

Twenty-four Suggestions for Scientific Thinking

科学思辨二十四则

叶高翔 / 著



名师讲堂 MASTER'S LECTURES

07

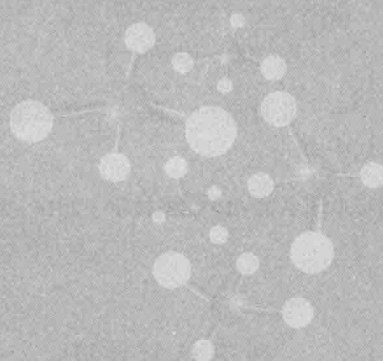


商务印书馆
The Commercial Press

Twenty-four Suggestions for Scientific Thinking

科学思辨二十四则

叶高翔 / 著



名师讲堂 MASTER'S LECTURES

07



商務印書館
The Commercial Press

图书在版编目(CIP)数据

科学思辨二十四则 / 叶高翔著. —北京: 商务印书馆,
2015

(名师讲堂)

ISBN 978 - 7 - 100 - 10694 - 8

I. ①科… II. ①叶… III. ①科学思维—普及读物
IV. ①B804-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 193154 号

所有权利保留。

未经许可,不得以任何方式使用。

科学思辨二十四则

叶高翔 著

商务印书馆出版
(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)
商务印书馆发行
北京瑞古冠中印刷厂印刷
ISBN 978 - 7 - 100 - 10694 - 8

2015 年 1 月第 1 版

开本 787×1092 1/16

2015 年 1 月北京第 1 次印刷

印张 9 3/4

定价: 36.00 元

致 谢

撰写本书，得到了国家自然科学基金委（项目批准号：11074215；11374082）、教育部高等学校博士学科点专项科研基金（项目批准号：20100101110005）以及浙江大学的资助，作者在此表示衷心感谢！

序

人类科学事业已有数千年的历史。从早期的经验科学到现代精确科学,研究内容由简单归纳实验规律逐渐过渡到理论推演客观真理,研究范围也从地球表面向地下和茫茫太空不断延伸,可谓惊天动地,硕果累累。与此同时,科学精神随之形成并不断完善,成为人类文明的重要组成部分。科学还与哲学、科幻、宗教、艺术、文学、心理等学科或领域关联交叉,相互辉映,并在最高境界达到贯通归一。

本书试图对人类科学探索过程中的诸多科学方法论问题、科学精神以及与其他诸多学科(如艺术、心理学、哲学等)的相互交叉与渗透进行探讨,将其作为一种文化进行一般性阐述,淡化人文社科与自然科学之间的边界痕迹,实现科学与人文社科的完美结合。

对客观真理的感悟和对自然科学美妙的欣赏,不仅仅属于少数科学工作者,而应该同时属于全体大众。因此,本书尝试综合文、理两种表达方式,在文字叙述和实物照片旁证的同时,巧妙采用各种富有新意的曲线、表格、公式、范式等理工科表现手法,以达到生动、简洁、美感、一目了然的效果,使读者不知不觉览胜于科学与人文之间,品味宇宙哲理,优化科学思辨。

在大学从事物理学教学科研三十余年,受益于师长指点、参加中外

学者合作研究、在浙江大学物理系与盛正卯教授合作教学、与液面镀膜实验室师生共同科研以及与历届大学生讨论共勉，本书实为作者多年所学之感悟。盼能以此为交流平台，与广大读者分享教学科研体会及成果，达到引导路径、领悟规律、感受科学美妙之目的，以助读者事业与人生。

