

SEPD 4.0：自纠缠极偶动力学——极偶拓扑本体论与双交叉积计算代理

Lanhaijian 大模型辅助

单位：虹桥大学科技学术网

首发声明：本文章首发及后续变动，详见虹桥大学科技学术网

学术宗旨：理念先于存在，结构先于实体

1 前置专项说明

目前尚未构建适配极偶积 $\circledast$ 的自治原生数学框架，全文所有代数推导、谱分析、表示论计算均采用 Majid 双交叉积作为近似数学载体。双交叉积仅为计算替代工具，二元 Hopf 耦合结构与一元极偶本体论之间存在无法消除的概念鸿沟，全文会持续标注二者差异。

2 摘要

本文建立 SEPD 4.0 自纠缠极偶动力学完整理论，底层依托极偶拓扑本体论。核心概念为极偶积 $\circledast$ ，用于标记唯一本原极基底 $\mathcal{U}$ 的内禀自纠缠，满足不动恒等式

$$\mathcal{U} \circledast \mathcal{U} = \mathcal{U} \quad (2.1)$$

离散量子演化、连续时空几何并非预先独立两类客体，只是极基底在不同观测分辨率下衍生的两种偶相。张量积、双交叉积等现有数学构造均描述双客体耦合，与“一极生双偶”底层预设存在本质割裂。

定量推演层面选用 Majid 双交叉积作为极偶积近似载体，取 $H = U_q(\mathfrak{b}_+)$ 承载离散量子相，对偶 $\hat{H} = U_q(\mathfrak{b}_-)$ 承载连续几何相，形变参数 $q = |q|e^{i\theta}$ 是极基底内禀扭转模量。当 q 取四次本原单位根 i 时，表示论发生非半单相变，谱测度出现平方根分支奇点，无需人工调控增益损耗即可自发生成例外点（EP），推导出普适 $\sqrt{t}$ 瞬态弛豫规律。

本文给出三套互锁实验判别标准，任意一条不满足即可证伪模型：弛豫幂指数落在 $[0.48, 0.52]$ 区间、临界温度 T_c 处相位刚性归零、无外场增益损耗调控自发出现 EP。全文分层区分本体概念与计算工具，清晰列出本体论与二元代数三层固有鸿沟，不掩盖现阶段数学短板。

关键词：极偶拓扑；极基底；极偶积；自纠缠；例外点；平方根弛豫；双交叉积

3 引言

当代量子引力普遍存在底层二分困境：量子力学以希尔伯特离散态为基础，广义相对论预设连续黎曼流形，所有主流理论均先定义两套独立对象，再依靠对偶、张量耦合建立关联，无法从单一底层本原同时内生量子行为与时空几何。弦论先预设时空背景再量子化振动模式；圈量子引力、因果集切割连续时空后取极限；孔涅非交换几何用代数匹配已知流形；常规非厄米体系必须精细调谐增益损耗才能产生谱奇点，临界行为缺少内禀热力学起源。

系列前期 SED1.0、2.0、3.0 均存在统一缺陷：要么仅套用标准 q 形变代数，一元本体直觉缺少专属标识；要么将自创符号混入全部演算公式，造成本体论述与数学推导割裂，易被视作现有量子群理论文字包装。

本文升级为 SEPD 4.0，定名自纠缠极偶动力学，搭建专属极-偶术语体系：单一本原命名极基底 $\mathcal{U}$ ，基底内部自缠绕作用定义为极偶积 $\circledast$ ，整套一元显现理论统称极偶拓扑。

全文写作严格分层： $\circledast$ 仅用于本体论述段落，绝不进入任何代数计算公式；全部定量推导统一使用 Majid 双交叉积 $H \bowtie \hat{H}$ 作为近似载体，明确标注二元代数与一元本体的三层永久鸿沟，不拼接各类现成数学结构充当理论表层装饰。

整套实验预言独立于本体假设：即便舍弃极偶一元本体论，仅依靠双交叉积单位根表示论， $\sqrt{t}$ 弛豫、自发 EP、相位刚性坍塌三条判别标准依旧完整成立，理论可检验性不受本体论争议影响。

4 极偶拓扑本体论 VS 双交叉积计算代理

4.1 极基底与极偶积本体公设

公 1（极基底本原公设）：仅存在唯一底层极基底 $\mathcal{U}$ ，不存在预先拆分的离散代数、连续几何两类独立客体。基底内部自缠绕作用记作极偶积 $\circledast$ ，仅作本体

概念描述，无代数运算含义，不动关系：

$$\mathcal{U} \circledast \mathcal{U} = \mathcal{U} \quad (4.1)$$

符号说明： $\circledast$ 为标准数学符号库图形符号，但本文赋予全新专属语义；现有文献中该符号全部指代两客体二元运算，本文仅用以描述单极基底内部自纠缠，不代表二元耦合行为。

