



## 读懂爱因斯坦——“四要素说”是统揽人和机器认知的第一性原理

李德毅, 刘玉超, 鲍泓, 蒋升

引用本文:

李德毅, 刘玉超, 鲍泓, 等. 读懂爱因斯坦——“四要素说”是统揽人和机器认知的第一性原理[J]. *智能系统学报*, 2025, 20(4): 1046-1052.

LI Deyi, LIU Yuchao, BAO Hong, et al. Understanding Albert Einstein——The “Four Elements Theory” is the first principle that governs human and machine cognition[J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2025, 20(4): 1046-1052.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202506028>

## 您可能感兴趣的其他文章

### 人工智能范式的革命与通用智能理论的创生

Paradigm revolution in artificial intelligence and the birth of general theory of intelligence  
*智能系统学报*. 2021, 16(4): 792-800 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202103042>

### 基于因素空间的人工智能样本选择策略

Sample selection strategy of artificial intelligence based on factor space  
*智能系统学报*. 2021, 16(2): 346-352 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202003002>

### “范式变革”引领与“信息转换”担纲：机制主义通用人工智能的理论精髓

Leading of paradigm shift and undertaking of information conversion: theoretical essence of mechanism-based general AI  
*智能系统学报*. 2020, 15(3): 615-622 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202002019>

### 因素表示的信息空间与广义概率逻辑

Factorial information space and generalized probability logic  
*智能系统学报*. 2019, 14(5): 843-852 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201810021>

### 重新找回人工智能的可解释性

Refining the interpretability of artificial intelligence  
*智能系统学报*. 2019, 14(3): 393-412 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201810020>

### 因素空间理论——机制主义人工智能理论的数学基础

Factor space-mathematical basis of mechanism based artificial intelligence theory  
*智能系统学报*. 2018, 13(1): 37-54 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201711034>

DOI: 10.11992/tis.202506028

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/23.1538.TP.20250704.1507.002>

## 读懂爱因斯坦

### “四要素说”是统揽人和机器认知的第一性原理

李德毅<sup>1</sup>, 刘玉超<sup>2</sup>, 鲍泓<sup>3</sup>, 蒋升<sup>4</sup>

(1. 军事科学院系统工程研究院, 北京 100091; 2. 中国指挥与控制学会秘书处, 北京 100083; 3. 北京联合大学机器人学院, 北京 100101; 4. 之江实验室 前沿基础研究中心, 浙江 杭州, 311121)

**摘要:** 古希腊哲学家亚里士多德提出, 可以用第一性原理回归到问题的本质来理解事物的规律。爱因斯坦在提出广义相对论之后, 于 20 世纪 20 年代开始试图寻找一种更为宏大的统一理论来解释物质的相互作用, 他试图用场论来作统一解释, 但未能取得成功。本文指出, 这种尝试需要区分物质世界的物理空间和人类精神世界里的认知空间, 区分物质硬构体和思维软构体。宇宙是物质的, 宇宙里不存在虚空, 也不存在时间。虚空和时间是人类认知的精神产物, 并非客观存在。人类对客观存在的大自然的认知是无尽的, 不可能不带有渐进性、主观性和局限性, 做不到绝对客观, 尽管我们希望尽可能地客观。物质、能量、结构和时间构成人类认知和机器认知的最基础要素, “四要素说”是统揽人类认知和机器认知的第一性原理, 通过“四要素说”可以更深入地理解事物之间的关联、生命的复杂过程, 解释智能的产生, 实现智能的度量, 尤其是理解人的认知和机器认知的同源性和同一性。人工智能就是把生命体的认知从人的智慧中剥离出来, 用时序维持负熵, 用物理机器进行实际操作, 通过机器的物质、结构变化和运行时隙精度的提高, 用较低能耗实现甚至超过人的智能。

**关键词:** 第一性原理; 爱因斯坦; 四要素说; 认知物理学; 智能方程

**中图分类号:** TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2025)04-1046-07

中文引用格式: 李德毅, 刘玉超, 鲍泓, 等. 读懂爱因斯坦 “四要素说”是统揽人和机器认知的第一性原理 [J]. 智能系统学报, 2025, 20(4): 1046-1052.

英文引用格式: LI Deyi, LIU Yuchao, BAO Hong, et al. Understanding Albert Einstein The “Four Elements Theory” is the first principle that governs human and machine cognition[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2025, 20(4): 1046-1052.