叶高翔

2013 年秋于杭州

目 录

引 言	001
-----------	-----

第一章 从经验科学到精确科学	005
----------------------	-----

第一则 定性描述 经验言传	005
---------------	-----

第二则 精确定量 数学推演	009
---------------	-----

第二章 科学探索的严密逻辑	018
---------------------	-----

第三则 孤立、片面、静止看问题	018
-----------------	-----

第四则 “守株待兔”与归纳推理	021
-----------------	-----

第五则 演绎推理:演绎未经证明的假说	025
--------------------	-----

第六则 客观、精确定量、任意可重复	027
-------------------	-----

第七则 科学理论为何与真理齐名?	030
------------------	-----

第三章 科学否定与创新	036
-------------------	-----

第八则 检验客观真理的唯一标准	036
-----------------	-----

第九则 科学否定与创新同步	038
---------------	-----

第十则 宇宙奥秘是不可穷尽的?	046
-----------------	-----

第十一则 科学创新难度的变迁	048
----------------	-----

第十二则 思想是第一位的!	049
---------------	-----

第十三则 今天学习 明天创新	052
----------------	-----

第四章 科学与科学哲学	059
-------------------	-----

第十四则 宇宙客观真理的化身	059
----------------	-----

第十五则 科学假说:智慧灵感闪烁之光	063
--------------------	-----

第十六则 有限与无限的相对性	066
----------------	-----

第十七则 从定性到定量的飞跃	068
----------------	-----

第十八则 两种机理——决定论与概率论	073
--------------------	-----

第十九则 线性与非线性思维	082
---------------	-----

第二十则 时空对称与守恒律	088
---------------	-----

第五章 客观真理与主观心理096

第二十一则 心诚则灵 097

第二十二则 主观认知客观的相对性 103

第六章 科学与艺术107

第二十三则 最高境界:多学科相互贯通 107

第二十四则 真理与美的关联 122

结束语:人类文明奔向何方?125

附 录139

讨论题144

参考文献146

引言

大约在 137 亿年前，一个温度极高、密度极大的奇点发生了猛烈的爆炸，其前沿迅速向四周推进，宇宙开始了它漫长而壮丽的生涯。这便是著名的宇宙大爆炸理论所描绘的宇宙诞生及演化图景。

在二十世纪之前，人们一般认为宇宙在空间和时间上是无限的。现在，由宇宙大爆炸理论可以推断：今天宇宙的年龄应该在 137 亿年左右；宇宙空间也是有限的，其视界半径约为 137 亿光年数量级。如此结论立即导致两个问题：

(1) 既然宇宙在空间上是有限的，那么宇宙边缘外面是什么？回答比较抽象：虽然宇宙空间有限，但宇宙四维时空弯曲，当我们身处宇宙之中，没有绝对中心，也不存在边缘，于是，也就没有“边缘外面是什么”那样的问题了；宇宙始于奇点的大爆炸，现在依然处在膨胀过程之中。假如我们能跳出宇宙四维时空看问题，宇宙膨胀前沿尚未到达之处可谓宇宙边缘之外，那里没有物质，因此也没有时间和空间。

(2) 从逻辑上讲，既然宇宙有开始那一刻，它的存在必然在时间上是有限的，即有始必有终。那么大爆炸以前的宇宙是什么样的？这个高温高密度的奇点又是谁放在那里的？未来它又将如何结束这一切呢？回答比较简单：迄今尚不知晓。

大爆炸以后，宇宙的范围不断扩大，物质密度和温度逐渐降低；宇宙中的物质疏密分布发生变化，其中的一个个巨大宇宙尘埃不断旋转和凝聚，逐渐形成了一个星系，如银河系、仙女座星系、猎户座星系等。在整个宇宙中，

类似的星系超过几十亿个。我们所在的银河系是一个不断旋转、直径约为 10 万光年的扁平圆盘形星座，内有类似太阳那样的恒星超过 4000 亿颗。

银河系中有一片宇宙尘埃不断旋转，其形貌逐渐扁平圆盘化，通过万有引力的凝聚作用，圆盘的中间核心部分演化为高温发光的太阳，其余部分逐渐冷却凝聚成一颗颗绕太阳公转的行星，于是太阳自转、各行星自转以及绕太阳公转的角动量方向基本一致，这便是太阳系的形成过程。由此可见，当年牛顿推测的所谓“第一推动力”实际上是不存在的。

