

恒星环境强场对 3α 反应率的影响

Saturday, 26 April 2025 14:25 (20 minutes)

3α 过程是宇宙核合成中最关键的反应之一，它控制着碳的合成，并作为通往更重元素的门户，塑造了宇宙中观测到的元素丰度 [1-3]。三个 α 粒子通过中间态 Be-8 原子核产生 C-12 的共振态。稳定 C-12 的生成速率取决于共振态的衰变宽度。最为 C-12 最重要的共振态，霍伊尔态的衰变宽度已通过地面实验室得到了高精度测量，并用于计算 3α 反应率。

然而，强场核物理学的最新进展挑战了这种传统的核合成范式：恒星环境中的衰变宽度与自由空间中的衰变宽度相同吗？目前最先进的激光场强度可达 10^{23} W/cm² [4]，这与高密度恒星环境等离子体中 α 粒子所受到的库仑场强度相当。人们已经法相了如此强度的激光场改变了核过程，如衰变产物的光谱 [5]、衰变隧穿率 [6-10] 和聚变截面 [11-13] 等。

在这项工作中，我们基于 TDHF 模型研究了强库仑场环境下 C-12 链状态的共振与衰变，提取了不同场强下的共振时间，发现强场加速 C-12 链状态衰变的规律。在此基础上，基于反应率公式研究了强库仑场对 3α 反应率的增强效应，结果表明，当恒星密度为 10^9 g/cm³ 时，恒星等离子体提供的库仑场可使 3α 反应速率提高 1252 倍。值得注意的是，质子弹性散射的类似增强已被证明会影响重质量原子核的产生 [14,15]。这项工作介绍了以前被忽视的强库仑电场的效应，为 3α 反应速率增强提供了一个新的视角，并强调了它们对预测恒星环境中重元素丰度的重要性。

- [1] F. Herwig, S. M. Austin, and J. C. Lattanzio, Phys. Rev. C 73, 025802 (2006).
- [2] C. Tur, A. Heger, and S. M. Austin, The Astrophysical Journal 671, 821 (2007).
- [3] C. West, A. Heger, and S. M. Austin, The Astrophysical Journal 769, 2 (2013).
- [4] J. W. Yoon, Y. G. Kim, I. W. Choi, J. H. Sung, H. W. Lee, S. K. Lee, and C. H. Nam, Optica 8, 630 (2021).
- [5] H. M. Castaneda Cortes, C. Muller, C. H. Keitel, and A. Paly, Physics Letters B 723, 401 (2013).
- [6] D. S. Delion and S. A. Ghinescu, Physical Review Letters 119, 202501 (2017).
- [7] S. Misiu and M. Rizea, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 40, 095101 (2013).
- [8] D. P. Kis and R. Szilvasi, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 45, 045103 (2018).
- [9] D. Bai, D. Deng, and Z. Ren, Nuclear Physics A 976, 23 (2018).
- [10] S. A. Ghinescu and D. S. Delion, Physical Review C 101, 044304 (2020).
- [11] F. Queisser and R. Schutzhold, Physical Review C 100, 041601 (2019).
- [12] W. Lv, H. Duan, and J. Liu, Physical Review C 100, 064610 (2019).
- [13] S. Liu, H. Duan, D. Ye, and J. Liu, Physical Review C 104, 044614 (2021).
- [14] S. Jin, L. F. Roberts, S. M. Austin, and H. Schatz, Nature 588, 57 (2020).
- [15] H. Sasaki, Y. Yamazaki, T. Kajino, and G. J. Mathews, Physics Letters B 851, 138581 (2024).

Primary author: SU, Jun (Sun Yat-sen University)

Presenter: SU, Jun (Sun Yat-sen University)

Session Classification: 分会场一