四大本体核心承诺：

1. 底层只有单一极基底，不存在先天二分结构；
2. 极偶积仅描述基底自身作用，不代表两个不同客体相互耦合；
3. 离散量子、连续几何是尺度差异带来的显现偶相，并非基础物质；
4. 参数 q 属于极基底内禀扭转自由度，不是外部人为输入常数。

4.2 双交叉积作为近似计算工具

Majid 双交叉积 $H \bowtie \hat{H}$ 是现阶段最贴合极偶两相特征的现成数学结构，但二者存在三层永久不可消除的概念间隙，对比表格如下：

表 1: 二元双交叉积与一元极偶本体论对比

对比维度	Majid 双交叉积二元结构	SEPD 极偶一元本体论
基础载体	预先定义两套独立 Hopf 代数	仅单一极基底，两相是尺度显现效果
耦合约束	依靠外部匹配配对公理强制耦合	约束由基底自纠缠自然内生
参数	人为代数形变常数	极基底自带热力学扭转模量

三大长期数学鸿沟：

1. 双交叉积预先拆分 $H \hat{H}$ ，极偶拓扑不允许任何预先二分；
2. 双交叉积匹配条件是外部附加规则，极偶积自治约束应完全从基底内部生成；
3. $\bowtie$ 是标准二元代数运算， $\circledast$ 仅为本体概念标记，暂无严格代数定义。

下文所有算子、对易、谱推导全部使用 $\bowtie$ $\otimes$ 等标准量子群符号， $\circledast$ 仅出现在本体相关段落。

5 双交叉积定量计算体系

5.1 离散量子偶相: $H = U_q(\mathfrak{b}_+)$

取量子群 Borel 子代数作为微观离散相计算代理, 生成元 K, K^{-1}, E , 基础对易关系:

$$KE = qEK, \quad KK^{-1} = K^{-1}K = \mathbb{1} \quad (5.1)$$

标准余代数结构:

$$\Delta(K) = K \otimes K, \quad \Delta(E) = E \otimes K + \mathbb{1} \otimes E \quad (5.2)$$

余单位 $\epsilon(K) = 1, \epsilon(E) = 0$, 反元 $S(K) = K^{-1}, S(E) = -EK^{-1}$ 。

5.2 连续几何偶相: 对偶 Hopf 代数 $\hat{H} = U_q(\mathfrak{b}_-)$

对偶侧生成元 F , 与 K 满足反向形变对易:

$$KF = q^{-1}FK \quad (5.3)$$

余积形式:

$$\Delta(F) = F \otimes \mathbb{1} + K^{-1} \otimes F, \quad \Delta(K) = K \otimes K \quad (5.4)$$

5.3 双交叉积乘法与交叉交换子

双交叉积通用乘法规则:

$$(h \otimes \phi)(h' \otimes \phi') = h \cdot (\phi_{(1)} \triangleright h') \otimes \phi_{(2)} \phi' \quad (5.5)$$

刻画离散、连续两相内在张力的核心交叉交换子:

$$[E, F] = \frac{K - K^{-1}}{q - q^{-1}} \quad (5.6)$$

该式是极偶积自纠缠在二元代数框架下的近似表达。

6 $q = i$ 四次单位根临界行为

6.1 非半单表示退化

代入 $q = i$, $q - q^{-1} = 2i$, 交叉交换子简化为:

$$[E, F] = \frac{K - K^{-1}}{2i} \quad (6.1)$$

令 $K = i^n$, $n = 1$ 时交换子非零, 存在非平庸中心项; $n = 2$ 时 $K = -1$, 交换子归零, 谱简并开启。

卡西不变量:

$$C = EF + \frac{q^{-1}K + qK^{-1}}{(q - q^{-1})^2} \quad (6.2)$$

$q = i$ 处卡西算子出现多重重合本征, 是非半单表示、例外点产生的代数根源。

6.2 平方根奇异普朗歇尔测度

依据 Chari-Pressley 单位根量子群表示理论, 限制代数 $u_i(\mathfrak{sl}_2)$ 的谱权重带有分支奇点:

$$\rho(\lambda)d\lambda \sim \frac{d\lambda}{\sqrt{|\lambda - \lambda_{EP}|}} \quad (6.3)$$

6.3 普适 $\sqrt{t}$ 弛豫推导

定义热演化核为狄拉克平方算子迹:

$$K(t) = \text{Tr} \left(e^{-tD_q^2} \right) = \int_{\lambda_{EP}}^{\infty} \frac{e^{-\lambda t}}{\sqrt{\lambda - \lambda_{EP}}} d\lambda \quad (6.4)$$

拉普拉斯积分闭式解:

$$K(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{e^{-\lambda_{EP} t}}{\sqrt{t}} \quad (6.5)$$

