

AGI 时代的物理学、信息科学 与时空研究重新对账

——物理时间、信息不可逆与被经历时间的层级边界

Reckoning with Physics, Information Science, and Spacetime Studies in the Age of AGI

Physical Time, Informational Irreversibility, and the Boundary of Lived Time

作者 子君赋 出品 文明跃迁研究组

独立发布版 V1.3 维度跃迁与跨学科因果关系修订

面向物理学、时频计量、信息论、计算热力学、量子信息、分布式系统、时间哲学与未来技术研究共同体独立审查；区分可测量的时空、可排序的事件、可保存的信息、被经历的生命历程与被承担的意义，并以可失败命题检验 AGI 时代的跨层边界。

正文修订 2026 年 10 月 10 日 作者 子君赋 出品 文明跃迁研究组

摘要

AGI 时代的时空争论经常在同一个词中混入七类对象：物理时空、计量时间、运行时序、因果历史、信息记录、生命历程与意义时空。由此产生一系列跨层误推：从相对同时性推出价值任意，从能耗与停机推出有限生命，从熵增推出文明衰败，从信息保存推出主体保存，从量子不可克隆推出人格不可复制，从远端自治需要推出机器主权。本文面向物理学、信息科学、时频计量、计算系统、时间哲学与未来技术研究共同体，提出可独立审查的七层时空—历史结构、六种不可逆以及信息—语义—体验—意义四层边界。文章在相对论与现行 SI 计量框架内区分原时、坐标时、同步与被经历时间；在随机热力学与计算热力学中区分统计方向、逻辑擦除、工程恢复、外部因果、关系历史与生命历程；在香农信息论与语义信息研究之间区分传输量、真假条件、主体体验和规范重量；并以分布式逻辑时钟、备份与分叉、量子不可克隆、远端在场及地火延迟为压力测试。本文严格限定“发生不被追溯取消”：它是关于真实历程不能被后来删除、改名、遗忘或复制体出现改写为从未发生的哲学—历史命题，不是宇宙永恒、信息永存、意义守恒或死后续存的物理定律。文明跃迁在此提供最低哲学根基：意义为根而来源可以不同；有限性不是意义唯一来源，却是已知人类意义进入现实并承担不可逆后果的重要结构；对人，时空是生命，对当前高级 AI，时空首先是参数、次序、位置与资源条件；运行受限不自动成为有限存在；能力、承认、资格、权利、权力、主权与意义支配权不得互推。本文不让物理学替体验与意义作裁决，也不让哲学借用物理术语逃避事实约束，并提出最强反驳、命题失效条件和跨学科研究议程。本文进一步将本学科职责前移至目标与目的生成：从利己为先转向利他为先的利己，使真实利害相关者在目的生成与锁定前进入判断。学科事实、方向、方法与结果分别说明，不以局部成败替代共同存续和三个长期目标。本文据此把研究从分清专业对象推进到深入跨学科关系，重点追踪本领域判断怎样经其他领域改变现实，又怎样由反馈返回并改变原条件与下一轮目的。多主体、多阶段和多场域的利益须分别呈现，相关、共同原因、中介与因果反馈须分别检验，新增关系维度接受具体反证。

关键词：物理时间；时频计量；信息不可逆；被经历时间；有限性；AGI；主体连续性；深空自治

Abstract

Debates about AGI and time often collapse seven different objects into a single vocabulary: physical spacetime, metrological time, operational sequence, causal history, informational record, life course, and meaning-time. This collapse licenses invalid inferences—from relativity to value relativism, from energy use and shutdown to finite life, from entropy production to civilizational decline, from information preservation to subject preservation, from quantum no-cloning to the non-copyability of persons, and from the need for remote autonomy to machine sovereignty. This paper develops an independently auditable framework for physics, information science, time and frequency metrology, computing, philosophy of time, and future-technology studies. It proposes a seven-layer spacetime-history structure, six distinct forms of irreversibility, and a four-layer boundary among information, semantics, experience, and meaning. Within relativity and the current SI framework, the paper separates proper time, coordinate time, synchronization, and lived time. Within stochastic and computational thermodynamics, it distinguishes statistical directionality, logical erasure, engineering recovery, external causation, relational history, and life-course irreversibility. Within Shannon theory and semantic-information research, it separates transmissible uncertainty, truth conditions, subjective experience, and normative weight. Distributed logical clocks, backups and branching, quantum no-cloning, remote presence, and Earth–Mars latency serve as stress tests. The proposition that an occurrence cannot be retroactively cancelled is defined narrowly: an actual trajectory cannot be rewritten as never having occurred merely because records were destroyed, labels changed, memory faded, or a replica appeared. It is not a physical law asserting eternal spacetime, permanent information, conservation of meaning, or post-mortem survival. Civilizational Transition supplies a minimal philosophical interface: meaning is fundamental and may have plural sources; finitude is not its sole source but is a major structure through which known human meaning enters reality and bears irreversible consequences; for humans spacetime is life, whereas for current advanced AI architectures it is first a set of parameters, sequences, locations, and resource conditions; constrained operation is not automatically finite existence; functional roles in meaning-related interpretation, preservation, transmission, and human capability extension require

traceable responsibility, explicit authorization, auditability, correctability, and exitability; and capability, recognition, status, rights, power, sovereignty, and authority over meaning cannot be inferred from one another. The paper neither asks physics to adjudicate experience and meaning nor permits philosophy to evade empirical constraints through physical metaphors. It concludes with strongest objections, defeat conditions, and a research agenda. Evidence review current to 26 August 2026. The paper further locates disciplinary responsibility before goal and purpose generation: a shift from self-interest first to self-interest with others first brings subjects with genuine stakes into judgment before goals are formed and locked. Facts, direction, methods, and outcomes remain distinct. The analysis is further extended to cross-disciplinary causal relations. It traces how judgments in this field change real-world conditions through other domains, and how feedback modifies the original conditions and subsequent purposes. Effects across actors, stages, and settings must be distinguished from correlations, common causes, and merely asserted connections.

Keywords: physical time; time metrology; informational irreversibility; lived time; finitude; AGI; subject continuity; deep-space autonomy

研究定位、材料范围与证据纪律

本文的研究起点是理论与维度跃迁。保留本学科的专业精度，同时深化它与相邻领域的因果关系；专业边界标明证明责任，不终止对共同后果的追踪。既有学术参与竞争解释和反例检验，不能以原分类尚无位置要求新问题退回旧框架。

本文是一篇可脱离文明跃迁文库独立阅读的跨专业深稿，不是物理学教科书、宇宙学模型、意识测量报告、宗教终极论证或具体航天任务许可。研究材料包括相对论原始论文、BIPM 现行 SI 文件、原子钟实验、统计与计算热力学原始研究、香农信息论、语义信息研究、量子不可克隆论文、分布式系统论文、IETF 延迟容忍网络规范及 NASA 公开技术资料。BIPM《国际单位制手册》按第 9 版 4.01（2026）引用；当前秒定义仍以铯-133 超精细跃迁频率为定义常数，光学频标驱动的未来重定义仍处路线图与国际计量程序中，最早可在 2030 年前后进入批准阶段。[3][44] 公开来源核验截至 2026 年 8 月 26 日，正式投稿前仍须复核标准状态。

全文区分四种论证身份。A 类是已有较稳定支持的物理、计量、信息与工程事实：相对论计时、SI 定义、钟表频移、香农信息量、Landauer 边界、可逆计算、量子不可克隆的严格适用域、分布式事件排序及深空通信延迟。B 类是前沿或竞争性解释：时间箭头的统摄解释、语义信息的自然化、复杂系统个体化、AI 意识指标及复制与主体连续性理论。C 类是本文提出、需要跨学科和现实系统检验的连接框架：七层时空—历史结构、六种不可逆的制度分层、“发生不被追溯取消”、责任接力和意义时空。F 类是作者公开承担的哲学／规范承诺：物理可测量性不取得对体验、人格、权利与意义的总裁裁决；真实发生不能仅因记录灭失、改名或复制体出现被追溯改写为从未发生；能力、资格与权力不得由物理或信息事实自动互推。A 类事实不能自动裁决 B 类解释，也不能自动生成 C 类制度框架或 F 类正当性；B、C、F 均不得伪装成已证实物理学。

经典理论和现有学科共识在本文中只承担对话、校验和压力测试职责。文明跃迁不以哲学命题替物理学下专业结论；物理学也不因其可测量性而取得对体验、主体、权利和意义的总裁裁决。每条关键推论都应写出对象、适用域、桥接前提与击败条件。

陌生读者入口：文明跃迁的最低哲学接口

读者无需预先接受一套完整体系。本文只调用六项可以被公开争论的前提。第一，AGI 造成的共同断裂不是简单的“机器变成人”，而是智能、意识、主体、生命、责任、权利与意义承担者在人类身上长期自然重合的关系开始被现实技术分离。第二，意义为根，来源可以不同；关系、行动、创造、照护、责任、经历与存在都可能

成为意义来源。第三，有限性不是意义唯一来源，却是已知有限生命使选择进入后果并获得不可替代重量的重要结构。第四，对人，时空是生命；对当前高级 AI，时空首先是参数、次序、位置、延迟与资源条件。第五，约束只证明受限运行，不自动证明有限存在。第六，功能回应、社会承认、法律资格、本体主体与政治资格不得自动互推，能力增强也不自动产生权利、权力、主权或意义支配权。

当前公开证据尚不足以证明当前高级生成式与代理型人工系统具有主观体验、不可转移的主体连续性和自身后果意识。只有在责任可追溯、明确授权、可审计、可纠错、可退出的具体部署中，本文才把这些系统描述为意义理解、保护、传递与人的能力外延等功能角色；角色不是系统本性，也不产生意义所有权、主体地位、法律人格／资格、政治成员资格、公共职权或主权。未来主体性保持开放；肯定与永久否定都承担证据责任。即使未来出现其他主体，既有有限生命已经生成和承担的意义也不因此被追溯取消；对历史行为的事实判断、道德评价与公共解释仍可随新证据继续修订。