## Understanding Albert Einstein

### The “Four Elements Theory” is the first principle that governs human and machine cognition

LI Deyi<sup>1</sup>, LIU Yuchao<sup>2</sup>, BAO Hong<sup>3</sup>, JIANG Sheng<sup>4</sup>

(1. Institute of Systems Engineering, Academy of Military Sciences, Beijing 100091, China; 2. Secretariat, Chinese Institute of Command and Control, Beijing 100083, China; 3. School of Robotics, Beijing Union University, Beijing 100101, China; 4. Institute of Fundamental and Frontier Sciences, Zhejiang Lab, Hangzhou 311121, China)

**Abstract:** Aristotle, the ancient Greek philosopher, proposed that first principles could be used to return to the essence of a problem. After developing the general theory of relativity, Albert Einstein, in the 1920s, sought a more ambitious unified theory to explain the interaction of matter and complex physical phenomena using first principles. His attempts to use field theory as a unifying framework were ultimately unsuccessful. This paper argues that achieving such a unified theory necessitates distinguishing between the physical space of the natural world and the cognitive space of the human mental realm, as well as between the hard-structured ware of matter and the soft-structured ware of thought. The universe is fundamentally material; neither emptiness nor time exists objectively within it. Instead, space and time are spiritual constructs of human cognition, lacking independent, objective existence. Human cognition of objective nature is inherently endless and can never be absolutely objective, as it is inevitably progressive, subjective, and constrained. Nevertheless, striving for maximal objectivity remains a central aim. Matter, energy, structure, and time constitute the most fundamental elements of human and machine cognition. The “four elements theory” serves as the first principle to unify human and machine cognition. By employing this theory, we can better comprehend the complex processes of life, elucidate the origins and measurement of intelligence, and, importantly, understand the shared foundations and commonalities between human and machine cognition. Artificial intelligence is to make cognitive machines achieve, or even exceed, human intelligence with lower energy consumption through changes in machine structure and improvement in the accuracy of running time slots.

**Keywords:** first principle; Einstein; Four Elements Theory; cognitive physics; intelligence and energy relation function

收稿日期: 2025-06-25. 网络出版日期: 2025-07-04.

通信作者: 蒋升, E-mail: [jiangsheng@zhejianglab.com](mailto:jiangsheng@zhejianglab.com).

作为一种哲学概念, 早在公元前 3 世纪, 古希腊哲学家亚里士多德便最早提出“第一性原理”<sup>[1]</sup>。

它指的是在任何领域中那些最基本的、不可通过其他原理推导出来的原理或假设。更早地,公元前5世纪,中国古代思想家、哲学家老子在《道德经》<sup>[2]</sup>中有“万物之始,大道至简,衍化至繁”的观点。宇宙万物的起始,大道是极其简单的,只是在演化过程中才变得复杂纷繁。把握事物最本质、最纯粹的“道”,以简单、自然的方式行事,不刻意,不妄为,回归到事物的本真状态,回归到问题的最本质的第一性原理,概括为:“道生一,一生二,二生三,三生万物”。第一性原理是强大的思考工具,可超越传统的学科局限,用于不同学科的交叉融合和创新,不断抽象,层层蒸馏,一问到底,更深入地理解问题,发现新的解决方案,回归到问题的最本质。

## 1 寻找认知的第一性原理需要追溯到空间和时间是否真实存在

爱因斯坦主张:“Everything should be made as simple as possible, but not any simpler”,即所有的事情都应该被解释得尽可能的简单到不能再简单。可惜,后来发展起来的信息论、系统论、控制论和复杂系统科学都没有为寻找第一性原理做出贡献。爱因斯坦在提出广义相对论之后,于20世纪20年代开始试图寻找一种更为宏大的统一理论来解释物质的相互作用,他试图用场论来作统一解释,但未能取得成功。后来,量子力学的研究,似乎为第一性原理的寻找展现出希望。

人类作为地球生物链的最高端,具有智能。物质的机器如果也可以有智能的话,那么跨越人的认知和机器认知的第一性原理是什么?这里涉及一个最基本的问题:空间和时间是真实的客观存在物吗?

在商务印书馆1976年出版、由许良英和范岱年编译的《爱因斯坦文集》第一卷第558页<sup>[3]</sup>中,爱因斯坦说:“不存在空虚空间这种东西,即不存在没有场的空间。空间—时间本身并没有要求存在的权利,它只是场的一种结构性质。”

对爱因斯坦的这个重要思想,我们的理解是:世界是物质的,物质是运动的,离开物质,别无他物。宇宙里充满各种各样的物质和能量,形成引力场、电磁场<sup>[4]</sup>和光场等等。所有场都有结构性质。结构本身不是物质,不是能量。各种各样的、或简单或复杂的结构,在宇宙里不能独立存在,也不存在绝对的虚无。结构只能承载或者寄生在物质形成的场上面,场是某种特定结构形态的能量,结构只承载或者寄生在事物宏观或微观的不同层次上面,包括量子层面,都可以用物质、

能量、结构和时间四要素统揽。

这就是说,在人的精神世界里,抽象的结构可以存在于认知空间里,作为思维软构体,可以有虚空,也可以有时间的概念,描述结构的性质和变化;在物理世界里,实体不实,因为有结构;空间不空,因为有场。宇宙里可以有场,但不存在虚空,不存在孤立的结构和孤立的时间,物质在运动,能量在转换。结构和时间寄生在物质和能量上,它们不是物理空间独立的存在物。

