超额熵产生作为持久性的候选普适成本：吸引子框架的热力学基础

最终版 — **2026**年**7**月

Robert Galida
独立研究者

摘要

每个耗散系统都通过持续重构来维持其吸引子。重构需要做功；做功产生熵。恢复率 κ — 修正渗透率 — 是系统受扰动后重构以返回其吸引子的速率。本文提出 κ 是超额熵产生率的度量。

我们发展了一个抽象的持久性成本框架，并证明其与李雅普诺夫理论的等价性。然后我们将熵产生识别为该成本的一种物理实现，推导出：$\kappa = \inf_x \delta(x) \int_0^\infty \sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x))\, dt$ $\kappa = \inf_x \left[\int_0^\infty \sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x)) dt \delta(x) \right]$

其中 $\sigma_{\text{excess}} = \sigma - \sigma_{ss}$ $\sigma_{\text{excess}} = \sigma - \sigma_{ss}$ 是系统稳态基线之上的超额熵产生率。对于物理系统，基线为零（平衡态）；对于生物、认知和社会系统，基线是健康的、良好协调的吸引子的稳态耗散率。

这统一了物理、生物、认知和社会系统。该框架建立在热力学第二定律和非平衡稳态热力学的基础上，而非类比。为每个领域提供了可检验的经验预测。

关键词：熵产生，超额熵产生，修正渗透率，吸引子框架，耗散结构，重构，李雅普诺夫理论，自由能原理，非稳态负荷

---

1. 引言

吸引子框架将持久性定义为系统在扰动下维持其吸引子的能力。历史上，持久性是通过运动学方式度量的——即偏离平衡的距离或时间。本文提出，持久性的真正成本是热力学的：它是重构和恢复过程中产生的超额熵。

每个耗散系统都通过持续重构来维持其吸引子。细菌重构其代谢以维持稳态。大脑重构其突触连接以维持预测模型。社会重构其制度以维持秩序。重构需要做功；做功产生熵。热力学第二定律适用于每一个组织层次。

我们首先发展一个抽象的持久性成本框架，建立其与李雅普诺夫理论的等价性。然后我们将熵产生识别为该成本的一种物理实现，推导修正渗

透率与超额熵产生之间的关系。

该框架统一了物理、生物、认知和社会系统。它建立在热力学第二定律和非平衡稳态热力学的基础上，而非类比。

2. 持久性成本泛函

设 X 为一个状态空间，$\phi_t(x)$ 为动力系统的流，$A\subseteq X$ 为一个吸引子集。设 $\delta(x)=d(x,A)$ 为从 x 到吸引子的距离。关于生存理论中的状态空间约束处理，见 Aubin (1991)。

定义 **1**（持久性成本泛函）：持久性成本泛函 $C(x)$ 是 X 上的标量函数，满足：

1. 对所有 x，$C(x)\geq 0$
2. $C(x)=0$ 当且仅当 $x\in A$
3. 对所有在盆中的 x，$C(\phi_t(x))\in L^1([0,\infty))$

定义 **2**（累积持久性成本）：对于有限视界 $T>0$：$D_T(x)=\int_0^T C(\phi_t(x))\,dt$

对于收敛到吸引子的轨迹：$D_\infty(x)=\int_0^\infty C(\phi_t(x))\,dt$

3. 存在性与李雅普诺夫等价性

定理 **1**（持久性泛函的存在性）：假设 $C(x)\geq 0$，$C=0$ 仅在 A 上，且对盆中的所有 x，$C(\phi_t(x))\in L^1([0,\infty))$。假设 f 局部利普希茨，流在初始条件下连续可微，且 C 连续且局部有界。则：

1. $D_\infty(x)=\int_0^\infty C(\phi_t(x))\,dt$ 存在且有限。
2. D_∞ 连续。
3. D_∞ 满足输运方程：

$$\nabla D_\infty(x)\cdot f(x)=-C(x)$$

证明：积分的存在性和有限性由 $L1$ 假设保证。在所述正则性假设下，连续性由控制收敛定理推出。为推导输运方程，计算：$D(\phi h(x))=\int h\infty C(\phi t(x))\ dt=D(x)-\int 0hC(\phi t(x))\ dtD(\phi h(x))=\int h\infty C(\phi t(x))dt=D(x)-\int 0hC(\phi t(x))dt$