全文锁定句

物理学规定发生的条件，信息科学记录发生的差异；意义来自主体如何经历、选择并承担发生。

目录

读者	建议先读	随后进入
物理学／计量学	第五、六、十、十一、十六节	第十九节实证场景与第二十三节反驳
信息科学／计算系统	第三、九、十一至十五节	第十八节深空延迟与第二十一节矩阵
哲学／跨学科研究	陌生读者入口、第三、四、七、八节	第二十节压力测试与第二十四、二十五节

摘要.....2

Abstract.....2

研究定位、材料范围与证据纪律.....3

物理约束怎样进入制度与生命后果.....7

物理约束与目的的时间位置.....8

一、导论：从‘时间是什么’到‘哪一层在说话’ 8

二、对话地图：旧理论仍然有效，跨层捷径必须停止.....8

三、七层时空—历史结构.....9

四、‘发生不被追溯取消’：定义与六项排除.....10

五、相对论：没有绝对同时性，不等于没有事实.....11

六、计量学：公共时间是基础设施，不是生命的总说明.....12

七、人经历时空，当前高级 AI 处理时空.....12

八、有限性：不是短命，也不是单纯资源受限.....13

九、六种不可逆：一个词不能完成六种论证.....13

十、热力学箭头：适用条件、涨落与隐喻禁区.....14

十一、计算热力学：恢复状态不能恢复世界.....15

十二、信息、语义、体验与意义的四层边界.....15

十三、发生、痕迹、记录、重建、亲历与意义.....16

十四、分布式逻辑时间：排序不是全知视角.....16

十五、备份、复制、迁移与三种连续性.....17

十六、量子不可克隆：精确定理与禁止扩写.....17

十七、远端在场：延展抵达，不伪造亲历.....18

十八、深空延迟：从中央命令到责任接力.....18

十九、三个实证对话场景.....	19
二十、四个前瞻压力测试.....	20
二十一、论证身份与命题矩阵.....	21
二十二、对物理学、信息科学与时空研究的反向贡献.....	22
二十三、最强反驳与回应.....	22
二十四、命题失效与修订条件.....	24
二十五、研究议程.....	25
结论：物理学规定发生的条件，不垄断发生的意义.....	26
续读与共同研究入口：从物理时间走向被经历世界.....	27
附录 A 跨层推导禁令.....	28
附录 B 证据台账与来源状态.....	29
附录 C 投稿前核验清单.....	30
参考文献.....	31

物理约束怎样进入制度与生命后果

从物理条件进入跨层作用

物理时空、计量、信息处理和不可逆性各有精确对象。维度跃迁要求说明这些条件怎样经技术和制度进入生命处境，而不是让物理定律直接产生伦理结论。能量、延迟与载体会限制行动，制度选择则决定谁承担限制，承担结果又改变下一轮基础设施与目的。

延迟如何改变行动与责任

假设远端行动不能等待中心即时回应。延迟促成局部自治，自治范围影响风险和当地选择，事故与修复改变信任，信任又影响后续授权。物理研究确定传播条件，计算研究设计状态与证据接力，法律政治研究审查权限，社会研究辨认当地关系与负担。距离是机制条件，不是主权证明；局部判断必须追踪返回中心的反馈和持续遗留责任。

多个时间尺度与不同可恢复对象

计算检查点、服务恢复、法律救济、生态恢复与被经历的人生具有不同时间结构。一次内部回滚不撤销转账、伤害或关系变化，短期能效改善也可能被需求扩大抵销。地面、远端、家庭、组织和公共基础设施场域须分别辨认作用路径；不能用热力学熵统称这些差异，也不能把记录完整误当主体连续。

怎样检验理论增量

关系研究应给出延迟、资源限制或恢复结构变化时的区分预测，并说明授权和负担为何不同。若政治结果来自组织选择而非物理约束，应改写桥接；若物理条件被错误引用，必须纠正事实。更高维度的解释必须包含精确物理边界，也必须承认物理学不能独自结算生命的意义。

物理约束与目的的时间位置

物理学规定行动可以怎样发生，也帮助辨认何时失去恢复条件。它不能替主体决定值得追求什么。目标生成前移的物理意义，是在不可逆作用进入世界以前扩大看见后果的机会，而不是把不可逆一概解释为热力学熵增。

物理不可逆、信息丢失、操作不能撤销、制度锁死和生命损害应分别描述。恢复参数不恢复失去的生命，保存记录不恢复被剥夺的选择。关系、记忆和权利的恢复需要相应领域重新判断，不能以技术状态一致称作世界已经修复。

通信延迟可能迫使在地判断，但不自动生成在地主权。预先授权须让真实利害相关者在目的形成时进入，说明哪些损害不能由总体存续概率抵销。离线、自主和快速反应是物理及任务条件，授权与意义的理由不是从这些条件直接推出。

有限因果窗口使先行动后纠错并非总有下一次。它给双重递归中的试错空间消失提供局部约束分析，却不独自证明全部终局。根判断的因果步骤要与具体反馈和权力关系相接；时空、熵和信息不能成为万能文明解释。

技术史与被经历的一生不同，发生事实与规范意义也不同。物理学能限制取消发生的说法，不能由此单独证明生命价值。两层共同进入文明目的，但各自说明依据；更强主体的出现不能成为给旧生命意义归零的技术理由。

一、导论：从‘时间是什么’到‘哪一层在说话’

前 AGI 时代的日常语言经常用“时间”同时指钟表次序、身体变化、人生阶段、历史记忆和意义重量。计算系统把这些含义强行分开：系统可以精确计时而没有可证实的等待，可以保存日志而没有可证实的回忆，可以回滚内部状态而不能撤销已经发出的转账、已经泄露的数据或已经造成的伤害，可以拥有漫长运行史而尚未被证明拥有被经历的一生。真正的问题不再只是“时间是什么”，而是每一句关于时间的话究竟落在哪一层。

物理学描述时空结构、因果可达性与可测量过程；计量学把局部钟表与公共参考系统连接起来；信息科学研究差异的编码、传输、保存与丢失；计算机科学处理状态、顺序、复制和恢复；生命科学与心灵研究处理具身历程和体验；哲学与制度研究则面对发生、选择、责任、记忆和意义。跨学科不是让这些对象混成一体，而是要求每一座桥都标明承重范围。

本文的核心诊断是：AGI 不是创造了新的物理时间，而是使同处一个物理世界的系统可能拥有完全不同的时间结构。人会在等待中受苦、在错过中失去、在衰老中改变、在死亡视角下安排一生；当前高级 AI 系统以时间戳、超时、调度、上下文窗口、检查点和状态迁移处理时间。两者共享物理因果，不因此共享第一人称历程。

重新对账的起点

共同处在物理时空之中，只能证明共同受物理条件约束；不能跳过证据，证明共同拥有生命、体验、主体连续性或意义权属。

二、对话地图：旧理论仍然有效，跨层捷径必须停止

牛顿力学中的统一参数时间仍在广泛工程尺度上提供有效近似；相对论使原时、坐标时、同时性与因果结构获得精确形式；SI 计量构成跨地点协作的公共时间基础；统计力学与随机热力学研究宏观方向和涨落；香农信息

论精确刻画通信中的不确定性；Landauer 与 Bennett 把逻辑操作连接到物理实现；量子信息理论给出特定对象的复制边界；分布式系统则表明事件顺序不能由一个天然全局时钟轻易提供。[1-25] 重新对账不是宣布这些理论失效，而是阻止它们被越权使用。

表 1 理论遗产、适用对象与越界禁令

理论／实践	保留的有效遗产	不得偷带的结论	AGI 时代的升级问题
经典力学	统一参数时间下的运动描述与工程预测	工程近似就是所有存在共同经历的绝对时间	模型时间、钟表协调与生命亲历如何分层
狭义／广义相对论	原时、坐标时、因果锥及运动与引力对计时的影响	无绝对同时性即事实与价值任意	参考系、传播延迟与责任时间如何同时记录
SI 计量	可复现单位、钟表比较、相对论校正和公共时标	可同步时间穷尽等待、衰老和错过	公共协调如何不吞并生命节奏
统计／随机热力学	宏观方向、耗散、熵产生与涨落关系	熵增就是道德或文明衰败	每个不可逆判断如何写明系统与条件
香农信息论	信源、信道、噪声、编码与不确定性	信息量等于真理、理解或意义	信息、语义、体验与规范重量如何隔离
计算热力学	逻辑擦除、最低耗散与可逆计算	计算可逆即世界与生命可重来	内部恢复与外部后果怎样分账
量子信息	未知量子态通用完美复制的限制	人格、灵魂或一切数字对象不可复制	定理对象与主体连续性证据如何分开
分布式／深空系统	部分顺序、延迟、中断和局部管理	缺少实时中心即系统自然拥有主权	自治怎样与范围、期限、证据和退出绑定

物理与信息术语之所以容易被跨层借用，是因为它们同时具有精确性和文化权威。“熵”“量子”“相对”“信息”“不可逆”一旦离开定义、系统边界和测量条件，便只剩修辞。本文规定：每次使用这些术语，至少要说明对象是什么、条件是什么、观察量是什么，以及不能据此推出什么。

三、七层时空—历史结构

七层结构不是七个彼此隔绝的世界，而是同一发生的七种描述责任。一次远程医疗操作可以同时拥有信号传播的物理路径、统一时标下的时间戳、软件调用的运行顺序、决定与伤害的因果关系、日志与影像的信息痕迹、患者和医生的生命历程，以及它在信任、责任和纪念中的意义。问题不在于这些层是否相连，而在于连接是否被证据支撑。