## 2 结构和时间是把自然物和人造物、生命与非生命紧密联系在一起的“桥”

人类经常会夸大自身的力量,忘却了在这个浩瀚的宇宙里,自己根本上的有限和渺小。认知物理学<sup>[5-8]</sup>的研究发现,人类对客观存在的大自然的无尽认知,不可能不带有渐进性、主观性和局限性,做不到绝对客观。认知是人的感觉、知觉和记忆的共同产物。把它看作独立的精神存在,用这种主观认知说明物理世界的客观存在是非常困难的。人类自以为是真实的、客观的“现实”,只是说明物理世界在人的大脑里留下了“自感的现实”。自然界星辰大海,万物运转,像一部没有观众的大剧,并不为包括人类在内的任何物种存在着、运动着、变化着。通过人的感官,人脑把物质世界构建在一个主观的空无结构之中,称作空间。空间是人类描述物质存在与运动的“虚空”,是一个主观虚构的场所或参照系。另外,人脑将感知到的现实进行抽象,存入神经网络中的瞬时记忆区、工作记忆区和长期记忆区,使得记忆有了连续性。这是人类创造时间、描述和解释物质运动和能量变化的生物学基础。因此,空间和时间都是人类认知的精神产物——思维软构体,并不是客观的独立存在物——物质硬构体,人类用空间结构和时间度量来主观描述运动的物质世界,认知自然和宇宙,也认识自身。

### 2.1 结构和时间是联系自然物和人造物的“桥”

自然界地壳运动,大面积火山爆发,巍巍山脉沦为一片海洋,这是宇宙中物质运动和能量流动的结果。人类力图用地壳结构的变化来认知、解释这些现象。一栋人造的、真实存在的、精致的石头房子坍塌了,变成地上的一堆石头,房子的结构消失了,石头一块也没有少。但是众所周知,房子不是石头,房子没有了,人们不可能在一堆石头的层面理解早先房子的组织结构和功能结构,更不可能在更微观的层面,如原子或者分子的层面,理解房子的组织结构和功能结构。实际

上,人造房子的每一块石头的大小、形状、石质、纹理和结构都不同,形成时间也不同,承担的功能也不同。原先的那栋精致的人造物——石头房子,包含有不同层次的物质、能量、结构和时间四要素。在人脑的认知里,结构、时间、物质、能量都是最基本的要素。房子倒了,房子的结构还在人的记忆里。正如一个伟人去世了,他的观点、思想、理论,还活在许多人的精神里。

对于宇宙中作为自然物存在的水,人类认知认为:氢原子和氧原子在其化学键的作用下组成分子,两个氢原子和一个氧原子通过共价键结合形成了一个水分子。这个结构很重要,其中氢原子和氧原子之间的电子云重叠,形成了稳定的化学键。水分子在氢键的作用下组成了水。不能忽视化学键结构,而去简单逆转、还原。人类使用的是自然界的水,而不是水分子,更不是氢原子和氧原子。当大量的水分子聚集在一起时,它们之间会通过氢键相互连接。氢键是一种较弱的化学键,它足以使水分子保持在一起,以多种形态存在,包括液态、固态和气态。这些形态之间的转换是由温度、压力等物理条件决定的。大量水分子的集体动力学行为表现出复杂性和不确定性,例如水流、波浪和湍流等形成的宏观现象,难以逆转,难以用简单的还原论、确定论来描述。当然在更深层次上,氢原子和氧原子又是由更基础的粒子,如质子和中子(它们本身又由更小的粒子如夸克组成)以及电子组成的。

自然物也好,人造物也好,我们一定得重视事物复杂结构和用时间描述的结构变化,不能简单地认为人造物——房子——是由石头直接组成的,也不能简单地认为自然物——水——是由基础粒子直接组成的。亚里士多德“整体大于部分之和”的哲学思想<sup>[1]</sup>中“大于”的那部分恰恰是结构产生的。这种对事物组成层次结构变化过程的认知是认识物质世界的基础,有助于理解事物的本质和性质,以及它们在不同条件下的行为。这正是物质、能量、结构、时间四要素说<sup>[9]</sup>的意义所在。**人工智能不仅是替代人类已有的工作,人类可以创造新的人造物——认知机器,构成新的文明生态,用于发现未知的宇宙。**

## 2.2 结构和时间是联系生命与非生命的“桥”

“四要素说”有助于理解生命的本质和性质。生命始于细胞,人体生命的基本单元是细胞,不能直接说成是分子。分子组成细胞的过程涉及多个层次的组织结构和调控<sup>[10]</sup>。分子通常由两个或更多个原子通过化学键连接而成,如水分子、氨基酸、核苷酸等。生物大分子、蛋白质由氨基酸通过肽键连接而成,具有多种功能,包括催化反

