


科学通报

Science 125个  
前沿问题

解读

《科学通报》编辑委员会  
高福 主编

(上册)

 科学出版社  
Science Press

# *Science* 125个前沿问题解读 (上册)

主 编 高 福

副主编 王会军 刘忠范 许甫荣  
何雅玲 韩布兴

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

2005年,在 *Science* 杂志创刊125周年之际,由各领域专家组成的杂志编委会挑选了125个挑战全球科学界的前沿问题作为纪念。这些问题公布10年后,又有了哪些进展?

2015年《科学通报》开始陆续邀请相关领域的百余位专家、学者对这125个前沿问题进行解读。从2016年第1期开始陆续刊出,至2018年全部解读完毕,共刊出130多篇文章。为了将精彩的解读内容集中在一起并进行更好地传播,本书将所有发表在《科学通报》的解读文章集结,分上、下册出版。

本书适合本科及以上学生、科学研究人员以及科技爱好者阅读。

书中如下内容已获美国科学促进会(AAAS)授权许可使用。

1. The questions only in English and Chinese from the special issue of *Science* 125 Questions: What don't we know? (01 July, 2005)
2. Introduction to the section "What Don't We Know?" by Donald Kennedy & Colin Norman, *Science*, 01 Jul 2005: Vol. 309, Issue 5731, pp. 75, DOI: 10.1126/science.309.5731.75

### 图书在版编目(CIP)数据

---

*Science* 125个前沿问题解读(全二册)/高福主编.--北京:科学出版社,2019.5  
ISBN 978-7-03-058528-8

I. ①S... II. ①高... III. ①科学知识—研究 IV. ①G302

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第186922号

---

责任编辑:王元火 张冬梅 张莉 等 / 责任校对:胡小洁  
责任印制:肖兴 / 封面设计:胡煜

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京联兴盛业印刷股份有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年5月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年8月第二次印刷 印张:60 3/4

字数:1440 000

定价:368.00元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《Science 125个前沿问题解读》编辑委员会

(以姓氏笔画为序)

主 编 高 福

副主编 王会军 刘忠范 许甫荣 何雅玲 韩布兴

## 编 委

丁 汉	马旭村	马连湘	马琰铭	王 川	王 丹	王 玺
王 锐	王力帆	王开云	王如竹	王秀明	王键吉	邓 涛
邓成龙	邓伟侨	石远凯	帅志刚	付 磊	白永飞	仝殿民
冯友军	兰岳恒	朱 恂	朱宝利	任治安	刘 畅	刘 禹
刘 静	刘 震	刘植昌	齐利民	江 颖	宇 波	孙 扬
孙俊奇	孙洪波	孙靖宇	严 锋	严景华	苏万华	李 芊
李 强	李印实	李传锋	李京波	李景虹	李献华	杨延莲
杨进辉	杨顶辉	杨茂君	杨海军	吴一弦	吴立新	吴伟仁
何 燕	何良年	余宏杰	余锡平	谷瑞升	邹贵付	汪景琇
宋宇飞	宋纯鹏	张 兴	张 军	张 娜	张 跃	张玉虎
张先恩	张华堂	张建玲	张浩力	张寅平	张锁江	陆全明
陈 玲	陈立桅	陈伟球	陈志坚	陈克新	陈拥军	陈学思
郝秀书	周兴江	郑玉新	赵凤玉	赵同标	胡永云	胡喜军
冒亚军	俞书宏	饶 毅	宣益民	宫 鹏	祝世宁	祝凌燕
袁训来	桂建芳	柴育成	徐明华	殷 刚	高 山	高 杰
高学杰	高瑞平	郭万林	席振峰	唐功利	梅生伟	鹿化煜
彭海琳	董尔丹	蒋 毅	景传勇	傅小兰	傅旭东	傅肃能
焦丽颖	曾海波	谢和平	谢树成	谢素原	蒲 钊	雷爱文
路新春	詹启敏	蔡荣根	裴端卿	廖 宏	翟天佑	樊春海
颜 宁	翦知湓	戴永久	戴振东	魏 迪	魏志祥	