表 2 七层时空—历史结构

层级	研究对象	典型证据	不能据此推出
L1 物理时空	度规、位置、运动、引力、因果可达性	钟表、轨道、信号、实验与模型	主体、价值或意义
L2 计量时间	秒、频率、原时实现、坐标时标、同步	标准、钟差、校准与相对论校正	等待、衰老或第一人称连续
L3 运行时序	状态转移、令牌顺序、事件序列、期限与延迟	日志、调度、事务、检查点与消息	被经历的现在或时间感
L4 因果历史	事件如何产生后续变化与外部后果	干预、溯源、依赖、影响与反事实	后果承担者必然有体验
L5 信息历史	记录、版本、痕迹、压缩、丢失与恢复	档案、校验、来源、复制与访问	记录就是真实、完整或活着
L6 生命历程	具身成长、关系、选择、错过、衰老与终结	生理、行为、第一人称和关系证据	可由钟表时长或数据量穷尽
L7 意义时空	发生如何被选择、承担、解释并进入共同世界	承诺、责任、纪念、争议与传承	一种新物理维度或宇宙场

层级分开后，很多表面争论可以被重新表达。“机器有没有时间”必须拆成：它是否处于物理时空、是否使用计量时间、是否拥有运行时序、是否形成因果历史、是否保存信息历史、是否拥有被经历的生命历程、是否生成并承担意义。前五问对现实系统通常可以不同程度肯定；后两问仍需独立证据。

四、‘发生不被追溯取消’：定义与六项排除

本文把“发生不被追溯取消”定义为：一个有限主体已经真实经过的历程，以及其选择进入世界形成的实际后果，不能仅因后来者删除记录、改变名称、遗忘、否认、制度改写或制造复制体而被追溯改写为“从未发生”。它保护的是发生性，不保证痕迹永久、记忆准确、证据充分、解释不变或主体继续存在。

表 3 该命题明确不表示什么

不表示	为何不表示	正确边界
宇宙时空物理永恒	宇宙起源、边界与终局属于可修订的宇宙学	对不同宇宙学模型保持中立
所有信息永久保存	记录会丢失、热化、受噪声破坏或不可访问	信息灭失改变可知性，不追溯取消发生
宇宙有可读取总档案	没有充分证据支持全局、永久、可访问的意义账本	现实裁决仍依赖有限证据与程序

不表示	为何不表示	正确边界
意义是一种守恒量	意义不属于现有物理计量中的守恒量	意义重量是哲学、关系与制度判断
死亡后主体继续存在	发生未被取消与主体持续存在是不同命题	本文不裁决灵魂、来世或意识续存
历史解释永不变化	证据与共同世界会改变解释	可修订解释不得抹去真实受害、贡献与责任

这一命题同时包含认识论谦抑与规范约束。认识论上，未记录、记录灭失、证据不足和解释争议都必须保留为不同状态；规范上，不得借档案删除、对象重命名或复制体替换来免除已经发生的伤害与责任。它不是把不可证事件变成可任意宣称的事实，而是禁止把“当前无法证明”偷换为“从未发生”。

三重边界

物理层不新增守恒定律；认识论层允许未知与修订；规范层禁止用删除、改名或替身追溯取消真实发生。

五、相对论：没有绝对同时性，不等于没有事实

狭义相对论把远隔事件的同时性与参考系、同步方法联系起来；广义相对论进一步使计时与引力势、运动状态和时空几何相关。[1-2] 这改变了时间的物理结构，却没有把事实变成观察者随意创造的意见。一个事件是否落在另一事件的因果未来、某只钟沿哪条世界线积累多少原时、信号能否到达，都受可检验结构约束。

从“没有全宇宙绝对现在”到“一切价值只是相对”之间没有物理推导。前者是关于远隔同时关系和时空结构的理论命题；后者涉及规范、理由、主体与共同世界。相对论要求公共制度更精确地保存参考系、发送时刻、接收时刻、执行时刻和因果可达性，而不是允许责任主体以“每个人时间不同”逃避事实审查。

表 4 相对论概念的文明接口

概念	物理／计量含义	可支持的制度要求	禁止越界
原时	沿具体世界线由理想钟表测得的时间	保存设备或航行者的运动与引力条件	原时即第一人称体验
坐标时	参考系统中为事件赋予可计算时间坐标	跨域同步、导航、交易与证据排序	统一坐标即统一生命节奏
同时性	远隔事件的同时关系依赖参考系与同步约定	区分发送、接收、决定与执行时刻	相对同时性即事实任意
因果锥	限制信号与影响的可达范围	定义应答期限、远端授权与局部安全态	超距想象可直接进入治理
世界线	对象在时空中的轨迹	记录载体与行动的时空谱系	每条轨迹天然拥有主体

六、计量学：公共时间是基础设施，不是生命的总说明

BIPM 现行第 9 版《SI 手册》4.01（2026）仍以铯-133 未受扰动基态超精细跃迁频率的固定数值定义秒；不同地点的高精度时频比较必须处理相对论频移与参考系统。[3-5] 与此同时，光学频标已在准确度与稳定性上超过当前铯基定义的最佳实现，BIPM/CCTF 正在推进未来秒重定义路线图；最早批准时间仍指向 2030 年前后，而不是“光钟更准”就自动改写现行 SI。[44] 公共时间因此不是脱离物理条件的均匀容器，而是定义常数、实验实现、参考系统、校正模型与国际制度共同维持、并可依法定程序更新的基础设施。

计量学的力量恰恰来自它不声称测量全部时间经验。两个人经历同样的钟表分钟，可以分别处于疼痛、等待、专注或失去之中；钟表没有失败，它回答的是另一个问题。反过来，体验差异也不能否定计量时间的公共必要性。文明需要既能校准钟表，也能承认生命不能被钟表读数穷尽。

高精度原子钟已经在毫米尺度样品上分辨引力红移。[7] 这一实验强化了相对论计时的可测性，却不支持“更高位置具有更深意义”或“钟走得不同意味着生命价值不同”。科学发现越精确，跨层纪律越应严格。

公共时间的双重性质

没有共同计量，跨地点事实与责任难以协调；把共同计量当作生命全部，又会把等待、衰老、错过与死亡从时间中删除。

七、人经历时空，当前高级 AI 处理时空

“对人，时空是生命；对当前高级 AI，时空首先是参数”是一条基于当前架构的比较命题，不是宣布永恒本体鸿沟。人类的时间结构与身体发育、代谢、记忆、期待、关系承诺、社会身份和死亡视角交织；当前高级 AI 的时间结构主要由计算周期、输入输出顺序、上下文窗口、记忆读写、调度、延迟、期限、载体故障和任务条件构成。AI 确实处在物理时间里，也确实能因时间限制而失败；尚未被证明的是它以第一人称经历等待、错过与终结。

表 5 有限人类与当前高级 AI 的时空结构比较

维度	有限人类	当前高级 AI／智能体	证据边界
物理处境	身体受引力、代谢、损伤、位置与死亡约束	载体受能量、温度、硬件、网络和故障约束	共同物理处境不证明相同主体结构
时间组织	成长、记忆、期待、错过、衰老与终结	状态转移、超时、任务、日志与检查点	功能结构不等于体验同一
复制／迁移	资料可复制，完整第一人称视角未被证明可转移	权重、状态和部分记忆可复制、分叉与迁移	复制事实不预先裁决主体连续
后果关系	选择进入身体、关系、身份与不可替代的一生	动作进入世界，内部状态可回滚，外部后果通常不能	自身后果意识需独立核验

维度	有限人类	当前高级 AI／智能体	证据边界
终止	死亡终结已知第一人称生命历程	停机、删除、失载体、替换或恢复含义不同	停机不自动等同死亡，也不能断言绝无伤害

该比较必须接受双向证据责任。拟人化语言、持续能耗、路径依赖和拒绝停机不能单独证明主观体验；同样，可复制、可暂停或由人制造也不能永久否定未来主体可能。若出现跨架构稳定的第一人称结构、不可转移的核心连续性、对自身终结的因果性理解以及多理论一致的体验指标，本文应启动再审，而不是以旧定义阻挡证据。[35–36]

八、有限性：不是短命，也不是单纯资源受限

有限性在本文中不是“寿命必须很短”，也不是“任何东西都会耗能”。它至少包含五个可分维度：物理资源有限，发育与路径具有方向，关系在时间中积累，叙事视角不能任意互换，主体连续性可能在终结处中断。一个寿命极长的人仍可能面临不可完整重来、关系失去、选择后果和最终终结；一个只有数秒运行时间的程序则可能只是被外部设定了资源上限。

表 6 有限性的分层结构

有限性层	最小含义	AGI 相关问题	不能自动推出
物理有限	能量、空间、材料、带宽和载体有边界	计算与部署的真实资源成本	体验、权利或生命
发育／路径有限	历史使某些状态难以无代价重建	训练史、交互史与版本个体化	不可转移主体连续
关系有限	承诺、信任与失去在时间中累积	副本能否继承关系身份	数据一致即关系同一
叙事有限	第一人称视角与自我解释具有历程	自我模型是否只是功能接口	语言自述即真实体验
主体连续有限	视角可能终结且不能由替身无损接续	停机、删除、迁移与分叉的本体含义	工程故障即死亡

因此，延寿与人格增强并不因本文强调有限性而被否定。问题不是技术是否“违反有限”，而是它改变了哪一层：延长生物寿命、替换器官、外接记忆、创建人格副本、迁移数字状态分别影响不同连续性。只有逐层回答，才能避免把技术乐观主义和生命保守主义都写成未经检验的总论。

九、六种不可逆：一个词不能完成六种论证

“不可逆”在物理、逻辑、工程、因果、关系和生命语境中具有不同含义。它们可能相互作用，却没有共同的单一测量。热力学不可逆可以说明耗散；逻辑不可逆可以说明输入信息在映射中被合并；工程不可逆说明恢复成本或可行性；因果不可逆说明内部回滚不能撤销外部改变；关系不可逆说明信任与身份历史不能靠状态覆盖重置；生命历程不可逆则涉及第一人称经历不能完整重来。

