**相互作用力程的微观起源：基于光子与介子场组合波函数的统一模型**

**作者：** 李志军，赵光耀

**摘要：**本文基于李志军ABC场组合理论，提出了一个统一解释相互作用力程（长程与短程）的微观波动力学模型。核心论点为：相互作用的力程取决于其传播子场组合波函数的固有属性——传播子场的主导组分质量是否为零。 光子场组合 因其A场组分质量为零 ，支持任意大波长模式，导致电磁力呈 的长程势； 介子场组合 因其C场组分有效质量非零 ，其波函数在动量空间被限制在 ，傅里叶变换后导致核力呈 的短程势。本文通过严格计算两类传播子的波函数相干叠加积分与傅里叶变换，统一推导出库仑势与Yukawa势，从第一性原理揭示了力程差异的微观机制。该模型将电磁力与核力纳入统一的场组合波函数框架，为理解基本相互作用的尺度特性提供了深刻的物理图像。

**关键词：** ABC场组合理论；力程；光子场组合； 介子场组合；传播子；库仑势；汤川势

1. **引言：力程问题的统一框架**

自然界中存在力程迥异的基本相互作用：电磁力理论上无限远，而核力约1飞米（fm）。传统理论分别用光子的零质量和 介子的有限质量来解释。本文旨在建立一个统一的波动力学模型，从场组合波函数的固有属性出发，揭示力程差异的共同本质。

1. **理论框架：传播子场组合波函数与力程**

**2.1 传播子场组合的普遍表述**

任何相互作用的传播子都可视为一个场组合态：

其中 代表传播子类型（如 或 ）。其力程取决于该态的整体属性，特别是其等效质量 ，由主导场的质量决定。

**2.2 光子场组合：长程力的起源**

光子的场组合态为：

* 主导场：电磁涡旋场（A场），其静质量 。
* 波函数特性：A场波函数 满足无质量波动方程 ，其平面波解 支持 的无限长波长模式。
* 等效质量：。

**2.3 介子场组合：短程力的起源**

介子的场组合态可表述为：

* 主导场：希格斯涡旋场（C场），其有效质量 （源于手征对称性自发破缺）。
* 波函数特性：C场波函数 满足有质量Klein-Gordon方程 ，其波矢被限制在 ，无法支持波长 的模式。
* 等效质量：。

1. **统一推导：从波函数到相互作用势**

相互作用势 是传播子波函数在坐标空间的格林函数，可通过计算其传播子 的傅里叶变换得到。

3.1 光子传播子与库仑势（长程）

光子传播子在动量空间为：

由于其无质量（），在静态极限（）下，传播子变为：

对之进行三维傅里叶变换，即计算积分：

该积分收敛于：

因此，电磁势为库仑势：，力程无限。

**3.2 介子传播子与汤川势（短程）**

介子传播子在动量空间为：

由于其有质量（），在静态极限下，传播子变为：

对之进行三维傅里叶变换：

该积分可通过球坐标系计算：

利用留数定理，计算该积分可得：

因此，核力势为汤川势：，其中力程 。

1. **对比与统一：力程的波动力学诠释**

下表从场组合波函数的角度，统一对比了两种相互作用：

| **特性** | **电磁力 (光子场组合)** | **核力 ( 介子场组合)** |
| --- | --- | --- |
| 传播子场组合 |  |  |
| 主导场 | A场 (电磁场) | C场 (希格斯场) |
| 主导场质量 |  |  |
| 波函数允许模式 | 所有 |  |
| 传播子 |  |  |
| 势函数 | 库仑势 | 汤川势 |
| 力程 | 无限远 | 有限， |
| 物理机制 | A场质量为零，支持全域相干 | C场有效质量截断长波模式 |

1. **结论**

本文通过构建光子与 介子的场组合波函数模型，统一解释了相互作用力程的微观起源：

1. 统一性：长程与短程相互作用均可纳入场组合波函数的框架下理解，其力程取决于传播子场主导组分的质量是否为零。
2. 数学本质：力程的差异在数学上源于传播子格林函数在动量空间极点位置的不同（ 与 ），导致傅里叶变换后分别为 和 。
3. 物理图像：零质量场支持任意长波的激发，导致全域相干，形成长程力；有质量场的激发存在能隙，抑制长波模式，导致局域相干，形成短程力。
4. 理论深度：该模型不仅统一描述了力程差异，更深刻地揭示了“质量”在决定相互作用时空尺度中的根本作用，为探索更深层次的物理规律提供了新视角。

**参考文献**[1] Li, Z.J. “On the Unified Origin of Interaction Range from Field-Composition Wavefunctions”. Preprint (2023).  
[2] Peskin, M.E., Schroeder, D.V. An Introduction to Quantum Field Theory. Westview Press (1995).  
[3] Yukawa, H. “On the Interaction of Elementary Particles”. Proc. Phys. Math. Soc. Japan (1935).  
[4] Feynman, R.P. “Space-time approach to quantum electrodynamics”. Phys. Rev. (1949).  
[5] Weinberg, S. The Quantum Theory of Fields: Foundations. Cambridge University Press (1995).