## 编辑办公室

王 晶	王艳玲	王元火	安 瑞	李灿灿	肖 鸣	邹文娟
张冬梅	张 莉	贾旭明	智 欣			

# 序

2005年是*Science*杂志创刊125周年。在过去的125年中，这份由发明家爱迪生创办、各专业领域科学家共同编辑的杂志始终与科学的发展与进步同步，激励着一代代科研工作者砥砺前行，并成为世界著名的科学刊物之一。为了表达对过去几代编者执着“科学”精神的敬意，由各领域专家组成的杂志编委会挑选了125个挑战全球科学界的重要基础问题作为纪念。

问题意识是科学家的基本素质，问题导向也一直是科学家立项选题的根本所在。发现问题、提出问题是科学研究的前奏和第一步。科学的进步一直都是在围绕发现问题、解决问题，发现新问题、解决新问题的周而复始过程不断完成的。这125个问题涉及的范围从宇宙构成、地球演化、生命兴起直到人类自身。简单归纳统计，我们发现，其中涉及生命科学的问题约占46%，关系宇宙和地球的问题占16%，与物质科学相关的问题占14%以上，认知科学问题占9%。其余占总数15%的问题分别涉及数学与计算机科学、政治与经济、能源、环境和人口等，突显我们对人类自身以及宇宙奥秘的新奇与寻找答案的渴求。

在125个问题中，关于生命科学领域的问题最多。例如：人类意识的生理基础是什么？为什么人类的基因只有大约2.5万个，远少于先前的预期？基因变异和人类健康的联系有多紧密？人类的寿命究竟能有多长？什么在控制器官再生？皮肤细胞如何能变成神经细胞？人类是否是宇宙中唯一的智慧生命？又比如：地球上的生命何时、何地开始兴起？什么决定物种多样性？是什么基因变异使人类和其他灵长动物区分开来？记忆是如何储存和恢复的？人类的合作行为是如何演化来的？能否研制出有效的艾滋病疫苗？我们能否选择性地“关闭”某些免疫反应？凡此种种，触及了人类的本质与“灵魂”！

物理领域的问题，如：宇宙的构成究竟如何？描述世界的物理理论能否统一？还有几个问题涉及当前全人类面临的挑战，如：温室效应会将地球加热到什么程度？什么能源、到什么时候能取代石油？地球能容纳人口的上限是多少？

还有问题涉及信息学和医学，如：传统计算机的极限在哪里？这些问题，都是困扰人类已久对客观世界认知的本质问题，触及了人类认知的极限。

现在对这些问题，依然存在许多未知。在今后的时间里，人们将致力于研究解决这些问题。《Science》杂志编委会说，其中前25个问题最为醒目，也有望在不久的将来得到解决。《Science》杂志前任主编唐纳德·肯尼迪曾强调，这些大问题中，有些可能永远得不到答案，但它们指明了科学家们前进的方向，而解决这些问题的努力也将丰富人类的知识、推动人类的进步。

从2005年到2015年，10年过去了，这些问题有了什么样的进展？

《科学通报》进行了如下的追踪与回应。《科学通报》作为中国科学院和国家自然科学基金委员会共同主办的自然科学综合性学术刊物，致力于快速报道自然科学和应用研究的最新研究动态、消息、进展，点评研究动态和学科发展趋势，文章力求在比较宽泛的学术领域产生影响。2015年《科学通报》开始陆续邀请相关领域的百余位专家、学者对这125个问题进行解读。例如，我们邀请中国科学院理论物理研究所的蔡荣根院士解读“黑洞的本质是什么？”；邀请中国石油勘探开发研究院的赵文智院士解读“什么能源、到什么时候能取代石油？”；邀请中国科学院古脊椎动物与古人类研究所吴新智院士解读“人种及其演变”等。作为《科学通报》主编的我也对“能否研制出有效的艾滋病疫苗”提出了自己的看法。

这些解读文章自2016年第1期开始陆续刊出，至2018年，125个问题全部解读完毕，有些问题还约请到多位专家从不同角度解读，共发表130多篇文章。与此同时，《科学通报》微信公众号也陆续推出部分文章的科普版短文，受到较多关注。

为了将精彩的解读内容集中在一起并进行更好地传播，我们将所有发表在《科学通报》的解读文章集结以《Science 125 个前沿问题解读》为题成书，由科学出版社出版。专家的解读代表了一方观点、一方理解、一家之言，我们更希望这本书的出版能够激发广大科研工作者与大众更广泛的思考，深入研究，提升人类认知水平，推动人类社会进步。