然后：$D(\phi h(x))-D(x)h=-1h\int 0hC(\phi t(x))\ dt\to -C(x)hD(\phi h(x))-D(x)=-h1\int 0hC(\phi t(x))dt\to -C(x)$

当 $h\to 0h\to 0$。由链式法则：$\nabla D(x)\cdot f(x)=-C(x)\nabla D(x)\cdot f(x)=-C(x)$□□

推论（与李雅普诺夫理论的等价性）：任何李雅普诺夫函数 $V(x)V(x)$（满足 $V\geq 0V\geq 0$，$V=0V=0$ 在吸引子上，且 $\dot{V}\leq 0\dot{V}\leq 0$）产生一个持久性成本 $C(x)=-\dot{V}(x)C(x)=-\dot{V}(x)$。反之，任何满足 $\nabla D\cdot f=-C\nabla D\cdot f=-C$ 的持久性成本 $C(x)C(x)$ 定义了一个李雅普诺夫函数 $D(x)D(x)$。

证明：如果 VV 是李雅普诺夫函数，则 $\dot{V}=\nabla V\cdot f\leq 0\dot{V}=\nabla V\cdot f\leq 0$。定义 $C=-\dot{V}C=-\dot{V}$。则 $C\geq 0C\geq 0$，$C=0C=0$ 在吸引子上，且 $DT=\int C=V(x)-V(\phi T(x))DT=\int C=V(x)-V(\phi T(x))$。反之，如果 $\nabla D\cdot f=-C\nabla D\cdot f=-C$，则 $\dot{D}=-C\leq 0\dot{D}=-C\leq 0$，所以 DD 是李雅普诺夫函数。□□

解释：持久性成本框架在数学上等价于经典李雅普诺夫稳定性理论。关于与收缩分析的联系，见 Lohmiller & Slotine (1998)。关于控制李雅普诺夫函数，见 Freeman & Kokotovic (1996)。熵产生是成本函数 CC 的一种物理上有意义的实现。关于在利普希茨流假设下 $D\infty D\infty$ 的利普希茨连续性的详细处理，见 Galida (2026a)，命题 4。

---

4. 熵产生作为持久性成本

4.1 熵平衡

对于开放系统，熵平衡方程为：$\frac{dS_{system}}{dt}=\sigma-\Phi\frac{dtdS_{system}}{}=\sigma-\Phi$

其中 $\sigma\geq 0\sigma\geq 0$ 是熵产生率（由热力学第二定律保证始终非负），$\Phi\Phi$ 是向环境的熵输出率。关于随机热力学和熵产生的基础性处理，见 Seifert (2012) 和 Sekimoto (2010)。

对于处于稳态的系统：$\frac{dS_{system}}{dt}=0 \quad\Rightarrow\quad \sigma=\Phi\frac{dtdS_{system}}{}=0\Rightarrow\sigma=\Phi$

4.2 超额熵产生

定义稳态熵产生率 $\sigma_{ss}\sigma_{ss}$ 为系统处于其吸引子时的速率。

定义超额熵产生率：$\sigma_{\text{excess}}(x) = \sigma(x) - \sigma_{ss}(x)$$\sigma_{\text{excess}}(x) = \sigma(x) - \sigma_{ss}(x)$

假设（超额熵衰减）：对于盆中的所有轨迹，存在常数 $C < \infty$$C < \infty$ 和 $\mu > 0$$\mu > 0$，使得对所有 $t \geq 0$$t \geq 0$：$\sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x)) \leq Ce^{-\mu t}\sigma_{\text{excess}}(x)$$\sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x)) \leq Ce^{-\mu t}\sigma_{\text{excess}}(x)$

这保证了 $D_\infty(x) < \infty$$D_\infty(x) < \infty$，是持久性泛函及其相关界良好定义的标准假设，与 Galida (2026a, 2026b) 一致。衰减率 $\mu$$\mu$ 可能是领域特定的，且可经验测量。

关于推广的说明：指数衰减假设在此采用以确保 $D_\infty$$D_\infty$ 的有限性，并与本系列先前的论文保持一致。推广到 $L^1$$L^1$ 可积衰减（如代数衰减）是未来工作的重点。