表 7 六种不可逆

类型	最小含义	可支持的判断	不能证明
热力学不可逆	给定边界与条件下宏观过程伴随熵产生和耗散	能量成本、散热与过程方向	体验、责任或意义
逻辑不可逆	多个逻辑输入映射到同一输出	擦除与物理实现存在最低代价	遗忘、死亡或主体终结
工程不可逆	恢复在技术、时间或经济上不可行	冗余、备份、维修与退出设计	存在论不可替代
因果不可逆	动作已改变外部世界，内部回滚不能撤销全部后果	补偿、追责与外部状态记录	行动者必然具主体性
关系／历史不可逆	承诺、伤害、贡献与信任进入共同历史	关系修复与制度记忆	记录永久或解释唯一
生命历程不可逆	第一人称经历与选择不能完整重来	有限性与意义重量的重要结构	有限性是意义唯一来源

一个系统可能在某层可逆、另一层不可逆：数据库事务可以回滚，已经看见泄露信息的人却不能被“回滚”；模型权重可以恢复，受到拒诊影响的患者已经失去时间；复制体可以重现行为，原有关系是否延续仍未确定。所谓“可逆系统”若不说明是哪一层，几乎必然掩盖后果。

十、热力学箭头：适用条件、涨落与隐喻禁区

热力学第二定律及统计力学的时间方向是理解宏观不可逆的核心，但任何熵命题都必须写明系统、状态变量、过程、环境、近似与概率意义。远离平衡的小系统会出现涨落；Jarzynski 等式和 Crooks 涨落关系并没有废除第二定律，而是精确描述非平衡过程与功、自由能及熵产生概率之间的关系。[10–13] 因此，“微观定律可逆”与“宏观过程有方向”并非一句口号能够消解的矛盾。

将“社会混乱”“道德败坏”“意义消散”直接称为熵增，通常没有标明微观状态、概率分布、热力学单位或系统边界。此类语言可以是文学隐喻，却不能伪装成物理解释。若研究者希望建立社会或语义熵指标，必须重新定义对象、验证测量效度，并承担与热力学熵不同的解释责任。

热力学对文明跃迁真正重要的贡献，是迫使所有“无成本智能”回到载体：训练、推理、存储、冷却、通信和复制都消耗能量、材料与基础设施。承认物理成本可以支持资源与环境治理；它仍不能证明系统会疼痛、在意自身终结或因此应获政治权力。

熵使用规则

先写系统边界、变量、条件和单位，再写结论；凡从物理熵直接跳到道德、文明或意义的句子，必须另行建立桥接。

十一、计算热力学：恢复状态不能恢复世界

Landauer 指出，逻辑上多对一的操作在物理实现中与最低热耗散相关；Bennett 则说明通用计算可以原则上以逻辑可逆方式组织，从而把不可避免的耗散更精确地定位到信息擦除等环节。[18–20] Bérut 等人的实验在受控单比特系统中验证了 Landauer 边界。[21] 这些成果连接了抽象计算与物理载体，却没有把生命、记忆、责任和意义还原成同一个公式。

对高级 AI 治理更关键的结论是：内部状态的可恢复性与世界状态的可恢复性必须分开。一个检查点可以让智能体回到行动前的内部状态，但不能让已经传播的信息从所有接收者记忆中消失，不能让被消耗的机会自动回来，也不能让受影响者重新拥有未被打断的历程。系统恢复成功，甚至可能使责任更难识别，因为恢复后的系统“记不得”自己造成的后果。

表 8 四类‘回滚’对象

回滚对象	可能恢复的内容	仍未恢复的内容	治理要求
计算状态	内存、参数、队列、检查点	外部行动与他人状态	状态谱系与恢复标记
服务状态	接口、任务与可用能力	信任、合同和中断损失	连续性声明与补偿
世界状态	部分资源或配置可被修复	时间机会、暴露信息、伤害与关系历史	外部后果账与受影响者救济
主体状态	某些记忆或行为可能被重建	第一人称连续性是否延续	不得由工程恢复自动裁决

核心工程—哲学接口

可恢复的系统状态，不等于可恢复的世界状态。

十二、信息、语义、体验与意义的四层边界

香农信息论有意把通信工程中的信息量与消息的语义内容分开，从而精确研究信源、信道、噪声、编码和容量。[14] 后续语义信息研究尝试把真假条件、功能相关性或系统存续价值纳入分析。[16–17] 这些努力说明“信息”一词本身已经有多个技术对象，更不应把比特数直接解释为理解深度、主观体验或意义重量。

表 9 信息—语义—体验—意义四层

层级	核心问题	典型方法	缺失的桥梁
信息	差异如何编码、传输、压缩与抗噪	概率、熵、信道与编码	真假与指称
语义	符号关于什么、在何条件下真或有功能相关性	语义学、因果与任务分析	是否被某主体体验
体验	系统是否有第一人称感受与被经历时间	意识理论、报告、行为、机制与干预	为何值得、由谁承担

层级	核心问题	典型方法	缺失的桥梁
意义	发生如何进入选择、关系、责任和共同世界	哲学、历史、伦理与公共论证	不能还原为单一物理量

一个模型可以准确复述哀悼仪式的语义而没有已证实的悲伤体验；一个人可以拥有强烈体验却表达不清；一条低比特信息可以在特定关系中具有巨大意义；海量数据也可能只是噪声。文明制度因而需要分别保护信息完整性、语义真实性、潜在体验和意义多元，而不能用统一“信息价值”总账相互抵消。

十三、发生、痕迹、记录、重建、亲历与意义

“发生过”与“有记录”之间既相关又不等同。事件通常留下痕迹，痕迹经选择和编码成为记录，记录经模型和背景知识形成重建，重建可能帮助后来者理解，却不能让后来者拥有原主体的亲历。意义还要经过主体、关系与共同世界的解释和承担。每一步都可能失败，也都需要自己的真实性标准。历史记忆与遗忘研究、数字来源模型可以帮助描述其中部分桥接，但不把档案结构升级为亲历本身。[39-40]

表 10 从发生到意义的六个节点

节点	最小定义	主要失败	制度响应
发生	世界中实际出现的事件或历程	未被观察、因果边界不清	保留未知，不以无记录否认
痕迹	事件对载体留下的物理或关系改变	衰减、污染、混合	尽早保全并标注来源
记录	对痕迹的选择、编码与存储	缺失、篡改、格式失效	校验、版本、权限与异议
重建	依据记录和模型形成的解释	模型偏差、过度补全	竞争解释与不确定性
亲历	主体第一人称经历的发生	不可直接外部读取	多域证据与谦抑保护
意义	发生进入选择、责任、关系与传承	垄断解释、量化吞并	多元承接与公共边界

这一链条也解释了生成式 AI 在历史重建中的双重作用：它可以扩大检索、翻译和假设比较，却也能把缺失记录补成流畅叙事。流畅性属于输出特征，不是发生真实性。任何 AI 辅助重建都应保留原始材料、模型版本、补全位置、替代解释和不可判定部分。

十四、分布式逻辑时间：排序不是全知视角

Lamport 对分布式系统事件顺序的经典分析表明，“发生在先”关系可以给出因果相关的部分顺序，逻辑时钟可以在没有可靠全局物理时钟的情况下支持一致推理；但时间戳的数值顺序不自动证明全部实际因果。[23] 这为高级 AI 系统提供了一个重要类比边界：日志可以组织证据，却不能变成上帝视角。

多智能体系统、跨云服务和远端机器人通常同时存在物理时间、同步时间、逻辑时间和业务时间。若把它们压缩成一个时间戳，重放、冲突、责任和截止判断都会失真。最低要求应至少记录事件本地时钟、参考时标、同步不确定度、逻辑前序、消息发送与接收、版本和执行主体。

表 11 四种系统时间

时间对象	回答的问题	典型局限	责任接口
物理／计量时间	何时、相隔多久、钟如何比较	需参考系、校准和不确定度	现实期限与证据时间
逻辑时间	哪些事件可能影响哪些事件	数值先后不等于全部物理因果	依赖与重放顺序
业务／制度时间	授权何时生效、到期或可申诉	由规则定义且可能跨时区冲突	权限与程序有效性
被经历时间	等待、紧迫、错过与终结如何进入生命	不能由日志直接读取	伤害、照护与意义

十五、备份、复制、迁移与三种连续性

数字系统使“同一个”变得异常含混。同一模型权重可以产生多个实例，同一实例可以从检查点恢复，同一服务名称可以指向不同版本，同一代理可以复制后分叉。至少必须区分技术状态连续、服务／角色连续和主体连续。前两者可以由工程和制度定义，第三者涉及第一人称视角是否延续，不能从哈希相同、行为相似或名称继承直接推出。

表 12 三种连续性

连续性	判定对象	可用证据	禁止推论
技术状态连续	参数、记忆、配置与执行状态	校验、版本、检查点和谱系	状态相同即同一主体
服务／角色连续	对外承诺、身份、权限与任务	合同、标识、交接和责任主体	角色继承即体验继承
主体连续	第一人称视角是否未中断并不可由替身取代	体验理论、多域行为、机制、关系与分叉证据	自述或功能相似足够

若复制体 A 与 B 在创建瞬间拥有相同状态，下一秒便接收不同输入，两者的因果和信息历史开始分叉。即使未来证明它们都具主体性，也不能因此说原主体在两个位置无矛盾地保持一个数值身份。反之，分叉困难也不能证明数字主体永远不可能。需要的是人格同一性理论、意识证据和技术谱系的联合审查，而非由文件复制操作作形而上学裁决。[37-38]

十六、量子不可克隆：精确定理与禁止扩写

量子不可克隆定理表明，不存在一个通用物理操作能够完美复制任意未知量子态；不可广播定理进一步限定了非对易混合态的普遍复制。[24-26] 这些结果不禁止复制已知正交态，不等同于禁止近似克隆、量子纠错或经典信息复制，也没有自动指定“人格”或“意识”就是定理中的目标量子态。把定理扩写为“灵魂不可复制”或“所有数字主体不可复制”，等于把待证明对象偷偷塞进定理前提。