是为序。

高福

2019年4月

## 我们都有哪些不知道的？

*Science* 杂志一向热衷于报道新发现，小到一个细胞、大到整个宇宙，这些新发现为我们揭开了事物运转的神秘面纱，也使我们更为关注知识储备中增加了什么。本期 *Science* 杂志创刊 125 周年纪念特刊，我们决定转换思路、改变视角，探寻未知的领域：那些推动基础科学研究不断前行的科学未解之谜。

我们首先向 *Science* 杂志的高级编辑委员会、审稿委员会以及编辑和作者征集他们认为前沿科学领域的认知空白。基本规则是：这些问题应该能在未来的 25 年里被科学家解答，或者至少有解答的途径。最初我们只想在所有收到的问题中遴选 25 个，汇总为重大科学问题调查。而当编辑和作者们真正坐下来挑选时，很快意识到，仅仅 25 个问题远远不能涵盖我们收到的问题中涉及的所有前沿领域。因此，25 个问题最终变成了 125 个问题，正好与 *Science* 的 125 周年纪念相契合。

关于这期特刊，首先要说明的是，这里讨论的不是可以利用科学解决的社会大挑战，也不是对可能取得的科学成就的预测，而是对科学未及之境的探寻，是科学家们也在探究的一系列问题。正如汤姆·西格弗里德 (Tom Siegfried) 在他的介绍性文章中写的，这些问题是“有待开发的机会”。

根据其基础性、广泛性和影响力，我们在 125 个问题中精选了 25 个问题。有些问题对我们的生活没有直接的实际意义，如“宇宙的构成”；有些则会产生巨大的社会影响力，如“能否研制出有效的艾滋病疫苗”或“我们向大气排放的二氧化碳会在多大程度上使地球变暖”；有些问题是近期刚进入人们视野的，如“暗物质的本质”；有些则困扰了科学家们一个多世纪，如“两栖动物的肢体再生机制”。这 25 个问题没有特殊排序，另外 100 个问题则大致按照学科分类。

为纪念 *Science* 杂志创刊 125 周年，我们旗下的网络出版物也纷纷推出专刊：

*The Science of Aging Knowledge Environment* (SAGE KE; [www.sage.ke.org](http://www.sage.ke.org)) 将探讨有关衰老的几个重大课题。

*The Signal Transduction Knowledge Environment* (STKE; [www.stke.org](http://www.stke.org)) 挑选在细胞信号转导领域具有较高影响力的经典 *Science* 文章进行点评。

*Science's Next Wave* ([www.nextwave.org](http://www.nextwave.org)) 则着眼于正在攻克 *Science* 报道的某些问题的科学家们的研究历程。

我们清楚地意识到, 125 个未解的前沿科学问题也仅仅构成此文标题“我们都有哪些不知道的”一部分。因此, 我们邀请您加入 *Science* 网上专题讨论 ([www.sciencemag.org/sciext/eletters/125th](http://www.sciencemag.org/sciext/eletters/125th)), 您可以对这 125 个问题发表评论或提名我们遗漏的问题。如果这些问题正是您所致力研究的领域, 我们深表歉意。

唐纳德·肯尼迪

科林·诺曼

---

注: 原文“*What Don't We Know?*” (Donald Kennedy & Colin Norman, *Science* 01 Jul 2005: Vol. 309, Issue 5731, pp.75, DOI: 10.1126/science.309.5731.75) 由张冬梅、刘徽翻译; 高福审校。

# 目录

## 上 册

序 .....	高福	i
我们都有哪些不知道的? .....	唐纳德·肯尼迪, 科林·诺曼	iii
Q1 <i>What is the universe made of?</i> 宇宙是由什么构成的? .....	张鹏杰	1
Q2 <i>What is the biological basis of consciousness?</i> 意识与多感觉信息整合的最新研究进展 .....	刘睿, 王莉, 蒋毅	4
Q3 <i>Why do humans have so few genes?</i> 人类基因知多少 .....	刘顺, 屈良鹄	15
Q4 <i>To what extent are genetic variations and personal health linked?</i> 遗传变异与人类健康 .....	黄辉, 邓建莲	22
Q5 <i>Can the laws of physics be unified?</i> 爱因斯坦的未竟之梦: 物理规律的大统一 .....	杨金民, 王飞	33
Q6 <i>How much can human life span be extended?</i> 人类寿命到底能延长多久? .....	何琪杨	39
Q7 <i>What controls organ regeneration?</i> 什么控制着器官再生? .....	裴端卿	45
Q8 <i>How can a skin cell become a nerve cell?</i> 皮肤细胞如何成为神经细胞? .....	裴端卿	49
Q9 <i>How does a single somatic cell become a whole plant?</i> 植物再生的研究进展 .....	孙贝贝, 刘杰, 葛亚超, 盛李宏, 陈吕琴, 胡小梅, 杨仲南, 黄海, 徐麟	53
Q10 <i>How does Earth's interior work?</i> 地球内部物质的运动与动力 .....	滕吉文, 宋鹏汉, 张雪梅, 刘有山, 乔勇虎, 马学英	69
Q11 <i>Are we alone in the universe?</i> 宜居环境与地外生命 .....	田丰	95
Q12 <i>How and where did life on Earth arise?</i> 地球生命的起源 .....	李一良, 孙思	102