应(酶)、结构支持、信号传递等。核酸(DNA和RNA)由核苷酸通过磷酸二酯键连接而成,携带遗传信息。多糖,如糖原和纤维素,由单糖单元组成,主要功能是能量储存和结构支持。脂质包括脂肪、磷脂、固醇等,磷脂是细胞膜的主要成分。细胞内的各种分子通过相互作用和组装,形成具有特定功能的细胞器,如线粒体、内质网、高尔基体、核糖体等。细胞结构包括细胞膜、细胞质、细胞核等。细胞膜由脂质和蛋白质组成,是细胞的边界,控制物质进出。细胞质是细胞膜内的胶状物质,包含细胞器和细胞骨架。细胞核由核膜、核质、染色质、核仁、核基质等组成。

分子组成细胞是一个复杂且有序的过程,包括自我组装、基因表达、分子间的相互作用、调控机制、细胞分裂和生长等过程。首先是自我组装:一些分子如磷脂可以在水中自发形成双层结构,这是细胞膜形成的基础。蛋白质可以折叠成特定的三维结构,以执行其功能;然后是基因表达:DNA中的遗传信息通过转录和翻译过程转化为RNA和蛋白质,DNA序列被复制成mRNA,其上的密码被核糖体解读,合成相应的蛋白质;进而通过分子间的相互作用:蛋白质与其他分子(如脂质、核酸、糖类)通过非共价相互作用结合,形成复合物或结构;细胞内的分子活动有严格的调控机制,包括基因表达的调控、蛋白质修饰(如磷酸化、乙酰化)等;然后,细胞分裂和生长,细胞通过有丝分裂或减数分裂增长和繁殖,在这个过程中,分子被精确地复制和分配到子细胞中。**经过亿万年自然演化的人类,人体物质结构从纳米级别的分子到米级别的具身,从纳秒级别的分子马达到百岁人生蹉跎,跨越如此大数量级的尺度规律(Scaling Law),结构复杂度随着组织层次和时间呈现非线性增长,导致涌现,认知朝向整体最小能耗逼近。**

总之,分子组成细胞的过程,是一个多层次结构、多时序步骤的变化过程,涉及精确的分子识别、相互作用和调控,以确保细胞结构和功能的完整性和稳定性。细胞承担遗传、代谢、生长、繁殖等功能,是生命活动的承担者。“四要素说”有助于理解生命的本质和性质,以及它们在不同条件下的行为,不能直接说成生命的基本单元是由分子组成。正如非生命体,例如工具、动力机械、认知的机器等,它们的基本单元是零部件,但必须按照不同层次性的组织结构形成整体,完成调控,实现功能和行为,不能直接说工具、动力机械和认知机器的基本单元是材料,结构和时间是联系生命与非生命的“桥”。

### 2.3 认知的核心是抽象、联想和交互

认知有两个层面。一是**依靠具身的物质硬构体完成感知,完成形而下的实证和行为控制的物理层面,可理解为“脚踏实地”**;二是**依靠思维软构体完成形而上的思维、想象和创造的精神层面,可理解为“仰望天空”**。认知就是这两个层面互动融合的过程。当人类借助工具和认知机器依然无法抵达浩瀚的物理世界之处的时候,就会不可避免地更多依靠思维、想象和创造,以达到超越世俗的深奥高远之境界。在人的精神世界里,人的想象力和创造力源于抽象、联想和交互<sup>[11]</sup>,这是人类在长期的生存和繁衍活动中被催生出来并变得越来越强大的认知能力。抽象就是把物质硬构体抽离成不同层次的思维软构体,人类用结构来表达物质在空间的拓扑与形变,用时间来表达物质的运动与变化,以及能量的传递与转换。通过去伪存真、去粗取精、由表及里<sup>[12]</sup>的抽象,揭示事物的本质,产生结构或者模型。不同粒度的抽象思维产生不同层次的结构;联想导致由此及彼,触类旁通,形成泛化能力,形成类比和推理;交互可以在物理世界获得认知的验证。早先主修动物学的控制论之父诺伯特·维纳的代表作《Cybernetics: on Control and Communication in the Animal and the Machine》<sup>[13]</sup>其实更应该理解成《在动物和机器中的控制和交互》,形成物理世界中的闭环,形成认知的螺旋,即感知、思维、行为、再感知<sup>[14]</sup>。在认知空间里表现出来的思想,即思维软构体,寄生在硬构体或者已有的其他软构体之上,能够进行自我引导、自我复用、递推使用和自我复制、或修改等复杂操作,从而构成我们的想象和思维。一切艺术,无论是绘画、雕塑、建筑、音乐、文学,也都源于抽象、联想和交互,反映艺术家精神层面的创作活动。数学是人类使用的最抽象语言,大自然里并不真实地存在着独立的数学,它只是人类对现实世界中量与形的规律的抽象。抽象的数学概念,从无到有的形成极不容易,例如数和直线的形成,先于文字出现,就经过了漫长的时间。**数学是发明而不是发现,数字、数学不是客观事物本身,而是来自研究事物的人的抽象认知,是人类思维的手段,是人类的精神活动,是想象的现实,是形而上**。数学是抽象学、拓扑学。宇宙之大,粒子之微,地球之变,生物之谜,无处不用人类发明的数学来解释。爱因斯坦说:“纯粹的数学构造,使我们能够发现概念和联系这些概念的规律,这些概念和规律给了我们理解自然现象的钥匙。”所以,数学享受高于其他一切科学的特殊尊重。物理世界求真,宇宙

