

学习计划 (8 周, 6–10 小时/周)

本计划面向 AI 工程师，目标是在 **最短时间** 内补齐论文所需的物理/数学/因果/神经科学基础，让你能：

- **用得准** (术语与方程不踩雷)
- **说得清** (审稿人追问能接住)
- **写得稳** (论文表述更抗喷)

对应论文： paper_archive/manuscripts/Paper_Final_CN.md （中文稿）。

核心原则：每周只做两件事：读 2 份材料 + 写 1 页笔记 + 把笔记写回论文。

每周固定节奏（推荐）

- **3–5h**: 读 (2 份: 1 讲义/教程 + 1 综述/短论文)
- **1–2h**: 写 1 页笔记 (“定义/假设/边界/失效条件”)
- **1–3h**: 改论文 (加 Assumptions box、Scope、Failure modes、Limitations、符号表)

第 1 周 —— 线代与谱 (有效秩、谱间隙)

目标

把论文里所有“秩/有效秩/谱半径/谱间隙”等概念的用法补到可防守。

学什么

- 奇异值分解 (SVD)、特征值/特征向量、谱半径
- 谱间隙的直觉：混合速度/连通性/稳定性
- 有效秩 (奇异值熵) 与替代指标 (参与率等)

本周产出 (1 页)

- 你文中“有效秩”的定义、为什么用、替代指标有哪些、什么时候会误导

论文映射

- 大语言模型的秩坍缩/秩恢复：第 4 章相关小节（图 9）
- 谱间隙相关表述：第 2 章“临界温度与普适动力学方程”等段落（涉及谱间隙/扩散算子）

第 2 周 —— 热方程/热核 + 拉普拉斯-贝尔特拉米算子

目标

把“注意力 \approx 热核算子”的论述写得更严谨：哪些是等价，哪些是类比，成立条件是什么。

学什么

- 热方程、格林函数、热核的半群性质
- 拉普拉斯与拉普拉斯-贝尔特拉米算子的定义与几何意义
- 短时近似：什么时候可以用高斯核近似

本周产出（“假设与适用范围”小框）

给论文加一个“假设与适用范围”小框，明确：

- 归一化/球面近似
- 短时热核近似
- 度量/几何近似
- 什么时候你说的是“有效映射/类比”，不等于严格的算子等价

论文映射

- 热核映射：第 2 章关于热核映射关系的段落
- Beltrami/高斯核等价：附录“Attention 作为 Beltrami Flow 的离散化推导”

第 3 周 —— 随机过程：朗之万动力学与 Fokker–Planck 方程

目标

避免“符号和物理意义对不上”；把动力学方程放进标准形式。

学什么

- 过阻尼朗之万：漂移项与扩散项
- Fokker–Planck 与朗之万的对应关系
- 温度/噪声强度与稳态分布的关系

本周产出

- 1 页“符号表”： $\gamma, \beta, T, \lambda$ 的含义与尺度解释（必要时注明“计算温度/有效温度”）
- 把关键动力学方程改写成更标准的形式（即使你最终仍称其为“有效动力学”）

论文映射

- 几何对抗方程：第 2 章“临界温度与普适动力学方程”相关公式与解释

第 4 周 —— 统计物理：最大熵、自由能 → softmax

目标

把“softmax 从自由能最小化涌现”表述为：**在约束条件下的典范解**，避免写成“必然唯一”。

学什么

- 最大熵原理
- Gibbs/Boltzmann 分布与自由能 $F = U - TS$
- softmax 与 Gibbs 分布的对应条件

本周产出（改文案）

- 将“必然/唯一”改成“在给定约束下的典范解”

- 把约束列清楚：归一化、熵正则项、能量项的选择

论文映射

- 自由能泛函：第 2 章“亥姆霍兹自由能泛函”
- softmax 解释：第 2 章相关段落

第 5 周 —— Arrhenius/Kramers/玻璃态慢化（支撑“指数→多项式”）

目标

知道“指数时间”成立的条件；把你的“指数→多项式”写成强证据链，而不是数学定理式断言。

学什么

- Arrhenius 定律、Kramers 逃逸速率
- 玻璃态慢化：能垒分布、崎岖能景的典型条件
- 哪些可以证明、哪些只能做尺度分析/上界估计

本周产出（“尺度分析/注意事项”小框）

给“指数→多项式”段落加一个“尺度分析/注意事项”小框：

- 哪些步骤是启发式尺度分析
- 什么时候 $\log N$ 压缩不成立
- 你给出的可证伪预测是什么

论文映射

- Arrhenius 壁垒对数化：第 2 章“拓扑必要性证明：Arrhenius 壁垒的对数化”
- 自旋玻璃标度：第 3 章“复杂性壁垒的物理突破...”(图 13)

第 6 周 —— 重整化：严格 RG vs 有效类比

目标

把“重整化/虫洞/爱因斯坦-罗森桥”等词用得安全、漂亮、可被接受。

学什么

- RG 的最小必要概念：粗粒化、流、固定点、临界性（只要直觉，不要陷入证明）
- 在机器学习语境下“重整化”的常见用法：多为有效理论/类比

本周产出（术语修订）

在论文里加一段：“本文中‘重整化’一词的含义与边界”

并统一加限定词：例如“有效的/解释性的/类比性的”（避免偷换概念指控）。

论文映射

- 摘要与第 1–2 章中涉及“重整化/虫洞”的叙事段落

第 7 周 —— 因果：格兰杰、先行-滞后、干预 vs 相关

目标

把“因果”写成审稿人难喷的版本：时间先行证据 + 机制合理性 + 明确局限。

学什么

- Granger 的假设：线性、平稳、混杂
- “时间先行 \neq 因果干预”
- 如何把表述写成“证据与……一致”，而不是“证明”

本周产出（改表述）

- 把所有“因果证明/证明因果”统一改成更安全的语言
- 单独列出混杂因素与替代解释（局限性）

论文映射

- 先行-滞后分析：中文稿第 6 章相关小节（图 16）
- 虚拟干预（虚拟 TMS）：中文稿第 6 章相关小节（图 14C）

第 8 周 —— 意识/麻醉神经科学最低必要集（让生物部分更稳）

目标

把“意识=几何秩”的叙事降到“可证伪、可检验”的科学命题，避免过强宣称。

学什么

- Global Workspace 等意识框架 / 麻醉与丘脑-皮层通路（优先读综述）
- 常见意识指标（整合/复杂度/连通性）及局限

本周产出（“定位与边界”段）

增加一段“定位与边界”：

- 你的指标对应哪个理论维度
- 你明确不主张什么
- 下一步实验如何证伪/加强

论文映射

- 生物部分：中文稿第 6 章
- 讨论与结论：中文稿第 7 章

8 周结束后你会得到什么

- 一份可复用的 **定义/假设/失效条件** 备忘录（审稿追问可直接引用）
- 一份干净的符号表（符号含义不乱）
- 一套更抗喷的论文措辞（避免“偷换概念/过度因果/过强断言”）

- 一个清晰的“哪些是严格推导、哪些是有效类比”的边界