4.3 熵持久性泛函

定义 **3**（累积超额熵泛函）：对于有限视界 $T > 0$$T > 0$：$\mathcal{D}_T(x) = \int_0^T \sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x))\, dt$$\mathcal{D}_T(x) = \int_0^T \sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x))\, dt$

对于收敛到吸引子的轨迹：$\mathcal{D}_\infty(x) = \int_0^\infty \sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x))\, dt$$\mathcal{D}_\infty(x) = \int_0^\infty \sigma_{\text{excess}}(\phi_t(x))\, dt$

解释：持久性泛函是重构和恢复过程中产生的总超额熵。

4.4 修正渗透率

定义 **4**（修正渗透率）：$\kappa = \inf_{x \in B \setminus A} \delta(x) D_\infty(x)$$\kappa = \inf_{x \in B \setminus A} \delta(x) D_\infty(x)$

其中 $\delta(x) = d(x, A)$$\delta(x) = d(x, A)$ 是到吸引子的距离。

解释：$\kappa$$\kappa$ 是单位距离的最小超额熵成本。它度量重构的效率：以最小超额熵产生返回的系统具有高 $\kappa$$\kappa$；产生超额熵的系统具有低 $\kappa$$\kappa$。

4.5 盆地深度

命题 **1**（盆地深度的性质）：定义 $B = D_\infty(\text{鞍点})$$B = D_\infty(\text{鞍点})$，其中鞍点是盆地边界（吸引子之间的分界线）上的最低点。关于大偏差理论和逃逸率的联系，见 Freidlin & Wentzell (2012)。则：

1. $B \geq 0$$B \geq 0$，等号成立当且仅当盆地没有障碍（即边界与吸引子重合）。

2. 对于梯度系统 $x˙=−∇V(x)x˙=−∇V(x)$，$B=V(鞍点)−V(A)B=V(鞍点)−V(A)$（经典能垒）。
3. BB 在光滑坐标变换下不变（坐标不变性）。
4. BB 依赖于所选的持久性成本泛函 CC；不同的成本产生不同的障碍。

证明：（1）由 $D≥0D≥0$ 的非负性推出。（2）由输运方程 $∇D⋅f=−C∇D⋅f=−C$ 和恒等式 $f=−∇Vf=−∇V$ 推出。（3）由积分在微分同胚下的不变性推出。（4）是自明的。

---

5. 领域特定实现

5.1 物理系统：热力学超额熵

对于热力学系统，$S(x)=kB\log Ω(x)S(x)=kB\logΩ(x)$，其中 $Ω(x)Ω(x)$ 是宏观态 xx 对应的微观态数。对于孤立系统，$σss=0σss=0$（平衡态），所以 $σexcess=σ=S˙σexcess=σ=S˙$。$κ=inf⁡xδ(x)S(A)−S(x)κ=xinfδ(x)S(A)−S(x)$

示例：压缩后返回平衡的气体。产生的熵为 $ΔS=nR\log(Vf/Vi)ΔS=nR\log(Vf/Vi)$。

5.2 生物系统：代谢超额熵

对于生物系统，$S(x)S(x)$ 是代谢熵。基线 $σssσss$ 是静息代谢率（稳态）。超额为：$σexcess=$代谢率$-$静息代谢率$σexcess=$代谢率$-$静息代谢率$κ=inf⁡xδ(x)∫0∞σexcess(ϕt(x))\,dtκ=xinfδ(x)∫0∞σexcess(ϕt(x))dt$

示例：营养冲击后恢复稳态的细胞。产生的超额熵是恢复稳态高于基线的代谢成本。关于生物自组织背后的耗散结构框架，见 Nicolis & Prigogine (1989)。

5.3 认知系统：自由能耗散

对于认知系统，变分自由能 $F=−\log p(y∣x)+DKL[q(⋅)∥p(⋅∣x)]F=−\logp(y∣x)+DKL[q(⋅)∥p(⋅∣x)]$ 在此被采用为一种候选持久性泛函。我们不声称变分自由能是唯一正确的；它被采用为认知系统最成熟的现有候选持久性泛函。其他候选（贝叶斯惊奇、期望自由能、预测信息）是可能的；本文聚焦于 FF 是因为其在自由能原理中的既定作用（Friston, 2010）。关于信息热力学及其与自由能最小化的联系，见 Parrondo, Horowitz & Sagawa (2015) 和 Sagawa & Ueda (2008)。