Q13	<i>What determines species diversity?</i> 什么决定了物种的多样性?.....	葛颂	116
Q14	<i>What genetic changes made us uniquely human?</i> 人类独特表型遗传基础的研究进展.....	罗鑫, 张栋秦, 宿兵	125
Q15	<i>How are memories stored and retrieved?</i> 记忆的动态变化: 记忆的编码、巩固和遗忘.....	王英英, 朱子建, 吴艳红	133
Q16	<i>How did cooperative behavior evolve?</i> 世纪科学之问“合作行为是如何进化的”——中国学者的回应..... .....	王赞, 魏子晗, 沈丝楚, 吴斌, 蔡晓红, 郭慧芳, 周媛, 李纾	141
Q17	<i>How will big pictures emerge from a sea of biological data?</i> 从生物大数据到知识大发现: 十年进展与未来展望..... .....	张学工, 江瑞, 汪小我, 古槿, 陈挺	155
Q18	<i>How far can we push chemical self-assembly?</i> 化学自组装之路: 我们能够走多远?.....	黎占亭	163
Q19	<i>What are the limits of conventional computing?</i> 计算的极限.....	季铮锋, 夏盟信	167
Q20	<i>Can we selectively shut off immune responses?</i> 我们能否选择性地阻断特定的免疫反应?.....	黄文锋, 鄢慧氏	172
Q21	<i>Do deeper principles underlie quantum uncertainty and nonlocality?</i> 量子非局域、量子纠缠及其可能揭示的新物理.....	陈哲, 韩永建	177
Q22	<i>Is an effective HIV vaccine feasible?</i> 艾滋病疫苗的科学挑战和应对策略..... 艾滋病疫苗突破需要颠覆性思维.....	邵一鸣 谭曙光, 施一, 刘军, 高福	180 188
Q23	<i>How hot will the greenhouse world be?</i> 温室效应会使地球温度上升多高? ——关于平衡气候敏感度.....	姜大膀, 刘叶一	195
Q24	<i>What can replace cheap oil and when?</i> 石油被替代的可能性与路径之思考.....	赵文智, 刘合, 张国生	199
Q25	<i>Will Malthus continue to be wrong?</i> 马尔萨斯人口论仍然是错的.....	曾毅	208
Q26	<i>Is ours the only universe?</i> 宇宙是唯一的吗?.....	陈学雷	217
Q27	<i>What drove cosmic inflation?</i> 是什么驱动宇宙暴胀?.....	黄庆国	226
Q28	<i>When and how did the first stars and galaxies form?</i> 第一代恒星与星系何时、怎样产生?.....	毛晓春	229
Q29	<i>Where do ultrahigh-energy cosmic rays come from?</i> 超高能宇宙线源于何处?.....	曹臻	231

