**高能光子与天体相互作用的场组合动力学：基于非弹性散射截面的波函数失稳模型**

**作者：** 李志军，赵光耀

**摘要：**  
基于李志军场组合波函数理论，本文构建了一个数学自洽的模型来描述高能光子撕裂天体的微观机理。核心模型将天体物质的稳定性表述为原子核与电子场组合波函数的束缚态本征值问题，而将高能光子的作用表述为一种含时微扰。通过计算高能光子场组合与物质场组合的相互作用哈密顿量及其对应的散射截面，我们定量描述了导致原子核光致蜕变和原子电离的”波函数撕裂”概率。该模型证明，当光子能量超过特定阈值且通量足够大时，对物质场组合结构的破坏率将超过其重组率，从而导致天体宏观结构的崩溃。

**关键词：** 场组合理论；相互作用哈密顿量；散射截面；波函数坍缩；光致蜕变；电离截面

1. **引言**
2. **理论框架：稳定性、微扰与失稳的数学模型**

**2.1 天体物质稳定性的场组合本征值问题**

一个原子（以氢原子为例）的稳定态，是其场组合波函数（质子与电子的场组合直积）在电磁相互作用（源于A场）下的定态薛定谔方程的解：

其中，是未微扰哈密顿量，包含动能项和库仑势能项。对应束缚态，其波函数在空间中是局域化的。稳定性即处于能量最低的本征态。

**2.2 高能光子作为含时微扰**

一个能量为的高能光子，其场组合波函数可视为一个作用于的含时微扰。相互作用的本质是光子A场与电子A场及原子核的耦合。

**2.3 “撕裂”的数学定义：电离与蜕变截面**

“撕裂”对应于系统从束缚态到连续态的量子跃迁。其概率由费米黄金定则给出：

其中是末态态密度。该跃迁率直接关联到物理上的散射截面：

* 对于原子层级，是光电电离截面。
* 对于原子核层级，是光致中子发射截面。

“撕裂”的宏观表现，正对应于这些微观散射截面在大量粒子上的统计结果。

1. **核心数学模型：撕裂机理的定量描述**

**3.1 原子层级撕裂模型：高能光电效应**

考虑一个高能光子将K层电子电离。其微分截面可用相对论性的Sauter公式近似：

* ：原子序数
* ：精细结构常数
* ：经典电子半径
* ：出射电子速度
* ：出射电子角度

关键点：当时，截面。虽然截面随能量增加而减小，但每个光子传递给电子的能量更大，破坏力更强。

**3.2 原子核层级撕裂模型：巨偶极共振与光致蜕变**

原子核的集体激发可用巨偶极共振模型描述，光致蜕变截面在共振能量附近出现峰值，可用Breit-Wigner公式描述：

* （为质量数）
* ：共振宽度（通常几MeV）
* ：最大截面

当时，光子有高概率将原子核”撕裂”成一个激发态的子核和一个中子。

**3.3 宏观能量沉积与失稳判据**

设高能光子流密度为（photons/cm²/s）。单位体积内原子核被撕裂的速率为：

其中是原子核数密度。

天体结构失稳的判据是：能量沉积率超过其结构重组或散热的速率。

能量沉积率为：

其中是每次相互作用沉积的平均能量（如核蜕变能、电子动能）。

当（冷却率）时，天体温度急剧上升，压力平衡被打破，导致宏观撕裂。

1. **数值模拟与讨论**

通过代入典型参数（如, , 铁核），可以计算出在极端事件（如伽马射线暴）中，天体表层物质可以在极短时间内被完全电离和改变元素组成，导致灾难性后果。

1. **结论**

本文构建的数学模型表明，高能光子对天体的”撕裂”本质上是一个由量子力学基本规则支配的、可定量的散射过程。通过计算相互作用截面和能量沉积率，我们可以精确预测天体结构在极端辐射场下的稳定性极限。这为理解伽马射线暴、活跃星系核等超高能天体物理现象对周边环境的影响提供了坚实的理论基础。

**参考文献**  
[1] Li, Z.J., Zhao, G.Y. “场组合理论及其天体物理应用”. 预印本(2023)  
[2] Fermi, E. “核物理”. 芝加哥大学出版社(1950)  
[3] Heitler, W. “辐射的量子理论”. 牛津大学出版社(1954)  
[4] Burbidge, G.R. 等. “恒星中元素的合成”. 现代物理评论(1957)  
[5] Lang, K.R. “天体物理公式：物理学家和天体物理学家的汇编”. 斯普林格出版社(1999)