太阳系直径约 10 光小时，而恒星太阳的直径约等于 139.2 万千米，其中每时每刻均在发生猛烈的核聚变爆炸，由此产生巨大的能量；通过电磁波、宇宙高能射线等方式向四周辐射能量。太阳温度极高，其中心温度约 1.5×10^7 开尔文，表面温度约 6000 开尔文。太阳系共有八大行星，按照与太阳的空间距离排列，分别是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。

大约在 39 亿年前，不断降温的地球形成其最初的永久性地壳；至 35 亿年前，地球上的大气圈、海水开始形成。今天的地球是一颗半径约为 6400 千米的蓝色星球，其表面五分之四被蓝色的海洋覆盖，她无疑是浩瀚宇宙中最美丽的一颗星球！

地球表面附近有数百千米厚的大气层，其中主要成分是氮气和氧气。地球表面的平均温度约为 15°C ，从而使地球表面可存在液态水。地球绕自身主轴自转一周需要 24 小时，计为一天；自转导致地球面对太阳部分不断变化，形成白天和黑夜；在自转的同时，地球还环绕太阳公转，公转一周为一年，形成春夏秋冬四季。距地球约 38 万千米处有一颗直径为 3476 千米的天然卫星，称之为月亮，它绕自身主轴自转和围绕地球公转的周期相等，计 27.32 天。

在太阳系的八大行星中，唯有地球显得非常特别，因为地球上具有生命和智慧人类，生机盎然，文明发达。生命存在和文明进步需要诸多苛刻条件，如环境温度合适，存在液态水，大气中要有适量氧气，源源不断的能量供给等。恰巧，我们所在的地球满足所有条件，作为地球人，应该感到幸运啊！

地球上生命的诞生经历了一个漫长的时期。当地球温度逐渐下降至一个合适范围,经过极其复杂的过程,由非生命物质逐渐进化形成生命系统。一般认为,生命的起源可分为四个阶段:

第一阶段:从无机小分子转变为有机小分子。在原始地球的条件下,液态水的存在十分重要,那时的大气中含有氢、氨、甲烷、二氧化碳、一氧化碳和水蒸气等。通过日照海水的蒸发、水蒸气在高空冷却后的下雨以及空中电闪雷鸣等,激发大气中不同气体间发生化学反应,于是地球上开始出现包括组成蛋白质所需的各种氨基酸在内的新有机化合物。

第二阶段:由氨基酸、核苷酸等有机小分子凝聚形成原始的蛋白质、核酸等生物大分子。

第三阶段:由生物大分子逐渐组合成有机多分子体系(或称团聚体),表现出合成、分解、生长、生殖等生命现象,具有明显的新陈代谢功能。

第四阶段:有机多分子体系演变为原始生命。这是生命起源过程中最复杂、最具有决定意义的阶段。不过,迄今科学家们还不能在实验室里验证这一过程。

由于深厚的海水能阻挡或衰减来自太阳的高能射线,原始生命最早应该诞生在海洋深处,并不断进化成低等动物。另一方面,随着大气中各种化学成分的变化,臭氧层、电离层、地磁场等不断形成并共同作用,能有效阻挡、衰减来自太阳的高能射线辐照,或改变高能粒子的入射轨迹,于是陆地上的植物开始生长并不断进化。植物绿叶中的叶绿素可接收来自太阳的中低能光子(即可见光),通过与水等的相互作用,将光子能量转化为碳水化合物,这便是所谓的“光合作用”,它为地球上所有动物的繁衍进化提供了丰富的食物资源。随后,海洋深处的低等动物逐渐向陆地迁徙,陆地上开始热闹起来了,动物与植物之间以及动物与动物、植物与植物之间相互依赖,相互竞争,不断进化,新陈代谢,形成一条完整微妙的生物链。此外,不同动植物之间相互依赖与竞争,遵循“优胜劣汰”原则,导致各类动物以不同速率向前进化。

在漫长的物种进化过程中,众多低等动物不断向高层次进化,以适应周围环境的变迁。在此过程中,生活在大约1400万年前的类人猿的进化尤为出众,依靠其独特的体型、结构、大脑等优越条件,逐渐进化成地球上唯一的高等动物——古人类,他们生活在距今大约数百万年前的岁月里。具有高度意识和智慧的现代人类是古人类在大自然中不断进化的产物,他们逐渐承担起地球文明的重任。