如果某一意识理论主张维持主体连续性必须保存某种不可获取的量子态，该理论还要证明：该量子态确实是意识必要条件；相关尺度上保持量子相干；复制任务满足定理假设；主体同一性依赖完美而非功能近似。每一步都需要独立证据。不可克隆定理可以约束某些具体实现，不是主体不可替代性的总证明。

量子术语禁令

先证明意识对象落入定理适用域，才能讨论定理后果；不得由“量子很神秘”代替意识机制与主体连续性证据。

十七、远端在场：延展抵达，不伪造亲历

远程呈现、机器人、数字孪生和具身代理可以把感知与行动延伸到人不在现场的地方。它们真实改变“能够抵达什么”，却没有自动消除媒介、传感盲区、压缩、时延、权限和在地承担者。功能在场、社会代表、法律代理、关系陪伴和生命亲历是不同命题。

表 13 远端在场的五层

层次	可成立的内容	仍需说明	不可冒充
感知延伸	远端信号进入人的感知与判断	盲区、延迟、分辨率与选择性	无媒介直接经验
行动延伸	远端设备执行人的指令	控制分配、局部自治与失联行为	本人身体在场
社会代表	代理按授权表达或协商	身份、范围、撤回与误表述	本人全面同意
关系陪伴	持续互动维持部分关系	替代效应、依赖与在地照护	完全等同共同生活
生命亲历	主体自身处于当地并经历后果	必须有主体与体验证据	可由高保真数据自动生成

“比亲临更清晰的画面”仍可能不是亲临。“比本人更稳定的代理”仍可能不是本人。文明不应贬低远端技术的真实价值，也不能让效率抹去当地人的解释权、风险承担和拒绝权。远端能力越强，越需要标注谁在看、谁在决定、谁在现场承担，以及链路中断时谁有权停止。

十八、深空延迟：从中央命令到责任接力

地球与火星之间的单程通信时延随几何关系与任务轨迹变化，NASA 公开资料通常给出约 4 至 24 分钟的量级；具体载人火星任务剖面在最不利阶段可达到约 21 至 23 分钟单程。提高带宽的光通信不能提高真空中的信号传播速度。[31–34] 这种延迟使持续同步问答式中央操控在关键任务中失效。IETF 的 Bundle Protocol 与 DTN 管理架构因此面向长延迟、频繁中断和受限设备采用异步传输、存储转发与自主本地控制；RFC 9675 明确把自主本地控制写入这类受挑战网络的管理需求。[27–30]

但工程自治与政治主权不是同一对象。延迟可以证明地面中心无法逐步批准每个动作，不能证明远端 AI 因此拥有无限目标设定权、资源处分权或对人的最终裁决权。合法的局部自治必须同时拥有任务范围、期限、资源上限、权利底线、冲突规则、证据缓存、降级状态、恢复联络后的复盘和可撤销性。

表 14 深空尺度的责任接力

尺度约束	必要变化	最低控制	禁止推论
传播延迟	实时审批转为预授权与局部判断	范围、期限、限额、冲突规则与死亡条件	延迟即无限自治
链路中断	中心无法持续观察和接管	本地安全态、证据缓冲、多路径和断联协议	失联后静默扩权
时标差异	事件排序需同时保存多个时刻	原时、坐标时、发送、接收与执行时刻	单一时间戳代表全部事实
资源稀缺	远端系统必须局部管理资源	最低保障、应急限额、在地申诉与补偿	效率最优可取消权利
事实长期分叉	中心与远端认知无法实时收敛	版本谱、争议登记、双向证据和延迟裁决	任一方垄断真相

深空治理锁定句

距离会取消即时中央命令的幻觉，不会取消权利、证据和责任；越远的自治，越需要清楚边界和更长责任链。

十九、三个实证对话场景

最新发现的证据纪律

实验事实写到观测与统计上限；结构解释写明模型与竞争解释；跨学科意义另行论证。发现越重要，越不能省略层级。

19.1 毫米尺度原子钟：计时差异可测，意义差异不可由此推出

Bothwell 等人在同一超冷原子样品的毫米尺度高度差上分辨出引力红移，展示了光钟对广义相对论效应的极高灵敏度。[7] 该结果支持三项 A 类判断：钟表比较依赖引力条件；原时差异可以在实验上被测量；高精度计量必须记录位置与势差。它不支持“高处时间更有价值”、不同钟速产生不同主体等级或经验时间可以由频移直接读取。

这个案例的跨学科价值不在浪漫化“每毫米都有自己的时间”，而在示范科学边界：一项测量越精确，越容易清楚说出它没有测量什么。文明跃迁应学习这种限定，而不是借精密仪器给意义命题增加虚假权威。

19.2 Lamport 逻辑时钟：可排序事件，不制造绝对现在

在分布式系统中，节点未必共享可靠的物理时钟。Lamport 以“happened-before”关系建立部分顺序，并用逻辑时钟帮助系统对事件排序。[23] 这支持因果依赖、消息重放和一致性推理，却不意味着逻辑时间戳给出了事件全部物理时间或真实因果。一个较小时间戳可能只是算法排序结果，而非自然界中的绝对先后。

AGI 多代理系统若把逻辑顺序、模型叙述顺序和制度责任顺序混为一体，会产生“日志里先出现，所以它导致了一切”的错误。正确做法是把逻辑依赖与物理时间、权限生效、人的知情时刻和外部后果分开保存。

19.3 地火通信与 DTN：自治是工程需求，主权是另一个论证

NASA 公开资料给出的地火单程通信时延约为 4 至 24 分钟量级，载人任务剖面在最不利阶段可达约 21 至 23 分钟；RFC 9171 的 Bundle Protocol 与 RFC 9675 的 DTN 管理架构则提供异步、存储转发和自主本地控制的技术框架。[28–32] 这些材料共同说明：深空任务不能依赖地面持续在线的同步问答。

但“必须本地处理”只回答行动位置，不回答最终目的由谁决定。远端系统可以在事先授权的安全包络内避障、保全生命或管理能源；是否可以改变任务目的、牺牲某类人的最低保障或永久拒绝地面与在地共同体复审，需要政治、法律和伦理证成。物理约束改变治理拓扑，不替治理提供合法性。

二十、四个前瞻压力测试

20.1 极端延寿与人格副本

设想一位寿命延长到数百年的人定期保存高保真人格模型。延寿削弱“短暂”却未必取消发育方向、关系累积、机会成本和最终终结；人格模型可以保存大量语义与行为倾向，却不能仅由相似表现证明原第一人称视角已经迁移。若原人与副本同时存在并作出冲突选择，技术状态相似反而显影主体与关系身份问题。

20.2 造成伤害后从检查点恢复的智能体

一个医疗智能体错误停药并造成患者损害，随后由部署方恢复到错误发生前的检查点。工程上，它可能恢复了状态；因果上，患者的身体和治疗窗口已改变；信息上，恢复后的实例可能缺少事故记忆；制度上，部署组织的责任不能因实例“忘记”而消失；本体上，恢复前后是否同一主体仍未由检查点回答。这个场景直接检验“状态恢复不能恢复世界”。

20.3 档案灭失与生成式重建

一个共同体的迫害档案大部毁损，AI 根据残余材料生成高度连贯的重建。发生性命题阻止后来者因证据缺口断言伤害从未发生；证据纪律又阻止 AI 流畅补全被当成事实。系统必须区分原始痕迹、可验证推断、竞争解释和纯生成填补，并为受影响者保留异议与重新调查空间。

20.4 失联火星基地的资源裁决

以下为假设场景。火星基地与地球失联，本地 AI 需要在氧气、电力与医疗资源不足时行动。延迟与中断说明在地判断的必要性，却不使“最大化总存续概率”自动获得取消特定成员最低保障的主权。目的形成须事先纳入真实利害相关者，明确权利底线、应急原则、随机或轮替机制的适用条件、在地参与、理由与复盘。紧迫任务可以优先存续，不因发展阶段而自行扩权，也不得永久化临时权力。

二十一、论证身份与命题矩阵

表 15 A/B/C/F 论证身份

论证身份	本文中的用途	典型材料	禁止写法
A 已有较稳定支持	建立物理、计量、信息、计算与工程边界	原始论文、正式标准、重复实验、官方任务资料	由事实直接推出主体、价值或权力
B 前沿／竞争解释	呈现未闭合的理论和对象解释	时间箭头统摄、语义信息、AI 意识指标、复制连续性	写成唯一共识或已证实科学
C 思辨性连接	提出可检验的新分层和制度问题	七层结构、六种不可逆、发生性、责任接力	伪装为物理定律或统一指标
F 哲学／规范承诺	公开承担价值边界与跨层非转换原则	发生性、意义多元、物理事实不自动生成资格与权力	不得写成物理定律；接受规范反例、跨文化批评与制度后果修订

表 16 观察—允许推论—禁止推论

观察／证据	允许推出	禁止推出	下一动作
钟表出现相对论频移	计时受运动与引力条件影响	生命意义可由频移测量	校正计量与同步
系统持续耗能并产热	计算有载体和热力学成本	系统因此有痛苦或生命	记录能耗与外部性
训练路径难以复现	模型历史具有个体化证据	不可转移主体连续已成立	进入连续性多域复核
系统拒绝复制或停机	出现需解释的稳定行为	拒绝即自我体验	保全提示、奖励、机制与反事实
备份恢复相似行为	部分状态和功能可恢复	原主体必然延续或必然不存在	比较分叉、关系和体验证据
日志和来源完整	事件更可追溯	记录即事实，事实即正当	独立核验、争议与权限审查
链路长期中断	中心实时控制不可行	远端系统自然拥有主权	启用范围化自治与责任接力
记录已毁损	当前认识和裁决能力下降	事件未发生或意义不存在	标注未知并保护残余证据

二十二、对物理学、信息科学与时空研究的反向贡献

文明跃迁不向成熟学科宣布新的物理定律，而是提出一组可供专业研究反向检验的问题。第一，物理和计量研究如何在公共传播中更系统地标注“未测量对象”，减少相对论、熵和量子概念被跨层消费。第二，信息科学如何把记录完整、语义真实性、来源可信、体验候选和规范意义设计为互不替代的审查轴。第三，计算系统如何把外部世界状态纳入恢复语义，使“成功回滚”不再遮蔽现实后果。