基线 $σssσss$ 是基线神经耗散率（静息大脑活动）。超额为：$σexcess=F˙−F˙ssσexcess=F˙−F˙ss$。$κ=inf⁡xδ(x)∫0∞σexcess(ϕt(x))\,dtκ=xinfδ(x)∫0∞σexcess$

$(\phi_t(x))\,dt\,\delta(x)$[illegible]

[illegible] [illegible]

5.4 [illegible]

[illegible]$\sigma_{social}(t)=\sum_i(\dot{S}_i(t)-\dot{S}_i^{rest})$

[illegible] $\dot{S}_i(t)$ [illegible] i [illegible]$\dot{S}_i^{rest}$ [illegible]McEwen, 1998; Sterling & Eyer, 1988[illegible]

[illegible] σ_{social} [illegible]

[illegible] [illegible] $\dot{S}_i\ge 0$[illegible]σ_i^{social} [illegible]$\sigma_i^{social}\ge 0$[illegible]$\sigma_i^{social}\to 0$[illegible]

[illegible] σ_{ss} [illegible]$\sigma_{excess}=\sigma_{social}-\sigma_{ss}$[illegible]$\kappa=\inf_x\int_0^\infty \sigma_{excess}(\phi_t(x))\,dt\,\delta(x)$[illegible]

[illegible] [illegible] $\sigma_{excess}=0$[illegible] $\sigma_{excess}>0$[illegible] σ_{ss} [illegible]

---

6. [illegible]

6.1 [illegible]

□□	□□□	□ σssσss□	□□ σexcessσexcess□	□□□ κκ
□□	□□□□	0□□□□□	S˙S˙	inf□δΔSinfΔSδ□
□□	□□□	□□□□□	□□□ − □□	inf□δ∫σexcess dtinf∫σexcess dtδ□
□□	□□□	□□□□□□	F˙−F˙ssF˙−F˙ss□	inf□δ∫σexcess dtinf∫σexcess dtδ□
□□	□□□□□	□□□□□□	σsocial−σssσsocial−σss□	inf□δ∫σexcess dtinf∫σexcess dtδ□

6.2 □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□	□□□
□□□□□	σexcess(x)=σ(x)−σssσexcess□(x)=σ(x)−σss□
□□□□	D∞(x)=∫0∞σexcess(ϕt(x)) dtD∞□(x)=∫0∞□σexcess□(ϕt□(x))dt
□□□	κ=inf□xδ(x)/D∞(x)κ=infx□δ(x)/D∞□(x)
□□□□	B=D∞(□□)B=D∞□(□□)
□□□□	∇D⋅f=−σexcess∇D⋅f=−σexcess□

6.3 □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

领域	吸引子	吸引子处的熵产生
物理	平衡态	$\sigma=0\sigma=0$
生物	稳态	$\sigma=\sigma_{ss}>0\sigma=\sigma_{ss}>0$（静息代谢）
认知	信念稳定态	$\sigma=\sigma_{ss}>0\sigma=\sigma_{ss}>0$（基线神经耗散）
社会	协调秩序	$\sigma=\sigma_{ss}>0\sigma=\sigma_{ss}>0$（基线制度摩擦）

解释：

1. 对于平衡系统（气体、孤立系统），吸引子是熵产生达到零的状态——系统无处可去。
2. 对于耗散系统（细胞、大脑、社会），吸引子是熵产生达到其最低非零稳态值的状态——系统在维持其功能组织的同时能够维持的最小熵产生。

重要警告：

- 这是一个提议的基准，而非推导出的定理。
- 特别是对于认知系统，最小化熵产生率（热力学量）和最小化自由能/惊奇（自由能原理中的实际主张）是不同的最小化原则。该框架未在它们之间建立桥梁；这是一个开放问题。
- 该基准是一个需要领域特定验证的经验假设。

