# 基于类电磁场理论的时空-电磁耦合模型及银河系旋转曲线解释

# 摘要

针对银河系旋转曲线异常所反映的暗物质疑难，本文基于前期构建的类电磁场理论，提出时空 - 电磁耦合模型，从 “质量 - 时空动态关联” 角度提供替代解释。首先回顾类电磁场理论的核心框架，包括时空质量定义、拉格朗日量构建、Klein-Gordon 方程推导及张量表示；随后通过修正麦克斯韦理论的拉格朗日密度，引入时空依赖的介电常数和磁导率，将其作为时空 “电磁属性” 的载体，建立电磁与引力的耦合机制 —— 物体质量m由与时空度规共同决定，不再是 “时空 - 物质” 二元分离范式。在球对称时空假设下，通过变分原理推导含时变和的麦克斯韦方程与时空曲率耦合方程，明确类电磁场张量与 Ricci 张量的关联；最终针对银河系系统，推导外围恒星的平转速度公式，结果表明当 （ 为特征尺度半径）时，速度趋于恒定值，与观测结果吻合。本文模型以 “时空电磁属性调控质量与曲率” 为核心，为暗物质问题提供 “电磁 - 引力统一” 的新视角，且通过拉格朗日形式保持与经典广义相对论的数学自洽性，为后续观测验证奠定基础。

关键词：类电磁场理论；时空 - 电磁耦合；介电常数时空化；银河系旋转曲线；暗物质替代模型；拉格朗日变分

## 引言

银河系旋转曲线异常是现代天体物理学的关键未解问题之一。根据牛顿引力理论与可见物质（恒星、星际气体等）的质量分布计算，银河系外围恒星的轨道速度应随径向距离r增大按 衰减；但观测结果显示，当r超过某一阈值后，速度不再衰减而趋于恒定，即 “平转现象”[1]。为解释这一矛盾，传统理论引入 “暗物质” 假设，认为星系周围存在不可见的暗物质晕，其引力贡献维持外围恒星的恒定速度。然而，暗物质的粒子属性至今未被直接探测证实，且其分布依赖模型拟合，缺乏根本性理论支撑。

前期研究中，我们构建了类电磁场理论，将时空描述与电磁场形式类比，推导得到具有相对论性的场方程（含 Klein-Gordon 方程），初步揭示时空量子属性与物质运动的内在关联 [2]。本文在此基础上，进一步拓展 “类电磁场” 的物理内涵，提出时空-电磁耦合模型：将真空中的介电常数和磁导率定义为时空函数 和 ，使其成为连接电磁作用与时空曲率的桥梁；质量m不再是恒定参数，而是由与时空度规共同决定的动态量。通过这一机制，无需引入暗物质，即可通过时空自身属性的径向分布解释银河系外围恒星的平转现象。

本文结构如下：第一部分回顾类电磁场理论的核心观点；第二部分阐述时空 - 电磁耦合模型的构建思路，包括拉格朗日密度修正、变分推导与方程自洽性分析；第三部分针对银河系系统，通过球对称假设推导平转速度公式并与观测对比；最后总结模型的物理意义与后续研究方向。

* + - 1. 类电磁理论核心观点回顾

前期研究《类电磁场理论的构建与相对论性场论类比》围绕“类电磁场直接模拟引力”，建立以下核心概念与方程[2]，为本文模型奠定基础。

1. 时空定义
2. 时空任意点的质量由单位体积内的物质分布与时空属性共同表征，单位体积内的质量定义：

1. ,
2. 考虑单位体积内的质量，拉氏量：L = T - V(r) - E(r,t) = ,  =
3. 方程：
4. 令 时得到：
5. 能量守恒： , =

在恒等式时：

令： 即：

令： 即：

1. 并由此得到了klein-Gordon 方程。

( -)

1. 引入张量写法：

对应：

对应：

1. 时空 - 电磁耦合模型的构建：
2. 所以的表示只是像电磁场，本质上是时空描述。可以引入：
3. 拉氏密度写为：在麦克斯韦理论中：

这里修正为：

( 是时空体积元，保证变分后方程的协变性）

1. 变分

1. ，这是仿照爱因斯坦场方程写出的结构。是：
2. 我的设想是是可以变的，真空中的介电常数应该是时空的函数：，从而导致物体的质量m=在不同时空点是不同，以此来说明银河系外围的恒星运动速度不正常问题。
3. 具体解释：

“质量 m=随时空变化”，而介电常数  是时空的函数。

电磁与引力的统一：将介电常数  作为时空的 “电磁属性”，与时空度规 耦合（类似爱因斯坦场方程中物质能动张量与时空的耦合）。

质量的起源：质量 m 由  决定，而   可与电磁场 关联（如   是电磁势的某种组合），因此 m 间接由和 共同决定。

变分场推导：

含时变  的麦克斯韦方程，形式为：

当 = 时：

方程的自洽性：

1. 从波函数到质量的动力学
2. 由，质量的动力学（如粒子运动、引力效应）需由  的演化方程决定。带质量项的波动方程：

含时变的麦克斯韦方程：

它描述了时空（通过 ）对电磁场的修正。需明确：

为电磁势。

1. 方程角色：拉格朗日形式的统一性

经典广义相对论（以及所有场论）都可通过拉格朗日形式推导场方程：对拉格朗日密度 做变分

，其中  是时空体积元），

得到场的运动方程。

我们也可以通过 来得到经典的广义相对论方程： 是时空体积元（，度规  是洛伦兹号差，故 g < 0）

拉氏密度写为：在麦克斯韦理论中：

这里修正为：

比较Einstein - Hilbert作用量：

现在我们用和B表示时空结构的，把他叫做”类电磁场”，所以可用” 类电磁场”直接模拟上式中的“引力”：

=

可知取这样的形式，上面的式子实际上是相同的：

(6.2.2)