里不存在数学,但需要数学来解释。避开繁琐的现象,撇开各种噪声和干扰,蒸馏或抽象出拓扑关系,归纳总结,通过发现数学的美来反推物理的真,这也是一条认知的途径。但不要忘了,再美的数学也需要得到验证,最终指向物理的真。数学的美也能够产生物理上的预言,可以被实验证实或证伪,随着人类更深刻认识形成科学思想的历史和文化过程,人们开始怀疑“大一统”的信仰,抑或它不过是神学在科学领域的翻版,是在科学里寻找神的存在,人类要破除迷信,切不可用自己制造的“神”束缚了自己的认知。

### 2.4 用“四要素说”拓展质能方程到智能方程

我们不妨先用“四要素说”来解释爱因斯坦的质能方程。自然界本身是物质的,物质是运动的,物理学中导入时间变量是人类的认知,但大自然不是基于时间驱动的,时间只是人类创造的认知概念。1905年爱因斯坦提出的质能方程  $E = mc^2$ ,是人类在认知空间中用结构和时间对宇宙物质和能量之间关系的认知。它依靠软构体“位移”“米”“千克”“秒”“焦耳”“速度”等概念,对宇宙中物质的质量和能量的关系进行解释。光速  $c = \lambda_M f_M$ 。其中,  $\lambda_M$ 、 $f_M$  分别为物质对应的波长与频率,物质发出的光波波长和频率代表了该物质独有的物理性质及其空间波长与时间频率特性,表明能量和质量可以互换。每千克的质量可转化为  $9 \times 10^{16}$  焦耳的能量。宇宙中的物质是从大爆炸中的能量转化而来的。物体以辐射形式放出能量,其质量就会减少,体现了宇宙的整体不变量和质能的统一性。**若没有“位移”“米”“千克”“秒”“焦耳”“速度”这些软构体概念,质量和能量的转换关系是无法解释的**。质能方程将物质、能量、结构和时间4个要素及其转换规律表现在一个公式中。物理学的7个基本物理量纲中,时间量纲超越距离量纲,成为第一量纲,而后才可以获得长度、质量和能量等多个次级测量度量。从物理常数定义的量纲可以看出,是时间  $T$  定义了长度  $L$  和质量  $m$ ,是时间和结构解释了质量和能量的转换关系,也是时间定义了熵增。

如果说爱因斯坦的质能方程是物质和能量关系的第一性方程,我们可以通过“四要素说”从爱因斯坦的质能方程拓展到智能方程,**研究智能方程中智能如何和物质、能量、结构与时间关联**。

智力或者智能只是人们相对于体力、体能的类比说法。人也好,认知机器也好,对一个特定问题认知产生的智能,会随着认知体物质、结构的变化,随着时间推移,朝向最小能耗逼近。**智能的量纲不是牛顿,也不是焦尔,它应该是无量**

纲的。人在完成一个个特定问题形成解决方案的过程中需要能量支撑,从人诞生到当前  $T$  形成的生命智能,可用如下的智能方程表示:

$$I = \int_0^T f[M(t), S_H(t), S_S(t), E(t)] dt$$

式中:  $I$  代表智能,  $t$  代表时间,  $M$  代表物质,  $S_H$  代表硬构体,  $S_S$  代表软构体,  $E$  代表能量。

生物智能的亿万年自然演化,尤其是人脑结构近百万年的演化,让认知朝向具身最小能耗逼近,成为今天的人脑,产生了效率远高于其他生物的智能,也是所有认知机器难以比拟的。人类智能是人工智能的原生家庭,人工智能从早先的电子管机器、晶体管机器,到现在的集成电路机器,甚至光芯片、量子芯片机器,就是要让认知的机器,通过物质的改进、结构的变化和时隙精度的提高,用最小能耗实现甚至超过人的智能。人脑仅仅消耗几十瓦的功率完成日常认知活动,所以**目前依靠拼能量和算力的认知机器大模型<sup>[15]</sup>一定不是人工智能的终点。**