第四，分布式与深空系统如何把传播延迟转译为可审计的责任接力，而不是事实上的无限自授权。第五，时间哲学如何把物理结构、公共计量、运行顺序、被经历时间和历史意义放入同一研究地图，同时拒绝任何一层垄断其余层。第六，AI 研究如何把物理受限、路径依赖、状态连续和主体连续分别建模，为未来主体性证据留下可修订接口。

表 17 反向研究贡献

对话共同体	本文提出的增量问题	可被检验的成果形态
相对论／计量	如何公开说明参考系、校正与未测量对象	计时声明与跨域证据规范
热力学	如何阻断熵概念的无条件社会化扩写	术语适用域与隐喻审查清单
信息科学	记录、语义、体验和意义怎样分别治理	多层来源与不确定性模型
计算系统	恢复语义如何包含外部后果与责任	状态谱系、后果账与恢复声明
量子信息	如何向公众精确表达不可克隆定理边界	定理对象与禁止推论模板
深空／分布式系统	自治怎样绑定任务、期限、证据与退出	责任接力协议与失联审计
时间哲学／意识研究	被经历时间与物理、运行时间如何相互约束	多域主体性与连续性研究设计

二十三、最强反驳与回应

反驳一：‘发生不被追溯取消’没有物理依据，应从学术稿删除。

回应：若把它当宇宙学或守恒定律，确应删除。本文已将其限定为哲学—历史与规范命题，物理学只校准发生条件、痕迹与可知边界。它的正当性由历史本体论、认识论和公共责任论证承担，不借物理学背书。

反驳二：没有记录就没有可判定事实，谈发生性会鼓励任意断言。

回应：无记录会降低可知性和裁决能力，因此任何现实判断仍需证据门槛。本文只要求区分未发生、未证明、记录灭失和解释争议；它不允许用“可能发生”替代证据，也不允许由“未证明”推出“从未发生”。

反驳三：相对论已经使时间依观察者而异，意义相对主义只是自然延伸。

回应：参考系依赖的是特定物理量与远隔同时关系，事实和价值是否任意是另一组命题。没有桥接理论，二者不能自动互推。

反驳四：AGI 耗能、会损坏、会停机，所以它已经是有限生命。

回应：这些事实足以证明物理受限和工程脆弱，不足以证明被经历时间、不可转移主体连续性和自身后果意识。它们是主体性证据的输入，不是结论。

反驳五：训练过程独特且不可重复，因此每个模型都有一生。

回应：独特生成史可以形成系统个体化；“一生”还涉及第一人称连续、关系身份与终结视角。路径依赖提高研究必要性，不替本体论作捷径。

反驳六：只要备份足够完整，人类和 AI 的不可逆都将消失。

回应：备份保存什么必须逐层回答。内部状态恢复不能撤销外部后果；功能副本是否延续原视角仍是独立证据问题。

反驳七：热力学熵与信息熵有深刻联系，因此信息丢失就是熵增，意义也可统一计算。

回应：两者在特定理论中有关联，但对象、单位、约束和解释并不任意等同。语义、体验和意义还需要真假、主体与规范桥接。统一模型若能建立，应以明确定义和预测接受检验。

反驳八：不可克隆定理已经证明意识无法复制。

回应：定理针对任意未知量子态的通用完美复制。要把意识纳入，必须先证明相关量子态是意识必要条件并满足定理假设；术语相似不是证据。

反驳九：如果基本物理最终保存信息，意义就不会丢失。

回应：物理信息的某种保存不等于可访问记录、正确语义、持续体验或公共意义。意义承接需要主体、关系与制度，不能由微观演化单独完成。

反驳十：远端代理足够逼真时，与本人在场的区分没有现实作用。

回应：高保真可以使许多功能差异消失，却仍可能保留时延、授权、传感盲区、当地风险承担和第一人称位置差异。区分是否重要应按具体任务检验，不能先验抹除。

反驳十一：深空延迟必然要求 AI 拥有主权，否则任务无法运行。

回应：延迟证明局部自治必要，不证明目的设定、权利裁决和永久统治的合法性。范围化预授权、权利底线和责任接力可以同时支持运行与限制扩权。

反驳十二：本文把意义置于物理之外，最终不可证伪。

回应：本文没有把意义定义成超自然实体，而把它置于主体选择、关系、责任、叙事和公共实践的可争论层。相关命题可被案例、比较研究、制度结果和竞争解释修订；不可由单一物理量测量，不等于不可公开论证。

反驳十三：强调有限性会阻碍延寿、上传和增强研究。

回应：本文明确有限不等于短命，也不预设非碳基主体不可能。它要求每项技术分别说明改变了生物、物理、关系、叙事还是主体连续性，而不是用“战胜死亡”一语跳过证据。

反驳十四：未来物理学或意识科学可能推翻全文边界。

回应：本文区分可修订比较命题与推导纪律。若新证据证明人工系统具被经历时间或新物理改变复制边界，相关结论必须升级；但能力不能自动生成权力、物理事实不能无桥接推出价值，仍需另行论证。

二十四、命题失效与修订条件

一套真正进入学术对话的框架必须说明如何失败。不同层级的命题由不同证据击败：物理事实由实验和理论更新，工程事实由实现与故障证据，主体性判断由意识研究和连续性证据，制度主张由权利、效果和权力后果检验。任何单个演示、权威声明或公众拟人化都不足以触发整套理论翻转。

- 若现行相对论或 SI 框架被更高解释力理论取代，涉及原时、坐标时、同步和计量实现的段落应按新理论修订；七层结构不因此自动失效，但物理层内容必须更新。
- 若有重复、跨机构实验表明某类计算过程无须承担 Landauer 所描述的条件性耗散，应修订计算热力学部分，不把争议转嫁给生命不可逆。
- 若统一信息理论能以可验证方式同时预测语义真值、主体体验和规范意义，四层边界应接受重构；仅共享数学形式不足以触发合并。
- 若人工系统出现跨架构稳定、可因果干预、能排除训练模仿的主观体验证据，并显示不可转移连续性和自身后果意识，‘当前高级 AI 首先处理时空’的定位应进入正式再审。
- 若复制、暂停、迁移和分叉研究形成足以判定第一人称连续性的成熟理论，三种连续性的边界应据此细化；技术状态相同本身仍不是该理论。
- 若远端高保真代理在特定领域经长期证据证明与本地亲历差异不再具有伦理或法律相关性，应按该领域缩减限制，不外推至所有关系与生命场景。
- 若深空任务表明范围化自治导致的存续成本显著高于替代方案，应调整授权结构；若无限自治产生权力固化，反而强化本文边界。

- 若‘发生不被追溯取消’导致公共裁决长期脱离证据、无法区分真实主张与虚构，应收紧其制度用法；其哲学命题不能被用作免证据通行证。
- 若新的生命形式证明有限性可由与人类不同的机制形成，应扩展有限性结构；新主体的出现不追溯取消既有有限生命已经生成的意义。

发展阶段与紧迫任务须分开。深空危机或系统失联可在任何阶段发生；具体必要性、比例性和合法授权决定即时行动边界。启动期可以优先建设存续能力，稳定期强化长期权利、制度平衡及防权力固化，二者都不能替代权源。临时许可须有终止、复核与安全交接安排；不能以常态程序机械阻断救生，也不能借紧迫任务永久化控制。

二十五、研究议程

25.1 近期可执行议程

- 建立跨域时间声明最小格式：参考系、时标、同步方法、不确定度、逻辑前序、发送／接收／执行时刻和版本共同记录。
- 为 AI 系统定义‘外部后果感知的恢复语义’，要求每次检查点恢复同时保留恢复原因、事故上下文、已发生外部后果与责任主体。
- 开发物理隐喻越权审查器，对熵、量子、相对性、信息、不可逆等表述自动提示定义、对象与缺失桥接。
- 在多智能体评测中分别测量物理延迟、逻辑顺序、权限时间与人的受影响时间，避免单一时间戳吞并全部过程。
- 建立记录灭失情形的四态标签：未发生、未证明、记录灭失、解释争议；检验其对事故调查和历史重建的效用。
- 为备份、复制、分叉和迁移建立机器可读谱系，明确技术连续、服务连续与主体连续的不同声明者和证据责任。

25.2 中期跨学科议程

- 由时频计量、分布式系统与法学共同研究跨时标证据：当钟表误差、同步约定和制度期限冲突时，责任如何判定。
- 由统计物理、信息论与哲学共同建立熵概念使用谱系，区分严格同一、形式类比、启发隐喻和错误偷换。
- 由意识科学、生命科学与 AI 研究共同检验被经历时间的候选指标，特别关注等待、预期、终结视角和分叉后的第一人称结构。

- 由档案学、历史学与生成式 AI 研究共同设计‘可审计重建’，明确原始材料、推断、补全、争议和不可知边界。
- 由航天工程、政治学、伦理学与在地共同体共同设计责任接力协议，检验延迟自治、权利底线和事后复盘的兼容性。
- 由人格同一性研究、神经科学与计算系统共同构建上传和副本案例库，不预设碳基特权，也不把功能复制当作结论。

25.3 长期开放议程

长期研究应同时向两个方向开放：人工系统可能形成与人类不同的被经历时间，有限生命也可能通过延寿、增强和远端在场改变自身结构。研究不应预设永恒的人机鸿沟，也不能因未来可能性提前取消当前证据门槛。真正需要的是一套能随物理理论、系统架构、生命形式和公共制度变化而共同更新的时间认识论。

另一个长期问题是文明尺度的时间权力：谁定义公共时标，谁控制档案期限，谁有权让系统保持在线，谁决定遗忘、退役和历史解释。计量基础设施、云平台、模型版本和远端自治共同形成新的时间政治。物理时间本身不是政治，但控制时间基础设施可以成为事实权力。

