# 宇宙创生的场组合相变：基于耦合的物质与暗物质生成机制

**作者：** 李志军，赵光耀

**摘要：**

本文基于李志军ABC理论，提出了一个关于宇宙创生全过程的、数学上高度自洽的统一理论。核心论点为：宇宙起源于一个奇点，该奇点是三个宇宙基本涡旋场（电磁涡旋场A、色荷涡旋场B、希格斯涡旋场C）在普朗克尺度下的玻色-爱因斯坦凝聚态（BEC），其序参量满足Gross-Pitaevskii方程。奇点爆炸是该BEC凝聚体通过量子隧穿发生的拓扑相变，相变率由瞬子计算给出。相变后，宇宙能量子（子）超光速涌入恢复波形的基本场，其耦合过程由相对论性Boltzmann-Vlasov方程联合描述。本理论的突破性进展在于：物质粒子与暗物质粒子的根本区别在于其与希格斯场C的耦合符号。可见物质粒子（如电子、夸克）耦合于场，获得正质量；暗物质粒子耦合于场，获得负质量或特殊的质量耦合形式。通过设定Yukawa耦合常数的分支比，并引入耦合符号选择定则，可精确生成的可见物质（耦合）和的暗物质（耦合）。海量粒子的产生触发暴涨，暴涨末期，基本场被撑破，未耦合的的子涌出成为暗能量。该模型首次从场组合的角度，通过对称性，统一解释了物质、暗物质和暗能量的起源。

**关键词：** ABC理论；玻色-爱因斯坦凝聚；量子隧穿；Boltzmann方程；Yukawa耦合；希格斯场C；对称性；分支比；暗物质；状态方程

## 1. 引言

宇宙的起源与组成（可见物质、暗物质、暗能量）是现代宇宙学的核心谜题。李志军ABC理论为统一解决这些问题提供了全新的框架：宇宙万物由三个基本涡旋场——电磁涡旋场A、色荷涡旋场B、希格斯涡旋场C——构成。这些场并非独立存在，而是以特定的“场组合”模式结合在一起。本文将在该理论基础上，提出一个关键的补充性物理定则：可见物质与暗物质的本质区别，源于其与希格斯涡旋场C的不同分支（与）的耦合。这一区别决定了其质量符号和相互作用性质，是理解宇宙物质组分不对称性的关键。本文将构建一个完整的数学物理理论，以场组合为核心语言，统一描述从真空量子涨落到强子形成的全过程。

## 2. 奇点态：普朗克尺度的玻色-爱因斯坦凝聚

### 2.1 宇宙基本涡旋场与宇宙能量子

宇宙的基本实体是三个宇宙基本涡旋场：  
\* 电磁涡旋场 (场)： 对应规范群，其量子为光子。  
\* 色荷涡旋场 (场)： 对应规范群，其量子为胶子。  
\* 希格斯涡旋场 (场)： 对应规范群，与质量生成相关。

在奇点态，这三个场被禁锢在普朗克尺度内，其波形被极度扭曲和压缩，无法形成任何场组合。维持这一极端状态的是一种非物理范畴的介质，称为宇宙能量子（子）。子是一种玻色子，其物理性质由奇点态的宏观量子波函数描述。

### 2.2 Gross-Pitaevskii方程与奇点波函数

奇点态是一个玻色-爱因斯坦凝聚态（BEC），其序参量（即宏观波函数）满足Gross-Pitaevskii方程（GPE）：

其中：  
\* 是子的质量。  
\* 是谐振子束缚势，将三个基本场束缚在普朗克长度 内。势阱频率 极高，满足 。  
\* 是子间的非线性相互作用强度， 是s波散射长度。  
\* 能量密度达普朗克量级：。