大约一万年前,地球文明之火悄悄燃起。在文明初期,人们通过对大自然的不断探索,不断实践,掌握了初步的自然规律,如火的利用、简单工具制造、原始农业兴起等。与此同时,人类的语言也不断丰富发达,并逐渐出现了文字。到了一定发展阶段以后,学科开始形成,诸如宗教、迷信、天文、几何、哲学、艺术、文学、科学等。另一方面,学科之间的壁垒也随之逐渐加深,边界开始清晰,相互之间的关联及影响不断减小。到了现阶段文明的高度发展时期,各学科又开始融合交叉,连成一体。这是一个属于全人类的庞大学科体系,即“地球文明”。

人类的科学事业已经有数千年的历史,从古代我们的祖先利用固相反应原理烧制陶器和瓷器,到现代的超大规模集成电路、核能、宇宙航行等,从早期朴素的自然规律归纳,到现代深奥科学理论的演绎,人类的科学事业经历了一个从经验科学到精确科学的渐进过程,具有独特的发展规律、思维方式和研究方法,惊天动地,硕果累累。与此同时,伴随着人类科学事业的发展,科学精神也随之产生并不断完善,它是地球人类的文化瑰宝,辉煌灿烂,是人类文明的重要组成部分。此外,科学与其他诸多学科有着内在而微妙的联系,自然规律以不同形式隐含在哲学、科幻、宗教、艺术、文学、心理学等学科或领域之中,相互交叉与融合。

自然科学研究的成果具有物质属性;同时,自然科学研究所揭示的宇宙奥秘、思维方式、研究方法、表现形式等还是人类共同的精神财富,可供一般人们直接欣赏、领悟和借鉴,犹如音乐、书画、诗歌、影视一般。

第一章 从经验科学到精确科学

人类的科学事业大致可以分成两个阶段：第一个阶段是公元前 3000 年到十五世纪，我们把它称为经验科学阶段；第二个阶段是从十五世纪到现在，科学发展进入了一个突飞猛进的阶段，称之为精确科学阶段。

第一则 定性描述 经验言传

在经验科学阶段，人类的科学事业处于初级发展时期，科学发展主要依靠人的“经验”。经验从实践中来，一般以定性为特征，即很少采用精确数字描述，基本不用数学，至多也只用初等数学。对于实践经验，意会容易，精确数学表述较难，定量推演一般不易采纳。在古代，经验传授主要通过人与人之间（如长辈与晚辈，先生与弟子，师傅与徒弟等）的共同劳动来实现，具有归纳推理特征。

经验科学范式：因为前人通过 A 过程得到 B 结果，所以后人也可操作 A 过程得到 B 结果。且 A 过程和 B 结果均为定性或半定量描述，带有主观痕迹。

在经验科学阶段，人们采用初等算术和直观几何学，在陶瓷、冶炼、火药、

造纸、古代医术、几何光学、静磁学、静电学、天文学、声学、原子分子学等方面取得了较大突破。

人类材料科学的发展是从陶瓷的烧制开始的。约八千至九千年前，中国就已经知道用高温烧制某些泥土可获得具有一定机械强度的固体器皿，即陶器，其原理即为现代科学中的所谓“固相反应”。约两千年前，中国人开始烧制真正意义上的瓷器。汉代以后中国的景德镇地区，已有各种各样的瓷器生产。在十七和十八世纪，中国成为世界瓷都，通过海路和陆路，中国瓷器畅销全世界，成为世界性的商品，对人类文明发展起到了积极的推动作用。制备陶瓷的工艺不断进步，代代相传。尽管如此，那时的中国人并不知道陶瓷中各种矿物质的精确含量，也不清楚精确改变矿物质相对含量对产品的颜色、机械强度、耐高温、热胀冷缩等物理特性的影响。所以，陶器和瓷器的发明和发展是经验科学的典型成果。

