引力子媒介的质子衰变：场组合的量子隧穿与拓扑荷转移

作者： 李志军，赵光耀

摘要：  
在ABC理论框架下，引力子 () 是唯一能与所有场组合分支 () 发生相互作用的玻色子，它不仅是时空度规的激发，更是连接正质量物质世界 (真空) 与负质量暗物质世界 (真空) 的基本门户。本文严格证明，引力子可通过提供虚能-动量转移，催化质子场组合发生量子隧穿，跨越巨大势垒，衰变为暗物质场组合。我们构建了质子和暗物质的场组合基态表示，推导了其间的势能景观与势垒高度 。通过引入引力子与希格斯场动能项的耦合项

并利用瞬子路径积分计算量子隧穿概率幅

证明引力子背景能诱导负能量密度 ，有效降低势垒 ，从而增大衰变概率 。最终估算质子寿命 年，并阐释其通过拓扑荷转移实现场组合重组的微观机理。

关键词： ABC理论；引力子催化；质子衰变；量子隧穿；瞬子；拓扑荷；暗物质

1. **引言：引力作为统一相互作用的门户**

在ABC理论中，引力子 () 是唯一能与所有场组合分支 () 发生相互作用的玻色子。它不仅是时空度规的激发，更可能是连接正质量物质世界 (真空) 与负质量暗物质世界 (真空) 的基本门户。本章将严格证明，引力子可以通过提供虚能-动量转移，催化质子场组合发生量子隧穿，跨越巨大的势垒，衰变为暗物质场组合。

1. **场组合的势能景观与衰变通道**

2.1 质子的场组合基态

一个质子 (p) 的场组合可表示为色荷场 在 真空中的一个拓扑非平庸的孤子解：

其中 是归一化因子， 是夸克的波函数包络。该态是色单态，且是 真空中的局部能量极小值（亚稳态）。

2.2 暗物质的场组合基态

假设的衰变末态是两个暗物质费米子 和一个正电子 （用于守恒电荷）：

该态是 真空中的全局能量极小值（真真空）。

2.3 势能景观与势垒

两个真空之间存在一个巨大的势能垒 ，其高度由希格斯场的自耦合强度 决定：

其中 是希格斯真空期望值。质子衰变需要从 真空的局部极小点，隧穿到这个势垒，到达 真空的全局极小点。

1. **引力子媒介的催化机制**

3.1 有效相互作用拉格朗日量

引力子与物质场的耦合由能量-动量张量 决定：

可分解为各场组合分支的贡献：。

我们提出，关键的催化项源于引力子与希格斯场 C 的动能项的耦合：

这一项可以在不直接传递能量的情况下，扰动希格斯场的真空构型，从而降低隧穿势垒。

3.2 量子隧穿的概率幅计算

质子衰变 是一个非微扰过程。其概率幅由瞬子路径积分给出：

其中有效拉格朗日量 包含了物质场、引力场以及它们的相互作用。

在 saddle-point approximation（最速下降法）下，这个幅值由主导瞬子解 主导：

其中 是欧几里德作用量（通过 Wick 转动得到）。

3.3 引力子降低隧穿势垒的机制

计算表明，存在一个引力子背景场的瞬子解 ，它会在希格斯场中诱导出一个等效的负能量密度 ，从而有效降低了势垒的高度：

其中 。

因此，有引力子参与的欧几里得作用量 将小于无引力子时的作用量 ：

这使得衰变概率指数增大：

引力子通过提供一种“负能量”背景，有效地协助希格斯场翻越势垒，催化了隧穿过程。

1. **质子寿命的估算**

衰变率 与寿命 的关系为 。

其中 是一个巨大的无量纲数。通过量纲分析和数量级估算：

其中 是新物理的能标（例如 GeV）。代入得：

因此，

这个数值大得惊人，但可以通过引入额外的催化机制（如更高维的算子、更低的能标 ）来将其降低到 年左右的观测允许范围。关键在于，引力子的介入确实使得原本绝对稳定的质子拥有了一个有限但极其漫长的寿命。

1. **结论：机理阐释**

在李志军ABC理论框架下，质子衰变的机理可总结如下：

1. 初始态： 质子作为 真空中的一个稳定的拓扑孤子（重子数 B=1）。
2. 催化媒介： 虚引力子 作为媒介，与希格斯场 的动能项耦合，在时空某点产生一个局域的负能量密度涨落。
3. 量子隧穿： 该负能量涨落有效降低了 真空与 真空之间的势垒高度，使得质子场组合通过量子隧穿效应，得以跨越势垒。
4. 场组合重组： 在隧穿过程中，色荷场 的拓扑荷（重子数）被“中和”或“转移”，希格斯场 的真空期望值符号发生翻转（从 到 ）。
5. 末态： 重组后的场组合在 真空中稳定下来，表现为暗物质粒子 和正电子 （重子数 B=0）。

此过程深刻揭示了：

* 引力子是连接可见与不可见世界的终极桥梁。
* 物质的稳定性（质子寿命）与量子引力效应（普朗克能标）和新物理能标（如大统一能标）存在着深刻的联系。
* 重子数可能并非绝对守恒，而是一种在低能下近似成立的拓扑荷，在量子引力层面可以被破坏。

这一机理为理解物质与暗物质的相互转化提供了第一个数学上自洽的量子场论描述。

参考文献  
[1] Li, Z. J. (2023). The ABC Mechanism in the Universe.  
[2] Hawking, S. W. (1979). The Path-Integral Approach to Quantum Gravity. In General Relativity: An Einstein Centenary Survey (pp. 746–789). Cambridge University Press.  
[3] ’t Hooft, G. (1976). Symmetry Breaking Through Bell-Jackiw Anomalies. Physical Review Letters, 37(1), 8–11.  
[4] Coleman, S. (1977). The Fate of the False Vacuum. I. Semiclassical Theory. Physical Review D, 15(10), 2929–2936.  
[5] Rubakov, V. A. (2002). Classical Theory of Gauge Fields. Princeton University Press.