在所有情况下，吸引子是该系统在保持自身的同时能够达到的最低熵产生状态。

---

7. 可检验预测

7.1 核心预测

预测：恢复率 κ 与重构过程中产生的超额熵成反比：$\kappa\propto 1D\infty\kappa\propto D\infty 1$

证伪：如果系统以高超额熵产生但高恢复率返回其吸引子，则预测被证伪。

7.2 次级预测

预测：以最小超额熵产生维持其吸引子的系统更”高效”。产生超额熵的系统是”低效”或”应激”的。

证伪：如果低效系统比高效系统具有更低的超额熵产生，则预测被证伪。

7.3 领域特定预测

领域	预测	证伪
物理	KK 与热效率相关	KK 高但效率低
生物	KK 与代谢效率相关	KK 高但代谢成本高
认知	KK 与学习效率相关	KK 高但学习成本高
社会	KK 与制度效率相关	KK 高但协调成本高

---

8. 实验设计

8.1 物理系统

- 系统：活塞中的气体
- 扰动：压缩
- 测量：超额熵产生（热测量）和恢复时间
- 检验： KK 与 1/D∞$1/D\infty$ 之间的相关性

8.2 生物系统

- 系统：细胞培养
- 扰动：营养冲击
- 测量：高于静息的代谢率（耗氧量）和恢复时间
- 检验： KK 与代谢成本之间的相关性

8.3 认知系统

- 系统：学习任务中的人类参与者
- 扰动：预测误差
- 测量：高于基线的自由能耗散（EEG复杂度、瞳孔扩张）和信念更新率
- 检验： KK 与自由能耗散之间的相关性

8.4 社会系统

- 系统：制度对冲击的响应
- 扰动：经济或政治危机
- 测量：高于基线的社会熵产生（非稳态负荷、皮质醇、制度摩擦）和恢复时间
- 检验： κ 与社会熵产生之间的相关性

---

9. 开放问题

问题	状态	难度
Q1: $S(x)$ 的唯一性	给定领域是否存在多个有效的熵泛函?	困难
Q2: 变分原理	是否存在产生 $S(x)$ 的普适变分原理?	困难
Q3: 社会第二定律	恢复期间是否总是 $\sigma_{social} \geq 0$?	非常困难
Q4: 跨层级熵	一个层级的熵产生如何与另一个层级的熵产生相关?	困难
Q5: 测量	我们能否直接测量认知和社会系统中的超额熵产生?	中等
Q6: 统一	所有领域特定的熵泛函能否从单个普适泛函导出?	非常困难

---

10. 结论

每个耗散系统都通过持续重构来维持其吸引子。重构需要做功；做功产生超额熵。恢复率 κ — 修正渗透率 — 是系统受扰动后重构以返回其吸引子的速率。我们提出 κ 是超额熵产生率的度量。

我们发展了一个抽象的持久性成本框架，并证明其与李雅普诺夫理论的等价性。然后我们将熵产生识别为该成本的一种物理实现，推导出: $\kappa = \inf_{x} \delta(x) \int_0^\infty \sigma_{excess}(\phi_t(x))\, dt$ $\kappa = \inf_{x} \left[\int_0^\infty \sigma_{excess}(\phi_t(x)) dt \delta(x) \right]$

其中 $\sigma_{excess} = \sigma - \sigma_{ss}$ $\sigma_{excess} = \sigma - \sigma_{ss}$ 是系统稳态基线之上的超额熵产生率——对于物理系统是热力学熵，对于生物系统是代谢熵，对于认知系统是自由能耗散，对于社会系统是社会熵产生。

我们提出了一个统一基准：吸引子是该类系统最小熵产生的状态——对于平衡系统为零，对于耗散系统为非零稳态。这提供了一个跨领域识别吸引子的统一标准：吸引子是系统在不失去其定义性结构或功能的情况下无法进一步降低其熵产生的状态。

这统一了物理、生物、认知和社会系统。在每个领域中，持久性需要重构；重构产生超额熵；κ 度量该重构的熵成本。该框架建立在热力学第二定律和非平衡稳态热力学的基础上，而非类比。

社会应用： 该框架提供了社会动力学的热力学解释：和谐是低熵吸引子状态；动荡是高熵状态，由重构过程中的超额耗散产生。恢复率 κ 度量社会从动荡返回和谐的效率——即多快将其超额熵产生降至零。