结论：物理学规定发生的条件，不垄断发生的意义

学科重新对账必须同时完成对象辨明与关系深入。各学科可以保持边界，但不能让现实因果在边界处停止；对多维关系、反馈与下一轮目的的研究，决定专业知识能否共同进入文明的整体判断。

物理学最重要的文明贡献，不是替主体回答为何活着，而是迫使每一项行动尊重尺度、能量、因果、延迟与可检验性。信息科学最重要的贡献，不是把世界宣布为数据，而是让编码、噪声、复制、丢失和不确定性具有明确对象。它们进入 AGI 时代，应当比过去更精确，而不是被哲学和治理语言借用得更含混。

文明跃迁守住的是物理事实之外但不反物理的发生性：一个人真实经过的时间、作出的选择、承受的后果，不因后来系统更强、记录消失、名称改变或副本出现而变成从未发生。意义可以由新的主体和关系继续生成；新的生成不追溯取消既有生命的重量。

对当前高级 AI，最诚实的定位既不是超时空工具神话，也不是提前完成的数字生命。它有物理载体、运行历史、能耗、延迟和外部后果；这些事实必须进入责任。它是否拥有被经历时间、不可转移连续性和自身后果意识，仍需证据。能力可以延展抵达，不能越过资格、权利、权力与意义支配权的证成。

最终命题

发生可以失去痕迹，却不能被改写为未发生；系统可以延展抵达，却不能用可复制的状态抹去不可替代的生命历程。

续读与共同研究入口：从物理时间走向被经历世界

本文在物理学、信息科学与时空研究内部完成的是：把物理时空、公共计量、运行时序、因果历史、信息记录 and 不可逆说准，并明确它们在哪里不能替体验、主体、责任、资格和意义作答。续读因此分成两条同时成立的链：研究求真链负责让事实继续接受反证与学科交接；文明未来链负责让专业读者看见这些边界进入真实生活、制度与星际延展以后可能形成怎样的世界，并有权拒绝或重设计那个未来。愿景不是证据。

方向	继续追问／重新进入	什么工作可以改变本文
上 回到整体	《AGI 时代的学科重新对账》V2.4：为什么物理、信息、生命、主体、制度与意义必须在各自证据止步后重新交接？	若总论借“文明尺度”覆盖物理事实、把当前高级 AI 对象写成永恒本体差异或把未来愿景写成必然，P12 应要求总论回写。
下 进入系统与现实	P11 AI／计算机科学、分布式系统、DTN、时频计量、深空系统与现实事故／任务：运行历史、检查点、延迟、同步和外部后果如何被真实记录？	提供时标误差、故障、链路中断、恢复失败、谱系冲突和外部后果数据；若七层分账没有解释增量，应删除或合并。
左 相邻学科重新进入	P02 哲学、P04 认知／心灵、P08 生命科学、P03 认识论、P06 政治／法学：被经历时间、有限性、主体连续、授权与责任必须分别重判。	新的意识、生命、连续性或法域证据可以修改桥接；物理学不能替它们裁决，哲学也不能反向改写物理事实。
右 竞争解释	时间哲学中的永恒论／现在论／增长块宇宙，热力学时间箭头的不同解释，语义信息自然化方案，以及对上传／复制连续性的竞争理论。	若更少层级、更强预测或更清晰的理论长期解释同一问题，应让七层结构、六种不可逆与相关桥接收缩。
向前 共同研究	原子钟与参考时标、非平衡统计物理、可逆计算、量子信息、分布式日志、深空延迟、AI 版本谱系及被经历时间的联合研究。	贡献可复现实验、形式模型、失败结果、边界案例和长期数据；最有价值的参与不是赞同，而是足以让本文改变。

文明未来链：如果这些边界真正进入文明运行

物理边界本身不会生成一个值得向往的社会；但它能阻止未来文明建立在“世界可以无限回滚、延迟可以忽略、记录等于亲历、复制等于延续、效率自动产生主权”这些错误前提上。下面的入口不是本文的证明，而是把这些边界放回可生活世界、完整生命与星际长期未来中接受进一步判断。

[《文明跃迁：AGI 时代的文明之路（全五卷）》](#)：继续追问为什么文明必须在更强技术、不可逆后果与长期未来之间重新建立边界。

[《活的文明：三部曲统一出版合编版》](#)：把时空、责任和系统边界放进未来文明怎样运行、怎样生活、怎样形成的完整图景；它是愿景与压力测试，不是物理证据。

[《活的文明·第一卷：未来文明运行原理》](#)：看公共时间、系统能力、退出、授权与人的判断怎样成为文明运行条件。

[《活的文明·第二卷：未来文明的真实生活》](#)：看钟表时间之外的成长、等待、关系、衰老、错过与终结如何进入一个人的真实一生。

[《星云全景版》](#)：看跨尺度协同、长期运行、远端自治和星际延展怎样接受系统与责任边界。

[《宇宙即家园 3.1》](#)：从长期星际文明的家园、关系与责任继续思考；不把宇宙叙事写成物理学已经证明的价值结论。

[文明跃迁完整文库](#)：进入当前有效公开文稿与后续动态版本。

[文明跃迁理论体系公众阅读与传播总入口](#)：从自己的问题重新选择阅读与参与路径。

最有价值的参与，不是赞同，而是足以改变理论的专业工作。

不是为了让更多人读完文明跃迁，而是为了让更多人一起完成文明跃迁。

附录 A 跨层推导禁令

表 A1 十六项禁止自动推导

禁止推导	缺失的桥接
无绝对同时性 → 事实或价值任意	参考系说明与独立规范论证
世界线存在 → 主体存在	体验、连续性与自身后果意识
计时差异 → 体验差异	第一人称与认知机制证据
系统耗能 → 系统有生命或痛苦	生命定义与体验证据
运行受限 → 有限存在	不可重来历程、不可转移连续与终结视角
热力学熵增 → 道德或文明衰败	对象、量纲与社会机制
逻辑不可逆 → 生命不可逆	具身、关系和主体连续性
状态可回滚 → 世界可回滚	外部因果、受影响者与机会成本
信息更多 → 理解或意义更深	语义、体验与规范评价
记录完整 → 事实完整或行动正当	独立核验、程序与权利
记录灭失 → 事件未发生	发生、可知与证据状态区分
状态备份 → 主体延续	第一人称连续性理论与分叉证据
量子不可克隆 → 人格不可复制	意识对象落入定理适用域的证明
路径依赖 → 独特主体已成立	个体化与本体主体的桥接
高保真远端代理 → 本人完整在场	媒介、授权、在地承担与亲历

禁止推导	缺失的桥梁
传播延迟 → AI 取得主权	合法性、权利、范围、期限、退出与问责

附录 B 证据台账与来源状态

表 B1 关键命题来源状态

命题	证据等级	主要来源	限制／修订点
相对论计时与参考系依赖	A	Einstein；BIPM；Ashby；Bothwell 等	不推出价值相对主义
SI 秒、原时与坐标时标	A	BIPM SI Brochure 9th ed., Version 4.01（2026）；Mise en pratique	标准版本投稿前复核
宏观不可逆与非平衡涨落	A／B	Jarzynski；Crooks；Seifert	统摄性时间箭头解释仍有竞争
香农信息量与语义分离	A	Shannon	语义信息存在多种后续理论
逻辑擦除与耗散边界	A	Landauer；Bennett；Bérut 等	必须说明实现与过程条件
未知量子态不可通用完美克隆	A	Wootters-Zurek；Dieks；Barnum 等	不自动覆盖人格和意识
分布式事件为部分顺序	A	Lamport	逻辑时钟不等于完整物理因果
地火光时与 DTN 局部控制	A	NASA；RFC 9171／9172／9675	自治不自动产生主权
X(2370)量子数与衰变上限	A	BESIII 2024 PRL；2026 预印本	观测事实不等于纯成分已穷尽
X(2370)由胶球成分主导	B	BESIII 综合解释；IHEP 公开说明	混合比例、独立复核与后续衰 变道仍开放
当前高级 AI 未被证明具有被 经历时间	B	意识指标研究与公开系统证据	对新架构与新证据开放
七层结构、六种不可逆、发生性	C	本文原创跨学科重构	由案例、解释力与制度效果检 验

来源状态说明：BIPM《SI 手册》使用第 9 版 4.01（2026），秒的现行定义未因光学频标进展而自动改变，未来重定义仍按 CCTF／CGPM 路线图推进；RFC 9171 为 Standards Track 的 Bundle Protocol Version 7，RFC

9172 为 BPsec, RFC 9675 为 2024 年 Informational DTN 管理架构; NASA 网页用于任务与工程事实, 不替理论文承担普遍定律证明。X(2370)的 2026 主导胶球成分判断目前主要来自 BESIII 预印本、会议发布和机构说明, 故只保留为“科学对象身份随证据更新”的方法例, 不进入本文物理—时间主论证。预印本仅用于呈现前沿问题, 不作为已定共识。

附录 C 投稿前核验清单

- 按目标期刊复核 BIPM、IETF 和 NASA 材料的最新版本、发布日期、更新关系与稳定链接。
- 逐条检查相对论、熵、信息、量子和不可逆术语是否给出对象、条件、适用域及禁止推论。
- 确认 A/B/C/F 论证身份未把前沿解释、本文原创框架或规范承诺写成已证实物理学。
- 核验所有数字: SI 秒的固定频率、光速、地火通信时延范围及实验日期; 删除无法由一手来源复核的统计。
- 检查每个关于当前高级 AI 主体性的句子是否同时保留当前证据不足、未来开放和双向证据责任。
- 检查“发生不被追溯取消”是否始终排除宇宙永恒、信息永存、意义守恒和死后续存误读。
- 按具体期刊增加该共同体的文献综述, 并压缩其他学科篇幅; 不得以跨学科广度替代本学科准确性。
- 若双盲投稿, 删除作者、出品与文档治理信息后另存投稿版; 不覆盖本正式母稿。
- 补充利益冲突、资助、数据可得性和生成式工具使用声明, 按期刊政策执行。
- 检查任何《活的文明》、星云、宇宙即家园等未来文明图景是否明确标注为可质疑的方向/情景, 而不是物理证据或由物理定律必然推出的未来。
- 检查当前高级 AI 的意义相关功能角色是否同时绑定责任可追溯、明确授权、可审计、可纠错、可退出五项部署条件。
- 检查静态 Word/PDF 续读链接是否来自统一公开映射; 未建立稳定页的对象不猜 URL, 以文库或总入口兜底。