Q30	<i>What powers quasars?</i> 类星体的能量之谜 .....	左文文, 吴学兵	236
Q31	<i>What is the nature of black holes?</i> 黑洞的本质 .....	蔡荣根, 曹利明	243
Q32	<i>Why is there more matter than antimatter?</i> 宇宙正反物质不对称的起源 .....	黄发朋, 李明哲, 顾佩洪, 张新民	255
Q33	<i>Does the proton decay?</i> 质子会衰变吗? .....	梁午阳, 许甫荣	261
Q34	<i>What is the nature of gravity?</i> 引力的本质是什么? .....	秦成刚, 邵成刚, 涂良成	264
Q35	<i>Why is time different from other dimensions?</i> 时间为何不同于其他维度? .....	敖平	267
Q36	<i>Are there smaller building blocks than quarks?</i> 夸克有内部结构吗? .....	赵强	275
Q37	<i>Are neutrinos their own antiparticles?</i> 中微子是其自身的反粒子吗? .....	周顺	277
Q38	<i>Is there a unified theory explaining all correlated electron systems?</i> 是否存在关联电子体系的统一理论 .....	李涛	281
Q39	<i>What is the most powerful laser researchers can build?</i> 人们能够建成最强的激光吗? .....	蒋红兵	284
Q40	<i>Can researchers make a perfect optical lens?</i> 能否制造完美的光学透镜? .....	包刚, 何赛灵, 马云贵	288
Q41	<i>Is it possible to create magnetic semiconductors that work at room temperature?</i> 是否可能制造出室温下的磁性半导体? .....	赵建华	292
Q42	<i>What is the pairing mechanism behind high-temperature superconductivity?</i> 高温超导体的电子配对机制 .....	李涛	297
Q43	<i>Can we develop a general theory of the dynamics of turbulent flows and the motion of granular materials?</i> 能否发展关于湍流动力学和颗粒材料运动学的综合理论? .....	陆夕云, 林建忠	300
Q44	<i>Are there stable high-atomic-number elements?</i> 是否存在稳定的高原子序数原子核? .....	梁午阳, 许甫荣	304
	是否存在稳定的高原子序数原子? ——狄拉克材料中的原子塌缩现象 .....	刘海文, 王慧超, 王健	307
Q45	<i>Is superfluidity possible in a solid? If so, how?</i> 受限水的超流特性 .....	王奉超, 孙长庆, 吴恒安	311
Q46	<i>What is the structure of water?</i> 液态水的结构研究进展 .....	邓耿, 尉志武	314
Q47	<i>What is the nature of glassy state?</i> 玻璃态物质的本质 .....	张勤远, 王伟超, 姜中宏	321

Q48	<i>Are there limits to rational chemical synthesis?</i> 是否存在合理化学合成的极限?.....	许正双, 叶涛	328
Q49	<i>What is the ultimate efficiency of photovoltaic cells?</i> 太阳能电池的最终效率探讨 .....	钱志成, 戴晓, 史鹏, 尹万健, 姜艳辉, 邹贵付	337
	太阳能电池效率分析 .....	魏世源, 孙伟海, 陈志坚, 肖立新	344
Q50	<i>Will fusion always be the energy source of the future?</i> 核聚变将最终成为未来的能源吗?.....	陈永静, 葛智刚, 刘丽乐	350
Q51	<i>What drives the solar magnetic cycle?</i> 驱动太阳磁周期的原因是什么?.....	姜杰, 汪景琇, 张敬华, 毕少兰	353
Q52	<i>How do planets form?</i> 行星形成 .....	叶永烜	367
Q53	<i>What causes ice ages?</i> 触发和驱动第四纪冰期的机制是什么?.....	鹿化煜, 王珏	370
Q54	<i>What causes reversals in Earth's magnetic field?</i> 地磁倒转的原因是什么? .....	李力刚	378
Q55	<i>Are there earthquake precursors that can lead to useful predictions?</i> 从“是否存在有助于预报的地震前兆”说起 .....	马瑾	383
	“是否存在有助于预报的地震前兆”的讨论 .....	刘杰, 张国民	389
Q56	<i>Does life exist only on the Earth?</i> 生命是否只存在于地球? .....	林杨挺	396
Q57	<i>What is the origin of homochirality in nature?</i> 自然界中同型手性起源的难题 .....	何裕建	403
Q58	<i>Can we predict how proteins will fold?</i> 蛋白折叠预测 .....	马彬广	411
Q59	<i>How many proteins are there in humans?</i> 人体内有多少种蛋白质 .....	王美林, 张润东, 苏丹	421
Q60	<i>How do proteins find their partners?</i> 蛋白质翻译后修饰在蛋白质-蛋白质相互作用中的调控作用 .....	侯天云, 陆小鹏, 朱卫国	426