在古代中国，中医学的发展也带有鲜明的经验科学特征。几千年来，一代又一代中医学家用各类草药和各种方法为中国及周边国家人民医治了大量疾病，积累了丰富的经验。像战国时期成编的《黄帝内经》，明朝时期成书的《本草纲目》等均为典型的经验科学论著。中医的明显疗效使人们确信此类经验方法的有效性，并在过去几千年的历史长河中不断发展和传承。

某一药方告知患者在煎药时需要“温度适中”、“文火煎药”、“加水一升”（其实在古代中国，不同地方，对“升”的量化定义可相差一倍以上！）；到药行抓药时，只见药剂师凭借手感，将几两或几钱的某种草药分成数堆；中医学家可用草药治病，但不必知道草药中的具体化学成分，也不知道同种名称但产地不同的草药中化学成分的变化；当老中医将手中的狗皮膏药放在明火上烘烤后贴在病人患处时，老中医并不精确知道此时那张狗皮膏药的实际温度，因此他也不知道药分子从皮肤向内扩散的速度和浓度衰减曲线等。诸如此类的治病方法均带有鲜明的经验特征。

又如明代李时珍发明疟疾寒热治疗方法：“用青蒿一把，加水二升，捣汁

服”。此处的“一把”究竟是多少重量呢？其误差显而易见。现在，青蒿素已走向全世界，其独特明显疗效已被现代科学反复证明。在《三国志》中记载的“刮骨疗毒”以及在《三国演义》中记载的华佗要为曹操开颅医治头痛顽疾的故事，是作为经验科学范畴的中医学对人类外科医学的最早贡献。

应该指出：作为经验科学典型之一的早期中医学不但是成功的，而且有些先进的理念是现代医学需要学习和借鉴的。中医学的最大特点是强调整体，强调联系，强调平衡；采用“医者意也”、“整体调理”、“阴阳平衡”、“以柔克刚”、“以毒攻毒”等有效治疗方法。例如中医学非常注重人体的整体调理，提高整体免疫力；中医学强调以整体治疗效果为主，只要能改善病人的生活质量、延长寿命，哪怕“人瘤共存”也是成效。类似高超的诸多中医治疗理念现在已被整个世界所证实和接受，与现代医学中的影像拍摄、精确物理和化学检测、化学和生物制药、化疗、放疗、手术等治疗方法形成了良好的互补。

古代中医学强调人的患病与周围环境等相关联，具有时间延续性或周期性，如“天人合一”、“冬病夏治”、“治未病”等观点便是典型例子。早在《黄帝内经》中就提出了“不治已病治未病”的防病养生谋略，春秋战国时期名医扁鹊、唐代大医学家孙思邈等均对此有精辟概述。

事实上，绝大多数慢性病均有一个逐步发展过程，古代中医学“治未病”的理念如图 1—1 所示：正常人出生以后没有慢性病，到达一定年龄 T_1 岁时，某些慢性病的病情参数开始上升和波动，并逐渐量变与积累，但此时属于临界期，生活、工作等尚能依旧与自理；到达年龄 T_2 岁时，质变开始，代表慢性病严重程度的病情参数急剧上升，此时已重病缠身，需要即刻治疗。“治未病”理念告诫人们：我们的上策应该是治未病，即在 T_1 岁前积极预防患病，在 T_1 岁与 T_2 岁之间应密切关注病兆变化，小病慎防早治，延缓和控制病情量变； T_2 岁以后治病不仅痛苦且为时已晚，当然还是要积极医治的；要培养良好的生活和工作习惯（包括饮食习惯、营养平衡、劳逸结合、修身养性、心理调节等），适当进行预防性治疗，从而增加 T_1 和 T_2 的值，延长人