---

11. 局限性

本文建立了一个具有提议的热力学实现的抽象持久性成本框架。应明确承认若干局限性：

1. 唯一性。熵产生未被证明是唯一的持久性成本。许多正泛函 $C(x)$ 满足 $\nabla_D \cdot f = -C$。将熵产生识别为规范成本是一个物理动机的假设，而非数学定理。
2. 范围。该框架不意味着所有领域都字面上遵循热力学。认知和社会实现是需要经验验证的提议假设。
3. 衰减假设。 σ_{excess} 的指数衰减是确保 D_∞ 有限性的充分假设，而非必要假设。推广到 L^1 可积衰减（如代数衰减）是未来工作的重点。
4. 盆地深度。盆地深度 $B = D_\infty(\text{鞍点})$ 是根据持久性成本泛函定义的。其与经典能垒的关系仅对梯度系统成立。
5. 经验验证。框架的预测——特别是 κ 与 D_∞ 之间的反比关系——仍有待跨领域经验检验。
6. 低能耗吸引子基准。 §6.3 中提出的基准是一个假设，而非推导出的定理。对于认知系统，它有可能混淆热力学熵产生与自由能最小化——其关系仍然开放的不同原则。

参考文献

Aubin, J. P. (1991). *Viability Theory*. Birkhäuser.

Boltzmann, L. (1877). “Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung.” *Wiener Berichte*, 76, 373-435.

Clausius, R. (1865). “Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie.” *Annalen der Physik*, 125(7), 353-400.

Freeman, R. A., & Kokotovic, P. V. (1996). *Robust Nonlinear Control Design: State-Space and Lyapunov Techniques*. Birkhäuser.

Freidlin, M. I., & Wentzell, A. D. (2012). *Random Perturbations of Dynamical Systems* (3rd ed.). Springer.

Friston, K. (2010). "The free-energy principle: a unified brain theory?" *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 127-138.

Galida, R. (2026a). "The Persistence Functional: A Candidate Formal Foundation for the Attractor Framework." *Fantasy Attractor*.

Galida, R. (2026b). "Deriving Corrective Permeability from the Cumulative Deviation Functional." *Fantasy Attractor*.

Jaynes, E. T. (1957). "Information Theory and Statistical Mechanics." *Physical Review*, 106(4), 620-630.

Khalil, H. K. (2002). *Nonlinear Systems* (3rd ed.). Prentice Hall.

Kondepudi, D., & Prigogine, I. (1998). *Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*. Wiley.

Lohmiller, W., & Slotine, J. J. E. (1998). "On contraction analysis for non-linear systems." *Automatica*, 34(6), 683-696.

Lyapunov, A. M. (1892). *The General Problem of the Stability of Motion*.

McEwen, B. S. (1998). "Stress, Adaptation, and Disease: Allostasis and Allostatic Load." *Annals of the New York Academy of Sciences*, 840(1), 33-44.

Nicolis, G., & Prigogine, I. (1989). *Exploring Complexity: An Introduction*. W. H. Freeman.

Parrondo, J. M. R., Horowitz, J. M., & Sagawa, T. (2015). "Thermodynamics of information." *Nature Physics*, 11(2),

131-139.

Prigogine, I. (1947). *Étude Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles*. Dunod.

Prigogine, I., & Nicolis, G. (1977). *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*. Wiley.

Sagawa, T., & Ueda, M. (2008). “Second law of thermodynamics with discrete quantum feedback control.” *Physical Review Letters*, 100(8), 080403.

Seifert, U. (2012). “Stochastic thermodynamics, fluctuation theorems and molecular machines.” *Reports on Progress in Physics*, 75(12), 126001.

Sekimoto, K. (2010). *Stochastic Energetics*. Springer.

Shannon, C. E. (1948). “A Mathematical Theory of Communication.” *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423.

Sterling, P., & Eyer, J. (1988). “Allostasis: A New Paradigm to Explain Arousal Pathology.” In *Handbook of Life Stress, Cognition and Health*, 629-649.

□□□□□ Galida, R. S. (2026). □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□. *Fantasy Attractor*.