## 下 册

Q61	<i>How many forms of cell death are there?</i> 细胞命运之终点——细胞死亡 .....	李容, 王新文, 杨晓辉, 高山	437
Q62	<i>What keeps intracellular traffic running smoothly?</i> 细胞内膜系统的跨膜分子运输 .....	曹禹, 夏莹	442
Q63	<i>What enables cellular components to copy themselves independent of DNA?</i> 细胞器不依赖于 DNA 的复制——中心体自主复制解读 .....	梁前进	446
Q64	<i>What roles do different forms of RNA play in genome function?</i> 非编码 RNA 研究概述 .....	陈亮, 单革	460

Q65	<i>What role do telomeres and centromeres play in genome function?</i> 端粒与着丝粒——染色体上的高度重复序列区域.....	樊起傅, 付钰	468
Q66	<i>Why are some genomes really big and others quite compact?</i> 浅析基因组大小的进化机制.....	石米娟, 程莹寅, 张婉婷, 夏晓勤	478
Q67	<i>What is all that "junk" doing in our genomes?</i> “垃圾”DNA 的奥秘.....	张常, 王新文, 王亮, 高山	486
Q68	<i>How much will new technologies lower the cost of sequencing?</i> 新技术能使 DNA 测序的成本降低多少?.....	石铁流	492
Q69	<i>How do organs and whole organisms know when to stop growing?</i> 动物体尺寸的控制机理.....	马启旺, 张婷, 左为	496
Q70	<i>How can genome changes other than mutations be inherited?</i> 表观遗传信息的跨代传递.....	徐鹏, 于文强	501
	精子中表观遗传机制及环境对父源表观遗传影响概述.....	李文静, 王司清, 蓝斐	508
	表观遗传学修饰的遗传模式及其研究进展.....	沈双, 路则明, 金景姬, 蔡勇	517
Q71	<i>How is asymmetry determined in the embryo?</i> 哺乳动物早期胚胎第一次细胞谱系形成.....	聂晓庆, 卢绪坤, 李 磊	526
Q72	<i>How do limbs, fins, and faces develop and evolve?</i> 脊椎动物附肢发育及进化机制的研究进展.....	祁飞燕, 施 鹏	534
	高通量测序解析哺乳动物飞行进化的分子机制.....	王喆, 张树义	541
	人类的面孔如何从鱼形祖先演化而来?.....	朱幼安, 朱敏	544
	鳍与四肢如何发育和演化?.....	张晓娟, 朱要军, 丁苗, 桂建芳	554
Q73	<i>What triggers puberty?</i> 是什么引发了青春期?.....	苏彦捷, 姜玮丽, 魏祺, 尚思源	565
Q74	<i>Are stem cells at the heart of all cancers?</i> 癌干细胞是肿瘤生长和复发的根源.....	窦骏	575
	干细胞处于所有癌症的中心吗?.....	朱晓梅, 敖平	582
Q75	<i>Is cancer susceptible to immune control?</i> 利用免疫系统控制癌症.....	罗灿, 韩为东	587
Q76	<i>Can cancers be controlled rather than cured?</i> 抗癌持久战: 彻底治愈还是带癌生存.....	韩雅婷, 王玺	593
Q77	<i>Is inflammation a major factor in all chronic diseases?</i> NLRP3 炎症小体: 2 型糖尿病治疗的新靶点?.....	姜华, 周荣斌	598
Q78	<i>How do prion diseases work?</i> 朊病毒疾病将如何发展?.....	张会侠, 师润, 李朝阳	604
Q79	<i>How much do vertebrates depend on the innate immune system to fight infection?</i> 病原体感染的天然免疫防御效应.....	刘光伟	613
Q80	<i>Does immunologic memory require chronic exposure to antigens?</i> 记忆性 T 细胞形成与维持是否依赖于抗原刺激的相关研究进展.....	任甲子, 李斌	622