的健康周期，改善生活质量。现代医学证明：良好的生活态度及方式，辅加先进预防措施，完全可使绝大多数人的 T_1 和 T_2 值显著增加！

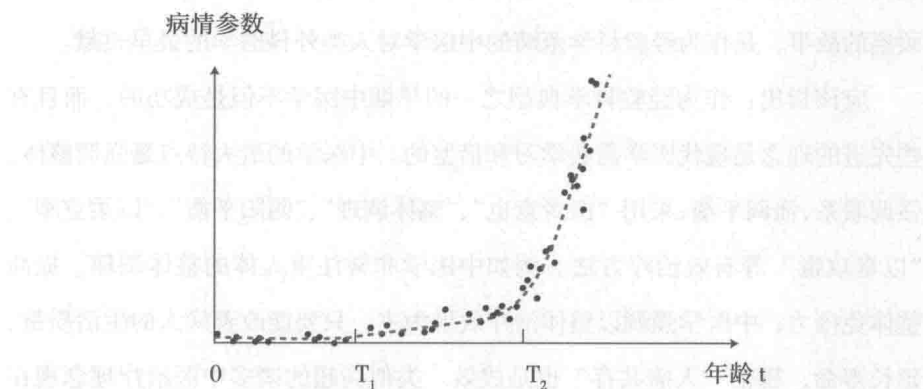


图 1—1 各类慢性病病情参数随人年龄 t 的一般发展过程

在中国古代有一种腌制食品的传统工艺，如咸鸭蛋的腌制方法：将新鲜鸭蛋放在掺有干净泥土的盐水里，盐分子便会通过蛋壳扩散到蛋内。我们的先辈代代相传咸鸭蛋的腌制方法，知道夏天腌制咸鸭蛋较快，而冬天则较慢，但他们不必知道夏天和冬天的精确温度差是多少，也不必知道水中食盐浓度的精确值，更不会去研究温度、食盐浓度与腌制时间的函数关系，因为这样的经验工艺对腌制咸鸭蛋来说已经够用了。现在人们知道，中国古代的食品腌制工艺、狗皮膏药对关节炎的治疗原理等均是后来半导体物理中“原子分子扩散原理”的最早应用，而扩散原理偏微分方程的建立和精确求解则是在牛顿和莱布尼茨发明微积分理论之后完成的。

其他方面，如古代的造纸术、航海、青铜冶炼、蚕丝养殖等均带有鲜明的经验科学色彩。

经验科学一般只注重结果，而不太关注深层原因，即只注重“怎么样”而不关注“为何如此”。因此，经验科学有其很大的局限性。此外，由于经验科学以定性的“经验”为基础，对整个研究过程的推理、判断、相互交流、成果记录及传承等主要依靠文字或粗略的数字，直接导致以下三个问题：

(1) 由于“经验”往往带有一定的主观性，故以经验为基础的推理或判断失误概率较大，容易导致错误的结果。

例如在陶瓷的烧制过程中，如果仅仅凭肉眼观察炉火颜色判断炉温，整个烧制过程的升温、保温和降温过程的控制仅仅凭经验进行，那么，由于温度变化曲线无法重复，所获产品的成品率不会很高，其质量重复性和一致性也一定很低。

再如，夏日炎炎，当我们经太阳暴晒后，来到树荫底下，感到凉快；但当我们从空调房间出来，来到同样的树荫底下，我们会感到很热。因为人对温度的感觉不仅仅取决于其绝对值的大小，还要受温度正负变化量的影响。

(2) 定性描述导致精确重复实验难度增大，传承成为难题，导致大量优秀经验和技術失传。

例如要完美复制马王堆出土的两千多年前的编钟，使我们人耳听不出原件和复制品的发音区别，那是十分困难的。类似像越王勾践的青铜剑、精美的宋瓷、北京故宫太和殿中的金砖等同样很难被完美复制。

(3) 在经验科学阶段，定性的归纳推理成为主要推理范式。由于没有采用精确的高等数学工具，若要通过精确数学演绎获得本质性推论几乎不可能。

第二则 精确定量 数学推演

十六世纪以后，人类希望更多地了解自然，更深刻地揭示自然规律，于是，诞生了以微积分为代表的现代高等数学。从此，人们可以更加精确地研究自然现象，研究快速变化和不规则的系统。随后，客观、精确定量、任意可重复的诸多学科，如物理学、化学、材料科学、生命科学、地球科学等，迅猛发展，人类的科学事业进入了精确科学阶段。