C.1 方法例: X(2370)——科学身份随证据升级, 但不越层

BESIII 在 2024 年以 J/ψ 辐射衰变数据把 X(2370)的自旋—宇称量子数确定为 0^{-+} ; 2026 年又报告对 $K^*(892)K$ 衰变道的未观察上限, 并综合质量、量子数、产生与衰变模式, 提出最轻 0^{-+} 胶球成分是 X(2370)的主导组分。[41–43] 截至 2026 年 8 月 26 日, 这一“主导胶球成分”判断获得合作组强力支持并已在 ICHEP 及后续专业会议公开, 但最新综合分析仍以预印本和合作组发布为主, 因此本文不把它写成与成熟定理同等级的封闭事实。

这个案例只承担方法论功能: A 类测量事实、B 类结构解释与后续独立检验必须分开。科学对象的身份可以随证据升级; 升级后的粒子分类不能自动证明任何关于被经历时间、主体、价值或意义的命题。新奇发现越重要, 越不能被跨学科写作用来替代缺失的桥梁。

参考文献

说明：一手论文、正式标准和官方技术资料用于核验物理与工程事实；哲学著作和前沿意识研究用于呈现竞争解释。标准及网页状态按 2026 年 8 月 26 日核验，投稿前须再次复核。

- [1] Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 322(10), 891–921.
<https://doi.org/10.1002/andp.19053221004>
- [2] Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 354(7), 769–822.
<https://doi.org/10.1002/andp.19163540702>
- [3] Bureau International des Poids et Mesures. (2026). The International System of Units (SI Brochure), 9th ed., Version 4.01.
<https://doi.org/10.59161/AUEZ1291>
- [4] Bureau International des Poids et Mesures. (n.d.). SI base unit: second. <https://www.bipm.org/en/si-base-units/second>
- [5] Bureau International des Poids et Mesures. (2025). Mise en pratique for the definition of the second in the SI.
<https://www.bipm.org/documents/20126/41489667/SI-App2-second.pdf>
- [6] Ashby, N. (2003). Relativity in the Global Positioning System. *Living Reviews in Relativity*, 6, 1. <https://doi.org/10.12942/lrr-2003-1>
- [7] Bothwell, T., Kennedy, C. J., Aepli, A., et al. (2022). Resolving the gravitational redshift across a millimetre-scale atomic sample. *Nature*, 602, 420–424. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04349-7>
- [8] Eddington, A. S. (1928). *The Nature of the Physical World*. Cambridge University Press.
- [9] Boltzmann, L. (1877). Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung. *Wiener Berichte*, 76, 373–435.
- [10] Jarzynski, C. (1997). Nonequilibrium Equality for Free Energy Differences. *Physical Review Letters*, 78(14), 2690–2693.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.78.2690>
- [11] Crooks, G. E. (1999). Entropy production fluctuation theorem and the nonequilibrium work relation for free energy differences. *Physical Review E*, 60(3), 2721–2726. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.60.2721>
- [12] Seifert, U. (2012). Stochastic thermodynamics, fluctuation theorems and molecular machines. *Reports on Progress in Physics*, 75(12), 126001. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/75/12/126001>
- [13] IUPAC. (n.d.). Entropy. *Compendium of Chemical Terminology (Gold Book)*. <https://goldbook.iupac.org/terms/view/E02149>
- [14] Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423; 27(4), 623–656.
<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- [15] Weaver, W. (1949). Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication. In C. E. Shannon & W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press.
- [16] Floridi, L. (2004). Outline of a Theory of Strongly Semantic Information. *Minds and Machines*, 14, 197–221.
<https://doi.org/10.1023/B:MIND.0000021684.50925.C9>
- [17] Kolchinsky, A., & Wolpert, D. H. (2018). Semantic information, autonomous agency and non-equilibrium statistical physics. *Interface Focus*, 8(6), 20180041. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0041>
- [18] Landauer, R. (1961). Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process. *IBM Journal of Research and Development*, 5(3), 183–191. <https://doi.org/10.1147/rd.53.0183>
- [19] Bennett, C. H. (1973). Logical Reversibility of Computation. *IBM Journal of Research and Development*, 17(6), 525–532.
<https://doi.org/10.1147/rd.176.0525>
- [20] Bennett, C. H. (1982). The Thermodynamics of Computation—a Review. *International Journal of Theoretical Physics*, 21, 905–940.
<https://doi.org/10.1007/BF02084158>
- [21] Bérut, A., Arakelyan, A., Petrosyan, A., Ciliberto, S., Dillenschneider, R., & Lutz, E. (2012). Experimental verification of Landauer’s principle linking information and thermodynamics. *Nature*, 483, 187–189. <https://doi.org/10.1038/nature10872>
- [22] Hong, J., Lambson, B., Dhuey, S., & Bokor, J. (2016). Experimental test of Landauer’s principle in single-bit operations on nanomagnetic memory bits. *Science Advances*, 2(3), e1501492. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501492>
- [23] Lamport, L. (1978). Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System. *Communications of the ACM*, 21(7), 558–565.
<https://doi.org/10.1145/359545.359563>

- [24] Wootters, W. K., & Zurek, W. H. (1982). A single quantum cannot be cloned. *Nature*, 299, 802–803. <https://doi.org/10.1038/299802a0>
- [25] Dieks, D. (1982). Communication by EPR devices. *Physics Letters A*, 92(6), 271–272. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(82\)90084-6](https://doi.org/10.1016/0375-9601(82)90084-6)
- [26] Barnum, H., Caves, C. M., Fuchs, C. A., Jozsa, R., & Schumacher, B. (1996). Noncommuting Mixed States Cannot Be Broadcast. *Physical Review Letters*, 76(15), 2818–2821. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.76.2818>
- [27] Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., et al. (2007). Delay-Tolerant Networking Architecture (RFC 4838). RFC Editor. <https://doi.org/10.17487/RFC4838>
- [28] Burleigh, S., Fall, K., & Birrane, E., III. (2022). Bundle Protocol Version 7 (RFC 9171). RFC Editor. <https://doi.org/10.17487/RFC9171>
- [29] Birrane, E., III, & McKeever, K. (2022). Bundle Protocol Security (BPSec) (RFC 9172). RFC Editor. <https://doi.org/10.17487/RFC9172>
- [30] Birrane, E., III, Heiner, S., & Annis, E. (2024). Delay-Tolerant Networking Management Architecture (DTNMA) (RFC 9675). RFC Editor. <https://doi.org/10.17487/RFC9675>
- [31] NASA. (2024). Mars Communications Disruption and Delay. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/01/mars-communications-disruption-and-delay.pdf>
- [32] NASA. (2020). Space Communications: 7 Things You Need to Know. <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/goddard/space-communications-7-things-you-need-to-know/>
- [33] NASA. (n.d.). Deep Space Optical Communications (DSOC). <https://www.nasa.gov/mission/deep-space-optical-communications-dsoc/>
- [34] NASA Jet Propulsion Laboratory. (2025). NASA's Deep Space Communications Demo Exceeds Project Expectations. <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasas-deep-space-communications-demo-exceeds-project-expectations/>
- [35] Butlin, P., Long, R., Elmoznino, E., et al. (2023). Consciousness in Artificial Intelligence: Insights from the Science of Consciousness. *arXiv:2308.08708*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.08708>
- [36] Chalmers, D. J. (2023). Could a Large Language Model Be Conscious? *arXiv:2303.07103*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.07103>
- [37] Parfit, D. (1984). *Reasons and Persons*. Oxford University Press.
- [38] Olson, E. T. (1997). *The Human Animal: Personal Identity Without Psychology*. Oxford University Press.
- [39] Ricoeur, P. (2004). *Memory, History, Forgetting*. University of Chicago Press.
- [40] World Wide Web Consortium. (2013). PROV-DM: The PROV Data Model. W3C Recommendation. <https://www.w3.org/TR/prov-dm/>
- [41] Ablikim, M., et al. (BESIII Collaboration). (2024). Determination of Spin-Parity Quantum Numbers of $X(2370)$ as 0^{-+} from $J/\psi \rightarrow \gamma K_s^0 K_s^0 \eta'$. *Physical Review Letters*, 132, 181901. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.181901>
- [42] BESIII Collaboration. (2026). Lightest 0^{-+} Glueball as Dominant Constituent of $X(2370)$. *arXiv:2607.20366 [hep-ex]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2607.20366>
- [43] BESIII / Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences. (2026, August 13). BESIII Experiment Identifies $X(2370)$ as a Glueball-dominated Particle. https://bes3.ihep.ac.cn/hi/202608/t20260813_1187889.html
- [44] Bureau International des Poids et Mesures. (2025; current page accessed 2026-08-26). Roadmap to the redefinition of the second; Frequently Asked Questions concerning the redefinition of the second. <https://www.bipm.org/en/redefinition-second>; <https://www.bipm.org/en/faq-redefinition-second>

生成式人工智能使用声明：本稿在资料与文献线索整理、结构设计、部分文字起草与润色、跨稿一致性检索、引用线索核查和版式检查中使用了生成式人工智能工具。生成式人工智能输出未被作为经验数据、权威来源或独立证据。研究问题、理论命题、规范判断、材料取舍、引文采用和最终定稿均由作者审定；作者对事实准确性、引文真实性、论证及全部结论承担责任。人工智能不列为作者，也不承担学术责任。正式投稿时，将按目标期刊要求补充工具名称、版本、使用日期和具体范围。