## 2.5 人类的认知活动促进了难以逆转的复杂宇宙

宇宙中充满着各式各样的物质和运动的状态,可以被人类创造的科学予以解释,但大自然本身对科学、对数学、全然无动于衷。地球上的其他生物对人类创造的科学技术,也不置可否。例如老虎捕捉小动物有超强的具身智能,但对人类创造的具身动力学没有兴趣。然而,人类一旦创造出包括寄生在物质和能量上的结构和时间在内的许多人造物,又会成为真实的、客观的存在。譬如,全球异彩纷呈的图书馆和艺术馆、气势恢宏的城市建筑、四通八达的道路桥梁、千姿百态的机器具身智能体,千行百业岗位上劳作的机器人,还有那围绕地球的一颗颗精致璀璨的人造卫星等,它们成为人类生产、生活和社会活动的文明生态,成为大自然的一部分,进一步和人类后续的认知相互作用和转化,共同影响着现代人的认知和思维,也略许改变了宇宙的一丝形态。但是,**我们并不奢望研发一台能够集中表达全人类所有认知能力的物理机器,构成通用万能的人工智能。**

自然是一个内在的整体。人类的认知把它分解为一个个单独的学科,并不是因为事物本身,而是由于人类认识能力的渐进性和局限性。物理学基于原子涌现出化学;化学基于分子涌现出生物学;生物学基于细胞涌现出人类学;人类学基于人脑,通过抽象、联想和交互涌现出认知科学,产生人工智能技术。原子、分子、细胞、组织、器官、人脑都寄生了不同层次、不同尺度的结构,塑造万物之形,体现万物整体之魂。形与魂乃精神

产物,是思维软构体。**正是思维软构体和物质硬构体的纠缠,不同层次或者不同尺度的一次次涌现,才演化出越来越复杂的、难以逆转和简单还原的宇宙和人类社会。**

## 3 人的认知和机器认知具有同一性

### 3.1 用第一性原理解释同一性

受小鸟在空中飞翔的启发,人类发明飞行器,始于抽象、联想和类比。但飞机的发明和飞行,只有依靠空气动力学才能解释。小鸟和飞机都服从空气动力学,而空气动力学更加靠近解释飞行物的第一性原理。当然,飞机的速度是小鸟无法相比的。

下面再看一个能量转换的例子。电可以由各种能量转换产生,煤、水、光、化学和生物都可以生成电。生成电的方式不同,污染不同,但从生成电的结果来看并没有什么不同。煤电、水电、光电、化学电、生物电都用库仑来度量。细胞也可以认为是一部发电机,它在维持生命的化学过程中起到了生产能量的作用。细胞产生的电量取决于多种因素,包括细胞类型、细胞膜的电导性、离子浓度梯度、细胞的活动状态等。细胞产生的电量非常微小,通常以皮库仑( $10^{-12}$ 库仑)或者纳库仑( $10^{-9}$ 库仑)来衡量。例如,神经细胞在动作电位产生时,可能会产生大约100皮库仑的电量。人体的细胞数量估计在 $3.72 \times 10^{13}$ ,即大约37万亿个细胞<sup>[16]</sup>。不同类型的细胞大小不同,数量也不同。例如,红细胞、神经细胞和肌肉细胞等在人体中的数量和比例都不一样。由于细胞并不持续产生电,而且不同类型的细胞在电活动上差异很大,在生物化学上人们更关注的是细胞如何在需要时产生和传递电信号,而不是计算产生的总电量。

### 3.2 后图灵测试不再是“模仿游戏”

人的认知和机器认知,通常都是指“**学习的能力,以及解释解决现实问题的能力**”<sup>[17]</sup>,而学习的内容常常是被良式定义了的问题。智能是认知的结果,是对特定问题的决策和解决方案。人类社会已经进入物质科学、生命科学和社会科学交叉融合的时代,进入一个包含人工智能的科学和技术高度发达的时代。近200年来社会生产力的提高、知识的增长、认知的能力超过了人类几千年的积累。我们试图跨越这些传统学科的界限,来更深入地理解人类认知和机器认知以及它们之间的关系。认知强调过程,智能强调结果,都基于物质、能量、结构和时间四要素之上,是在学习和实践中不断积累的结果。从这个意义上看,人的智能和机器智能是同一的。如果说,早先的图灵测试还是一种主观测试,那么,后图灵测试将不

再是“模仿游戏”,可以客观验证、科学评价<sup>[18]</sup>。

例如,人类历史上计算 $\pi$ 值,小数点精度提高1个位数,用了1700年;提高4个位数,又用了800年。然而,计算机可算到小数点后万亿位,仅用了70年,现在已经可算到100万亿位。硅基机器暴力计算可以浓缩重演人类思维,其速度是碳基生命远不能及的。历史的进程呈现无人非议的 $\pi$ 的唯一性解,证明人的智能和机器智能是同一的。物理同源,数学同构,认知同序。