Q81	<i>Why doesn't a pregnant woman reject her fetus?</i> 母-胎免疫耐受研究进展.....	王松存, 杜美蓉, 李大金	627
Q82	<i>What synchronizes an organism's circadian clocks?</i> 哺乳动物生物钟同步化的研究进展.....	秦曦明, 郭金虎	632
	人体与哺乳动物的生物钟同步机制及疾病.....	黄海鹏, 傅肃能	640
Q83	<i>How do migrating birds find their way?</i> 迁徙鸟类如何发现其迁移路线?.....	熊鹰, 蔡天龙, 雷富民	649
Q84	<i>Why do we sleep?</i> 人为什么要睡眠?.....	韩芳	659
Q85	<i>Why do we dream?</i> 梦的奇幻与真实.....	郭菲, 陈祉妍	665
Q86	<i>Why are there critical periods for language learning?</i> 为什么存在语言学习的关键期?.....	李甦, 杨玉芳	674
Q87	<i>Do pheromones influence human behavior?</i> 信息素影响人类行为吗?.....	叶玉婷, 陈科璞, 周雯	680
Q88	<i>How do general anesthetics work?</i> 氯胺酮的临床作用与机制研究进展.....	曹帅, 王韵	685
Q89	<i>What causes schizophrenia?</i> 精神分裂症内表型.....	黄佳, 陈楚侨	691
Q90	<i>What causes autism?</i> 孤独谱系障碍病因研究的现况.....	郑毅	699
Q91	<i>To what extent can we stave off Alzheimer's?</i> 早期综合干预有助延缓阿尔茨海默症的发生.....	赫荣乔	704
Q92	<i>What is the biological basis of addiction?</i> 脑内 LTCCs 在药物成瘾形成过程中的调控机制.....	金书博, 沈芳, 段颖, 李鸣, 隋南	711
Q93	<i>Is morality hardwired into the brain?</i> 大脑是如何建立道德观念的: 道德的认知神经机制研究进展与展望.....	王云强, 郭本禹	718
Q94	<i>What are the limits of learning by machines?</i> 突破通过机器进行学习的极限.....	史忠植	727
Q95	<i>How much of personality is genetic?</i> 人格有多少是遗传的: 已有的证据与未来的取向.....	周明洁, 陈杰, 王力, 张建新	737
Q96	<i>What is the biological root of sexual orientation?</i> 什么是性倾向的生物学根源?.....	沈政	742
Q97	<i>Will there ever be a tree of life that systematists can agree on?</i> 系统生物学家最终能得到完全一致的生命之树吗?.....	鲁丽敏, 陈之端, 路安民	757
Q98	<i>How many species are there on Earth?</i> 地球上有多少物种?.....	蒋志刚	762

Q99	<i>What is a species?</i> 什么是物种: 进化连续性与分类间断性冲突的产物.....	卢宝荣, 王哲	768
Q100	<i>Why does lateral transfer occur in so many species and how?</i> 水平基因转移及其发生机制.....	黄锦岭	775
Q101	<i>Who was LUCA (the last universal common ancestor)?</i> 共同祖先的遗传物质、细胞特性与代谢特征的探讨.....	谢娟娟, 王凤平	779
Q102	<i>How did flowers evolve?</i> 花是如何起源的?.....	山红艳, 孔宏智	787
Q103	<i>How do plants make cell walls?</i> 植物细胞壁研究与生物质改造利用.....	黄成, 李来庚	798
Q104	<i>How is plant growth controlled?</i> 植物的发育: 从细胞到个体.....	罗林杰, 曾健, 田朝霞, 赵忠	805
Q105	<i>Why aren't all plants immune to all diseases?</i> 植物与病原物的相互作用及协同进化.....	张丹丹, 邱金龙	813
Q106	<i>What is the basis of variation in stress tolerance in plants?</i> 高等植物如何适应环境变化.....	陈凡	819
Q107	<i>What caused mass extinctions?</i> 什么引起五次生物大灭绝?.....	沈树忠, 张华	825
Q108	<i>Can we prevent extinction?</i> 能否避免物种灭绝?.....	蒋志刚	841
Q109	<i>Why were some dinosaurs so large?</i> 恐龙巨型化研究进展.....	徐星, 赵祺	846
Q110	<i>How will ecosystems respond to global warming?</i> 生态系统对全球变暖的响应..... 粮食作物产量对气候变暖的响应.....	方精云, 朱江玲, 石岳 黄耀	851 855
Q111	<i>How many kinds of humans coexisted in the recent past, and how did they relate?</i> 过去十万年里的四种人及其间的关系.....	吴新智, 崔娅铭	861
Q112	<i>What gave rise to modern human behavior?</i> “现代人类行为是如何形成的?”: 心理学的视角.....	白学军, 李卉	867
Q113	<i>What are the roots of human culture?</i> 文化从何而来?.....	喻丰, 彭凯平	870
Q114	<i>What are the evolutionary roots of language and music?</i> 语言与音乐进化的起源.....	蒋存梅, 张清芳	875
Q115	<i>What are human races, and how did they develop?</i> 人种及其演变.....	吴新智, 崔娅铭	884
Q116	<i>Why do some countries grow and others stagnate?</i> 为什么有些国家向前发展, 而有些国家发展停滞.....	余振	893
Q117	<i>What impact do large government deficits have on a country's interest rates and economic growth rate?</i> 政府高额赤字对国家利益和经济增长速度有什么影响?.....	龚锋, 余锦亮	900

