希腊。我们统称横跨两个世纪的

早期哲学流派为“前苏格拉底哲学”。不过，他们的主张其实大相径庭，每一个流派都试图以自己的方式尽量远离神话色彩，赋予世界一个理性的阐释：物质的起源是什么？物质之间又是如何转换的？最初与最终的元素为何物？宇宙以什么形式存在？又以怎样的规则运转？可见，在那个时期，人们就已经开始思考现代粒子物理学与宇宙学最前沿的谜题。

## 阿派朗

公元前6世纪，古希腊哲学家米利都的阿那克西曼德提出了前苏格拉底哲学的世界观的原型。他认为“阿派朗”是万物的本源。这一概念的内涵所引发的争论从未休止，因为它涵盖了多重含义：无穷（无限与永恒）、无定（不确定性）与超乎想象的无垠。“阿派朗”在某种程度上与我们今天理解的“太空”概念相吻合。

阿那克西曼德还认为，我们可以探知的领域，即这个产生各种现象的“世界”，是有限的。人类生活在“被无尽空间包围的有限世界”，这一观点持续了几个世纪。更早之前，另一位米利都学派的哲学家泰勒斯也提出了类似的观点：宇宙由水组成，而世界是一个半球形的气泡，漂浮在这个无边无际的液态物体中。

而原子论提出了另一种宇宙无穷的观点。该学说于公元前5世纪由留基伯和德谟克利特奠定，其中最著名的阐释者为伊壁鸠鲁（公元前341—前270）和卢克莱修（公元前1世纪）。这种学说的基础是原子的存在：原子是一种不可再分割的物质微粒（atomos在希腊语中意为“不可分割”），是宇宙万物的本源。

原子论中的另一种基础元素是“虚空”。它构建了一个无边界的

舞台，原子在其中运动着。物质对这个无边无际的“空间”没有任何影响：从理论上来说，“虚空”是绝对的、既定的。原子不可破坏、不可改变、不可计数，只能用大小与形状区分。它们在“虚空”中永恒存在，聚集成不同的天体。自然而然，多重世界的概念由此而生。

伊壁鸠鲁在《致希罗多德的信》中写道：“世界有无穷多个，有的与我们的世界相似，有的迥异不同。因为原子的数量是无穷的，它们在空间中被拉扯得很远。其实，这些创造或构成世界的原子不会在形成一个或有限的几个世界的过程中被耗尽——无论是与我们相似的世界，还是完全不同的世界。因此，没什么能阻挡无数个世界的产生。”如此一来，原子论基于原子各种可能的组合，预言了无数多个世界的并存。创造物质与世界的原子构成了一种因果关系：因为原子是不可计数的，所以它们之间可能的组合是无数的，因而，多种多样的世界也是无穷的。

原子论的假设宏大而丰富，原子宇宙学却很贫乏。有人说，连德谟克利特自己也不知道在天空中可见星球的数目！原子论必将受到苏格拉底、柏拉图和亚里士多德的严厉批判。此外，原子论宣称宇宙不由诸神统治，而是由基本物质和“空”来掌控，所以，它不可避免地卷入了与宗教权威的斗争之中。然而，多亏了伊壁鸠鲁和卢克莱修，原子论仍能蓬勃发展，直到基督教时代的来临。基督教认为原子论过于唯物主义，于是，在基督教时代的前几个世纪，这种理论都被封杀，不再是主流科学流派的一部分。这种状态一直持续到17世纪。

## 卢克莱修的“无穷”论

卢克莱修是公元前1世纪的拉丁语诗人。他曾在一首关于宇宙的诗集《物性论》中美妙地阐释了原子的哲学。诗集第二卷专门论述了“无穷的空间”与其无法回避的推论——“多重世界论”。

“现在，请注意听这真理的学说——这是一个全新的观点，会震撼你的耳朵，在你面前呈现事物崭新的一面……若以害怕新事物为借口，就请停止排斥我这套理论系统吧；让你的判断更精准一些，好好斟酌我的观点。若你觉得它们真实可信，那就请投降吧；若你在其中只见谎言，那就武装起你的言语来辩。精神在超越我们世界的无穷空间中所探索的，就是这无垠中可能存在的东西，智慧随心所欲地探索着这广袤的空间，思想无拘无束地向那里翱翔。