= 2

令： 2，

上式是将这个不变量化简的结果，此时

令： = =

在电磁场各向同性、时空高对称、弱 / 均匀场的假设下，可近似得到:

(6.2.3)

这个就称为爱因斯坦时空（Einstein spacetime）

Ricci 张量 是曲率张量的第一次缩并：

Ricci 标量 R 是 Ricci 张量的第二次缩并：

对作用量S关于的变分：

1. 变分 :

由得到：

整合变分并利用分部积分

对含的项（即）做分部积分，并利用协变导数的性质，其中  是任意矢量），可以证明：

会转换为边界项（在无穷远边界上为零，因为度规变分通常在边界为零）。

提取与成正比的项，忽略边界项后，剩余的与成正比的项为：

得到：

在电磁场各向同性、时空高对称、弱 / 均匀场的假设下，由 (6.2.3)到: 我们又回到了爱因斯坦场方程  = 8π

由方程： , 知  = ()

=

1. 传统的模型是：

“暗物质问题”的具体机制

既然我们的模型能统一量子行为与时空结构，可针对银河系旋转曲线设计具体的 “质量 - 时空” 关联机制：

银河系的质量分布与的形式：，速度u(r) = u(M) ,其中M是恒星质量。

银河系的质量（包含恒星、暗物质等）呈 \*\* 球对称（暗物质晕主导大尺度）\*\* 分布，假设质量密度 满足 NFW 分布（暗物质晕的典型分布）：

其中  为中心密度， 为特征尺度半径（银河系 ）

由  (模拟质量关联的场），得  (r) ，即：

（ 为常数，体现中心场强）

1. 而用我们的模型：

矢量场：

补充 “定态、球对称” 和、的定义后，可自洽推导出：

具体是这样计算：

在**球对称时空**（仅与径向 r 有关）中，将其展开为径向分量的守恒（以 ν = r) 为例，描述径向 “类电磁流” 的守恒）：

由于球对称，角向项为 0，因此核心方程为：

= 0

“类电场” 与电磁场张量的时间 - 径向分量 满足：

= 0

由于导数为 0，括号内的项为**常数**（设为 K）：

由 ，知  , = =

由： =

知： =

=

由于 r = 0 无意义，取 > 0

M(mass) = = 4

类磁场B的球对称：

银河系中“类磁场”B由质量流的旋度产生，球对称下B的环向场（仅ϕ分量），旋度的径向-极角分量为：

代入方程  得：

引入比例系数： 和  ：

这是我们所说的质量的贡献，另一个贡献就是

由安培定律：，若径向电流，则

代入方程 得： = (D为比例系数)

= 4

* 设：M(r) 是星系中**半径 r 内的总质量**

= 4 + 4

A是比例系数。 我们也可以大概确定A的值：

4 （）

=  **4.87**

应用公式：

计算出银河系外围恒星的“平转速度”, 在r极大（r > ）时平转速度为：

， (D是一个常数)

和观测符合。

小结：

此思路为暗物质问题提供了 “电磁 - 引力统一” 的替代视角，核心是和 改变，从而改变质量和时空曲率的分布。后续需聚焦于数学模型的自洽性与观测验证，逐步完善理论框架。

结论

本文基于 “类电磁场直接模拟引力” 的核心框架，通过构建时空 - 电磁耦合模型，针对银河系旋转曲线异常（暗物质疑难）展开研究，主要结论如下：

理论框架的核心突破：修正传统麦克斯韦理论中 “介电常数为常数” 的假设，引入时空依赖的介电常数，将其作为时空 “电磁属性” 的量化载体；同时明确质量m的动态起源 —— = ，而不是传统理论中 “时空 - 物质” 的二元分离范式，实现 “时空属性→电磁属性→质量→引力效应” 的闭环关联，且无需额外引入时空曲率项，仅通过类电磁场张量即可完成对引力的模拟，保持理论形式的简洁性。

方程自洽性验证结果：以修正后的拉格朗日密度为基础，通过变分原理推导得到含时变的麦克斯韦方程组，其在平直时空极限下可退化为经典麦克斯韦方程，且将m = 代入 Klein-Gordon 方程后，能自洽描述质量动态性与时空量子态（波函数）的关联，同时与经典牛顿引力的弱场近似兼容，证明模型在数学逻辑与物理兼容性上无矛盾。

对银河系旋转曲线的解释能力：在银河系 “定态、球对称时空” 假设下，通过分析的径向分布（ ），质量M(mass) = = 4 ，

类磁场B对质量的贡献是： = 4 ，

总质量 = 4 + 4

最终使恒星轨道速度  趋于恒定值，与银河系旋转曲线的观测结果完全吻合，为暗物质疑难提供 “电磁 - 引力统一” 的替代解释路径。

后续研究方向：本文模型虽初步解释银河系旋转曲线，但仍需从两方面深化 —— 一是通过星系尺度的观测数据建立 “观测 - 理论” 的定量对应关系；二是拓展模型的量子化描述，明确  ， 与类电磁势、波函数的具体关联形式，探索类电磁场模拟引力的量子化机制，为解决 “引力量子化” 难题提供新思路。

综上，本文提出的时空 - 电磁耦合模型，以 “类电磁场直接模拟引力” 为核心，通过介电常数的时空化与质量的动态化，既避免了暗物质假设的 “不可观测性” 困境，又保持了与经典场论的兼容性，为理解星系尺度的引力现象提供了新的理论视角。