- Q118 *Are political and economic freedom closely tied?*  
政治与经济自由密切相关吗?..... 靳继东, 张馨月 911
- Q119 *Why has poverty increased and life expectancy declined in sub-Saharan Africa?*  
为什么改变撒哈拉以南非洲贫困状态的努力几乎全部失败?..... 周瑾艳 917
- Q120 *Is there a simple test for determining whether an elliptic curve has an infinite number of rational solutions?*  
椭圆曲线的有理数解..... 陈亦飞 922
- Q121 *Can a Hodge cycle be written as a sum of algebraic cycles?*  
Hodge 猜想..... 付保华 929
- Q122 *Will mathematicians unleash the power of the Navier-Stokes equations?*  
数学家将会最终给出 Navier-Stokes 方程的解吗?..... 张平 933
- Q123 *Does Poincaré's test identify spheres in four-dimensional space?*  
四维光滑 Poincaré 猜测..... 邓少雄, 朱熹平 939
- Q124 *Do mathematically interesting zero-value solutions of the Riemann zeta function all have the form  $a + bi$ ?*  
黎曼  $\zeta$ -函数的零点都有  $\frac{1}{2} + it$  的形式吗?..... 葛力明, 薛博卿 942
- Q125 *Does the standard model of particle physics rest on solid mathematical foundations?*  
粒子物理标准模型是否建立在坚固的数学基础上?..... 陈斌 949

# 宇宙是由什么构成的?

张鹏杰

上海交通大学物理与天文系

## ■ 摘要

通过星系、星系团,乃至宇宙整体的动力学行为,天文学家发现宇宙中绝大部分物质是不发光的,即暗的。其中暗物质占宇宙中总物质和能量的27%,暗能量占68%,而普通物质(即粒子物理标准模型粒子)只占5%。暗物质和暗能量是当代天文学和物理学的重大发现,是主要研究前沿。我们回顾暗物质和暗能量的发现历史、已知属性和待解决的问题。

宇宙是由什么构成的?这是一个古老而深刻的问题。20世纪70年代,粒子物理标准模型建立。人类见过的所有粒子,尽数纳入囊中。然而到世纪之交的时候,天文学却令人震惊地发现:粒子物理标准模型只能涵盖宇宙中5%的物质和能量。宇宙中占95%的,是暗物质(27%)和暗能量(68%)<sup>[1]</sup>。

暗物质、暗能量,顾名思义,不发光,不是粒子物理标准模型所能涵盖的普通物质。它们就分布在我们周围,但是与普通物质几乎没有重力之外的相互作用,因此从来没有在任何物理实验中显形,也从来没有在太阳系中露面。然而在十万光年量级的星系尺度上,暗物质的力量展现无遗,它们产生的引力束缚住千亿颗以几百公里每秒速度飞奔的恒星,使得星系不至于分崩离析;在百万光年量级的星系团尺度上,暗物质产生的引力竟然能束缚住以上千公里每秒速度狂奔的庞大星系,甚至扭曲时空,把遥远星系发出的光拉成巨大的光弧。

但是,在千万光年及更大的尺度上,暗能量才是宇宙演化的主宰。暗能量是一种神秘的未知场,具有负的压强,状态方程(压强与能量的比值)约等于-1,因此产生排斥性的重力,在宇宙中近乎均匀分布。它产生的斥力使得宇宙的膨胀越来越快。

暗物质、暗能量颠覆了人类对宇宙构成的认知,揭示了未知物理规律的冰山一角,预示着新的物理学革命的到来。但是,目前所有的证据均来自天文学。

20世纪30年代,天文学家兹威基(Fritz Zwicky)发现后发座(Coma)星系团中的成员星系运动得很快。要束缚住这些星系,就要求星系团中存在大量看不见的物质(即“暗物质”)来提供足够大的引力。60年代以来,女天文学家鲁宾(Vera Rubin)等人<sup>[2]</sup>发现旋涡星系中恒星围绕星系中