“首先，宇宙在任何方向都没有边界——无论左右，不分上下；我已经给你展示过，现实显而易见，这是由物性也是由‘空’而来的。那么，如果一个自由、无界的空间向各个方向延伸开去，如果不停倍增的无数粒子用成千上万种方式永恒地漂浮开去，你是否还相信我们的星球和苍穹是唯一的造物，而在其之外的无数原子只是虚空？想象一下，我们的世界是大自然的产物，产生于原子之间偶然、自发的一系列碰撞。而那些原子，继上千次无序的运动和徒劳的结合之后，终于成功塑造了这些结合体。这种结合一完成，就自发地孕育出这些奇迹——地球、海洋、天空、生物。我重申一次，你应该相信，在其他地方也有类似我们的世界的结合体。

“每一次在具备了大量的物质和空间，并且没有其他阻碍时，命中注定就会形成物质。假如粒子的数量非常之多，以至于生物存在的全部时间都不够用于对它计数，假如别处存在同样的力量和性质，可以将这些粒子在各处聚集，并像我们宇宙中的原子一样顺序排列的话，我们就不得不承认，空间的其他地方也存在着其他星球、其他人种和野生物种。”

## 封闭世界

公元前5世纪，巴门尼德也许是第一位宇宙“有穷论”的代表人物。在他看来，世界这个“完美存在”的映像就像是一个“浑圆的球”，因此必然会有边界：“但是，由于存在一种极限，‘存在’在各个方向都是受限的，充满了这个浑圆球体的内部，自球心到边界完美地均匀分布。无所谓多，无所谓少，哪里都不存在任何变化。”

柏拉图（公元前428—前347）的说法更有说服力，他认为宇宙是有穷的，被一个负载着各种星体的终极球体包围、封闭。在谈及“空间”（space一词源于拉丁语spatium）这个概念时，希腊术语运用了不同的称呼：apeiron（阿派朗）、khaos（混沌）、kosmos（宇宙）、kenon（空）、pan（一切）、ouranos（天空）……柏拉图在《蒂迈欧篇》中又引入了一个专门的术语khora来指代汇聚，并定义了物质的区域或空间。这位著名的学院派奠基者在天文学思想的变革中扮演了重要角色。柏拉图强调，学者不该局限于对星辰的深思中，而应该运用几何学去探索星体的真实本质，去解释它们的运动。从亚里士多德、欧多克索斯，到5个世纪以后将这些概念发扬光大的托勒



密，整个古希腊天文学都围绕着这一箴言开枝散叶。

准确来说，亚里士多德（公元前 384—前 322）此后并没有继续发展“空间”的理论，而是发展了“场所”（topos）的理论。场所又称“拓扑斯”，它既有别于“区域”，也独立于“物质”的概念。场所是包围着物体的界限。宇宙并不是“某一个场所”，而是“那一个场所”，是“体”所占据的全部地方的集合。亚里士多德认为“体”与原子不同，前者的数量必然是有限的。在宇宙学层面，亚里士多德的理念与柏拉图相近：地球固定在一个有限宇宙的中心，被一个包含了宇宙中所有天体的“天球”所包围；但是，这个外部天球不存在于任何地方，因为在它之外别无所有，既非真空，也没有外延。

## 现实还是潜在？

不可避免地，自然科学（物理）和运动分析学促使亚里士多德首次提出了现代意义上的“无穷”问题。“无穷”真的存在吗？运动、长度、时间间隙都需要我们来决定，它到底是有界的，还是无限的？亚里士多德认为，对运动和一个物理量的拆分是没有穷尽的——在这方面，他与原子论学派的想法不同。所以，我们应该思考一下拆分一条线、一个面积、一个体积时的特性。

亚里士多德称：“如果我们可以探知一个物体的性质，那么它就是有穷的（阿派朗）；如果我们不可以感知它的特性，它就是无穷的。”他把可量化的概念写入了“无穷”的定义中。为了测量和计算所谓的量、长度或数量，就必须能区分整体与部分。结果，整体是可以拆分和分割的观点一下子跳了出来。就这样，对于某一个长度，亚里士多德区分出了三种不同的无穷。