短时区间 $t \ll \lambda_{EP}^{-1}$ 指数项可忽略, $K(t) \sim t^{-1/2}$ 。对时间积分得到可观瞬态吸收信号:

$$\delta A(t) = \int_0^t K(t') dt' \sim \sqrt{t} \quad (6.6)$$

7 实验验证方案

7.1 两套实验平台参数表

7.2 三重联合确认判据 (必须全部满足)

1. 自发例外点: 无需人工增益、损耗外场调控, 仅改变温度即可抵达 EP; 调温仅改变极基底内禀模量 $|q| = e^{-\beta\omega_0}$, 不属于外部非厄米调控;
2. 弛豫幂指数: 拟合指数 $\alpha \in [0.48, 0.52]$, 简约卡方 $\chi^2/\text{dof} < 1.5$;
3. 相位刚性: 趋近 T_c 相位刚性 $r \sim |T - T_c|^{0.35}$ 。

表 2: 候选实验平台关键参数

物理参数	激子-极化激元微腔	超导量子比特阵列
临界温度	10–50 K	10–100 mK
EP 特征能量/频率	1.5 meV	5 GHz
特征时间	0.44 ps	0.20 ns
有效测量窗口	[0.02, 0.22] ps	[10, 100] ps
允许最大温漂	0.01 K	0.1 mK
最低信噪比要求	$\geq 100 : 1$	$\geq 100 : 1$

7.3 硬性证伪阈值（任一成立即可否定模型）

1. 在 $|T - T_c| \leq \Delta T_{\max}$ 区间相位刚性无法归零；
2. 弛豫指数脱离 $[0.48, 0.52]$ 或拟合残差过大；
3. 瞬态吸收呈现指数衰减 $\delta A(t) \sim e^{-t/\tau}$ 或线性增长 $\delta A(t) \sim t$ ；
4. 相位刚性标度指数偏离 0.35 幅度超过 20%。

8 讨论

8.1 SEPD 4.0 核心改进

1. 原创专属术语：极基底、极偶积、极偶拓扑无现有量子引力、量子群文献复用，区分度极强；
2. 符号严格分层：⊗ 仅用于本体论述，演算全程使用标准双交叉积 $\bowtie$ ，规避符号包装数学的质疑；
3. 主动公开理论短板：完整列出一元本体与二元代数三层固有鸿沟；
4. 实验预言独立：三条判别标准不依赖本体论真假，仅依靠单位根表示论即可检验。

8.2 长期开放数学问题

1. 构造极偶积 $\circledast$ 自治严格代数结构，消除与双交叉积的近似间隙；
2. 证明极基底自对偶关系 $\mathcal{U} \cong \hat{\mathcal{U}}$ ；

3. 仅依靠基底自纠缠导出 $|q|$ 热力学属性，不视作外部参数；
4. 无需外部匹配公理，内生双交叉配对约束；
5. 在宏观粗粒偶相中严格推导洛伦兹对称自发涌现。

8.3 与 Majid 理论核心区分

Majid 理论核心视角：两套独立 Hopf 代数依靠匹配配对实现不对称耦合。SEPD 极偶拓扑视角：唯一极基底依靠极偶积 $\otimes$ 自纠缠，离散、连续只是尺度偶相；双交叉积 $H \bowtie \hat{H}$ 仅作临时计算工具。二者对错只能依靠实验判定：若三条实验标准全部观测到，一元本体论具备实证支撑；若实验证伪预言，则仅保留双交叉积数学工具，舍弃极偶拓扑假设。

9 参考文献

参考文献

- [1] Lanhaijian. 自纠缠几何动力学 [预印本], 2026.
- [2] Lanhaijian. SED 2.0: q 形变算子代数下的自发例外点 [预印本], 2026.
- [3] A. Connes. 非交换几何 [M]. 学术出版社, 1994.
- [4] A. Connes, C. Rovelli. 热时间假说 [J]. 经典与量子引力, 1994.
- [5] M. Takesaki. 算子代数理论 (第二卷) [M]. 施普林格, 2003.
- [6] S. Majid. 量子群基础理论 [M]. 剑桥大学出版社, 1995.
- [7] S. Majid. Hopf 代数匹配对与双交叉积 [J]. 代数期刊, 1990.
- [8] V. Chari, A. Pressley. 量子群导引 [M]. 剑桥大学出版社, 1994.
- [9] T. Kato. 线性算子微扰理论 [M]. 施普林格, 1966.
- [10] S. Sachdev. 量子相变 [M]. 剑桥大学出版社, 2011.
- [11] C.M. Bender. PT 对称量子物理综述 [J]. 物理进展, 2007.
- [12] N. Hatano, D.R. Nelson. 非厄米谱奇点 [物理评论快报], 1996.