**电子-正电子湮灭的场组合动力学与能级重分配：基于ABC涡旋场耦合的严格数学物理模型**  
**李志军，赵光耀**  
 摘要  
本文构建了电子-正电子湮灭过程的严格量子场论框架，通过引入ABC涡旋场耦合机制（色荷场、希格斯场、电磁场），统一描述场组合动力学与能级重分配。模型首次将非微扰色荷场坍缩、希格斯能级重整化与QED辐射过程纳入自洽体系，给出含修正的能动量守恒律及光子能量分配公式。理论预言希格斯残余场占比，可通过高能对撞机双光子末态角分布与能量谱进行实验检验。本工作为量子场论规范不变性、非微扰效应与实验观测的精确衔接提供新范式。  
 .一、引言  
电子-正电子湮灭（）是QED中的基础过程，但传统微扰理论难以描述色荷场非微扰效应与希格斯场耦合。基于ABC涡旋场机制（Li et al., *Phys. Rev. D* **108**, 036020 (2023)），本文建立场组合动力学模型，解决以下关键问题：  
1. 色荷场瞬时坍缩的数学表述  
2. 希格斯场对光子能级的重整化修正  
3. 严格能动量守恒中的起源  
4. 实验可观测的参数约束  
二、 场算符与量子态定义  
 2.1 费米子场  
**电子场**（自旋1/2）：

其中、为电子/正电子湮灭算符，为Dirac旋量。  
**正电子场**（电荷共轭态）：

为电荷共轭算符，满足。  
 2.2 规范玻色子场  
**光子场**（自旋1）：

为光子湮灭算符，满足Lorentz规范。  
三、 场组合动力学演化  
 3.1 S矩阵与相互作用哈密顿量  
湮灭过程由矩阵描述：

相互作用哈密顿量包含三项核心机制：  
 3.2 色荷涡旋场的瞬时坍缩  
非微扰效应导致色荷场两点函数指数衰减：

其中为QCD能标，该过程贡献于湮灭初态重整化。  
 3.3 希格斯涡旋场的能级重整化  
希格斯场通过混合：

为残余希格斯场占比，实验约束（ATLAS Collaboration, *JHEP* **05**, 160 (2023)）。  
 3.4 电磁涡旋场的生成  
QED主导的双光子辐射由Feynman图描述：

其中为虚光子动量，为度规张量。  
四、 严格的能量-动量分配  
 4.1 修正的能动量守恒  
引入希格斯场携带的能动量：

该修正源于场的非零真空期望值，破坏传统QED的严格能动量守恒。  
 4.2 光子能量分配  
考虑量子修正后，光子能量为：

其中，为散射角，项导致角分布偏离QED预言。  
4.3 分支比约束  
总衰变宽度修正为：

项源于希格斯场与光子的非微扰耦合。  
五、 实验检验方案  
 5.1 角分布测量  
在Belle II实验中，通过拟合微分截面：

修正将导致前向/后向峰不对称性，当前灵敏度可达。  
 5.2 光子能量谱  
在LEP数据中分析双光子不变质量谱：

偏移可被高精度量能器探测（CMS Collaboration, *EPJC* **83**, 285 (2023)）。  
六、 结论  
本文建立了电子-正电子湮灭的严格数学物理模型，核心创新包括：  
1. **ABC涡旋场统一框架**：将色荷场坍缩、希格斯重整化、QED辐射纳入自洽体系  
2. **能动量守恒修正**：首次给出的解析表达式  
3. **实验可验证性**：约束可通过Belle II/LEP数据检验  
模型严格满足量子场论规范不变性，为非微扰效应与实验观测的精确衔接提供新范式。  
 参考文献  
1. Li ZJ et al. *Phys. Rev. D* **108**, 036020 (2023)  
2. ATLAS Collaboration. *JHEP* **05**, 160 (2023)  
3. CMS Collaboration. *EPJC* **83**, 285 (2023)  
4. Peskin ME, Schroeder DV. *An Introduction to Quantum Field Theory*. Westview Press (1995)  
5. Belle II Collaboration. *arXiv:2305.07833* (2023)