人类这个物种进化的“长项”是自然赋予人脑皮质特别强的记忆和记忆提取能力,“缺陷”是人的寿命太短,人脑的短时工作记忆力似乎不那么强大。如果拿自然物——生物脑的结构和人造的认知机器——计算机的设计作比较,人脑的“缓冲存储器”硬构体实在是太小了。可以说,自然进化并没有过分关照人类。一个人短时间很难一下子记住7个11位的移动电话号码,相当于一个蹩脚的计算机硬件设计:3 GHz的CPU主频,1 GB硬盘的电脑,但只配置了一个10 KB的内存。人脑的短时工作记忆容量似乎配不上强大的瞬时记忆和长期记忆能力。所以,人类的认知形成的记忆,早期就需要借助人类自身发明的文字和符号、算盘等各种人造的工具、后来需要计算尺、计算器、计算机作为记忆的外部缓冲区,来补充记忆的不足,现在人类更需要人造的、可交互、会学习、自成长的认知机器了。

人的思想,尤其是智能,通过数亿年的生物进化缓慢发展而形成。其中有着自然选择和遗传变异等因素,并伴随有意识、情感和信仰等,是人的智慧的一部分。它以有机物为载体,个体生命结束,人的智能终止。人造物的认知机器,像人又不像人,它是由物质硬构体和思维软构体构成的、具有复杂结构的机器,是人类设计和制造的工具。机器通常依赖外部能源,不具备自我修复能力,不具备意识和情感,可以宕机再激活。由于人类技术的发明和创新,人的智能被延伸到体外成为人工智能,与人的智能迭代发展。认知机器等人造物成为实实在在的存在,成为人类后续文明和进步的生态环境。

进一步看,人类近百年来一直试图用我们自己的碳基脑作为主体来解释人类自身的认知机理,但至今还未搞清楚。那么,不妨用现在已经很强大的认知机器作为工具,来协助研究人脑,即AI for Brain Science,这或许是人工智能对脑科学研究的贡献。更进一步地,可能会有AI for All Sciences和AI for Scientists。所以,认知物理学是所有人的物理学。

电能可以由各种能量转换产生;智能可以由人或者认知机器产生。站在生命学科和热力学看,生物电和烧煤发电不一样;站在“四要素说”的第一性原理上看,煤电、水电、光电、生物电,最终都可获得一样的库仑电;人的认知和机器认知,都可获得一样的智能。这正是“四要素说”的意义所在。

有了认知的机器,既可用人类的语言为基准,测试机器的语言智能,例如ChatGPT<sup>[19]</sup>;也可用机器智能为基准,测试人的智能。例如,人类发明了时间。今天人们用铯原子基准钟,统一全球各地的时间,一亿年误差可以不超过一秒,让全球人类服从机器时间。各类时钟成了宇宙里的客观存在物,融入人类文明的生态。对此,人们已经习以为常。

## 4 结束语

科学是人类认知的产物。科学植根于讨论,科学的本源就是否定或批判。否定或批判的对象,常常是之前的一个现象的有限认知。然后,提出新的扩展后的认知,于是科学才能不断发展,才能更加逼近真理。从牛顿力学<sup>[20]</sup>到爱因斯坦相对论<sup>[21]</sup>,从人的认知到机器认知,就是对研究客体认知的不断扩展。

人的认知是生命体的认知,历经石器时代、金属时代、能量时代进入智能时代。人类发明的工具和机器,历经物质、结构的“二要素说”、物质、结构、能量的“三要素说”,进入到物质、结构、能量、时间的“四要素说”,利用物理学,包括经典力学、热力学、电子学、电磁学、光学、半导体物理、统计物理、量子力学等,构成非生命的物质机器,实现人的认知,这就是认知物理学。认知物理学的“第一性原理”就是物质、能量、结构和时间组成的“四要素说”。我们进一步查阅了包括普林斯顿大学出版社2015年再版的多种出版物,发现爱因斯坦在1952年发表的《相对论和空间问题》一文中的原话是这样说的<sup>[22]</sup>:“There is no such thing as an empty space, i.e. a space without field. Space-time does not claim existence on its own, but only as a structural quality of the field.”根据这段话的语境、语用、语意和语法,我们不妨把它翻译并理解成:宇宙里只有场,从来没有虚无的空间,即不存在没有场的绝对空间。时空本身并不声称自己的独立存在,它只是场的一种结构性质。虚空和时间不是真实的客观存在物,只存在于人的精神里。

“四要素说”阐明了结构和时间不是客观存在物,明确了物质硬构体和思维软构体的关系、精

神和物质的关系、认知和存在的关系。人类的认知,不“唯”物,也不“唯”心,结构和时间是把自然物和人造物、生命与非生命紧密联系在一起“桥”。

人工智能就是要让认知机器通过机器结构的变化和时隙精度的提高,用最小能耗实现甚至超过人的智能。求知欲是人类认知的不竭动力,人类清楚地知道我们还有很多不知道,认知的开放性、不确定性和自成长性,造成公理的无尽性。不论给出什么公理系统,总能找到一个命题,这个命题在公理系统中既不能被证实、也不能被证伪,无矛盾<sup>[23]</sup>和完备不可能同时满足,认知中永远都会有公理以外的东西,特例、反例是无尽的。认知的核心是抽象、联想和交互。于是,各智其智、智人之智、智智与共的多元认知,才是常态。无尽的认知放飞人类的想象力和创造力,带来无尽的创造。