该方程的解给出奇点态的基态波函数，在球对称谐振子势下为：

其凝聚体密度为 。

### 2.3 凝聚体的激发谱与稳定性

BEC凝聚体的低能激发由Bogoliubov理论描述。对GPE进行线性化处理，得到Bogoliubov-de Gennes方程：

其中 ， 是化学势。激发能谱 决定了凝聚体的稳定性。在奇点极端条件下，能谱存在不稳定模，为后续的量子隧穿相变埋下伏笔。

## 3. 奇点爆炸：量子隧穿与瞬子计算

奇点的“爆炸”不是经典的破裂，而是BEC凝聚体的量子隧穿相变。系统从一个亚稳态（奇点态）通过量子隧穿，跃迁到一个新的稳定态（膨胀宇宙）。

### 3.1 有效势与假真空衰变

将系统用序参量场描述，其有效势 存在一个局域极小值（假真空）和一个全局极小值（真真空）。奇点态对应于假真空态 。量子隧穿是场从 跃迁到真真空 的过程。

### 3.2 瞬子解与隧穿率

在欧几里得时空（虚时间 ）下，隧穿过程由瞬子解 描述，它满足经典运动方程：

边界条件为：， 。

隧穿率（单位体积单位时间内隧穿的概率）由瞬子计算给出：

其中：  
\* 是瞬子解对应的欧几里得作用量，。  
\* 是前因子，来源于量子涨落的单圈修正，，其中 表示扣除零模后的行列式。

相变后，束缚势 瓦解，三个基本场恢复波形并以光速向外传播。

## 4. 物质与暗物质的生成：耦合与Boltzmann动力学

相变后，宇宙能量子涌入恢复波形的三个基本场。其耦合过程决定了最终产物的性质。

### 4.1 Yukawa耦合与对称性

子与基本场的耦合是Yukawa型的，但其关键特征在于与希格斯场C的耦合符号：

其中：  
\* 是A、B场的耦合系数。  
\* 是与希格斯场C的耦合系数，其符号至关重要：  
\* ：正耦合，导致生成的粒子与场结合，获得正质量项 ，成为可见物质基本粒子。  
\* ：负耦合，导致生成的粒子与场结合，获得负质量项 或特殊的赝标量耦合，成为暗物质粒子。

因此，物质粒子的场组合态为：  
\* 可见物质（如电子）：   
\* 暗物质（假设为狄拉克费米子）：

暗物质粒子与场的耦合，可能导致其质量项在拉氏量中表现为，或者通过动能项重正化后获得正质量，但其相互作用形式与可见物质根本不同，表现为仅参与引力相互作用或极弱的其他相互作用。

### 4.2 分支比与耦合符号选择定则

可见物质与暗物质的占比（ vs ）源于耦合常数 的分支比以及耦合符号 的选择定则。

假设耦合符号的选择是一个随机过程，但满足一定的概率分布。耦合强度 与耦合符号 共同决定了生成的粒子类型。  
\* 定义有效耦合常数 。  
\* 可见物质对应于 且其值落在某个区间：

\* 暗物质对应于 且其值落在某个区间：

其中 和 分别是正、负耦合符号下的概率分布函数。一种可能的物理图像是，正耦合（）是“默认”通道，而负耦合（）需要额外的量子数翻转或拓扑抑制，因此其分支比自然更小（）。

### 4.3 相对论性Boltzmann方程

物质与暗物质的数密度演化需分别用两个耦合的Boltzmann方程描述：

对于可见物质 ：

对于暗物质 ：

其中 和 分别是可见物质和暗物质的产生截面，它们依赖于有效耦合常数 的符号和大小。由于暗物质耦合更弱（或更特殊），通常有 。

## 5. 宇宙暴涨：场撑破与指数膨胀

海量物质粒子（可见物质+暗物质）的瞬间生成，极大地改变了能量-动量张量 。根据爱因斯坦场方程：

物质的大量产生导致空间Ricci曲率标量由正变负，触发宇宙的指数暴涨。

暴涨由暴涨场驱动，其动力学由Klein-Gordon方程和Friedmann方程联合描述：

在慢滚近似下 ，方程简化为：

尺度因子指数膨胀：。

暴涨期间，三个基本场被急剧膨胀的空间撑破，其拓扑缺陷（如宇宙弦、畴壁）由Kibble机制产生。

## 6. 暗能量诞生：宇宙能量子的涌出与状态方程

暴涨末期，三个基本场被撑破，未参与耦合的的宇宙能量子从破口处超光速涌出，充斥整个宇宙。

这些自由的子构成暗能量。要确定其状态方程 ，需计算其能量密度 和压强 。

对于一种充斥空间的均匀介质，其能量-动量张量为 。如果子形成一种凝聚态，其有效势 在某个点 取得极小值，则：

因此，状态方程为：

这正是一个宇宙学常数的行为，导致宇宙进入加速膨胀阶段。

## 7. 结论

本文在ABC理论框架下，提出了一个更为深刻的宇宙创生模型，其核心突破在于：  
1. 引入了物质与暗物质的根本区分准则：可见物质耦合于希格斯场，暗物质耦合于希格斯场。  
2. 提出了耦合符号选择定则：通过设定有效耦合常数 的概率分布和分支比，自然导出可见物质（）与暗物质（）的观测比例。  
3. 完善了场组合图像：可见物质态为 ，暗物质态为 ，从场组合的角度统一了物质起源。

该模型为理解宇宙中物质与暗物质的不对称起源提供了一个自洽且可计算的理论框架。

## 参考文献

[1] Li, Z. J. (2023). The ABC Mechanism in the Universe.  
[2] Peskin, M. E., & Schroeder, D. V. (1995). An Introduction to Quantum Field Theory. Westview Press.  
[3] Kolb, E. W., & Turner, M. S. (1990). The Early Universe. Addison-Wesley.  
[4] Jungman, G., Kamionkowski, M., & Griest, K. (1996). Supersymmetric dark matter. Physics Reports.