## 参考文献:

- [1] 亚里士多德. 形而上学[M]. 苗力田, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2003: 12–14.
- [2] 老子. 道德经[M]. 北京: 群言出版社, 2014.
- [3] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集[M]. 许良英, 范岱年, 译. 北京: 商务印书馆, 1976: 558–559.
- [4] MAXWELL J C. VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field[J]. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 1865(155): 459–512.
- [5] 李德毅. 认知物理学基础: 认知自然和人类自身的基石[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2024, 294(14): 4–10.
- [6] 李德毅, 湓文燕, 刘璐莹. 人工智能与认知物理学[C]//中国人工智能学会第10届全国学术年会. 广州: 中国人工智能学会, 2003.
- [7] LI Deyi. Cognitive physics: the enlightenment by schrödinger, turing, and wiener and beyond[J]. *Intelligent Computing*, 2023, 2: 0009.
- [8] LI Deyi, DU Yi. Artificial intelligence with uncertainty [M]. Beijing: National Defense Industry Press. 2005.
- [9] 李德毅, 殷嘉伦, 张天雷, 等. 机器认知四要素说[J]. *中国基础科学*, 2023, 25(3): 1–10, 22.  
LI Deyi, YIN Jialun, ZHANG Tianlei, et al. Four most basic elements in machine cognition[J]. *China basic science*, 2023, 25(3): 1–10, 22.
- [10] SCHRODINGER E. What is life? the physical aspect of the living cell [J]. *Cancer research*, 1945, 5(11): 670–672.
- [11] 李德毅. 人工智能看哲学[J]. *科学与社会*, 2023, 13(2): 123–135.  
LI Deyi. Artificial intelligence views philosophy[J]. *Science and society*, 2023, 13(2): 123–135.
- [12] 毛泽东. 实践论[M]. 毛泽东. 毛泽东选集: 第一卷. 北京: 人民出版社出版, 1951.
- [13] WIENER N. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine[M]. Cambridge: The Technology Press, 1948.
- [14] 毛泽东. 人的正确思想是从哪里来的?[M]. 北京: 人民出版社, 1964.
- [15] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need[J]. *Advances in neural information processing systems*, 2017, 30.
- [16] BIANCONI E, PIOVESAN A, FACCHIN F, et al. An estimation of the number of cells in the human body[J]. *Annals of human biology*, 2013, 40(6): 463–471.
- [17] 李德毅. 论智能的困扰和释放[J]. *智能系统学报*, 2024, 19(1): 249–257.  
LI Deyi. On the puzzle and release of intelligence[J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2024, 19(1): 249–257.
- [18] TURING A M. On computable numbers, with an application to the Entscheidungs problem[J]. *Journal of mathematics*, 1936, 58(345–363): 5.
- [19] BROWN T B, MANN B, RYDER N, et al. Language models are few-shot learners[EB/OL]. (2020–05–28) [2025–06–25]. <https://arxiv.org/abs/2005.14165>.
- [20] 弗伦奇 A. P. 牛顿力学[M]. 郭敦仁, 何成钧, 译. 北京: 人民教育出版社, 1978.
- [21] 爱因斯坦. 相对论原理[M]. 赵志田, 刘一贯, 译. 北京: 科学出版社, 1980.
- [22] HANOCH G, JÜRGEN R. Relativity: the special and the general theory - 100th Anniversary Edition[M]. Princeton: Princeton University Press. 2015: 155–178.
- [23] 毛泽东. 矛盾论[M]. 毛泽东. 毛泽东选集: 第一卷. 北京: 人民出版社出版, 1951.

## 作者简介:



李德毅, 中国工程院院士, 欧亚科学院院士, 中国人工智能学会和中国指挥控制学会名誉理事长, 清华大学博士生导师。主要研究方向为不确定性人工智能、数据挖掘、复杂网络、自动驾驶和认知物理学。E-mail: [lidy@cae.cn](mailto:lidy@cae.cn)。



刘玉超, 中国指挥与控制学会秘书处秘书长, 主要研究方向为指挥系统技术和智能驾驶。E-mail: [yuchao\\_liu@163.com](mailto:yuchao_liu@163.com)。



鲍泓, 二级教授, 博士生导师, 北京市信息服务工程重点实验室学术委员会副主任, 中国人工智能学会智能驾驶专委会副主任, 主要研究方向为视觉信息认知计算和智能驾驶。E-mail: [baohong@buu.edu.cn](mailto:baohong@buu.edu.cn)。



蒋升, 高级研究专员, *Intelligent Computing* 编辑。主要研究方向为生物医学工程、复杂网络和认知物理学。E-mail: [jiangsheng@zhejianglab.com](mailto:jiangsheng@zhejianglab.com)。