PT_12: Teoria do Motor Estelar por Colapso de Contornos Eletrónicos

Versão Completa e Geométrica

Autor: Víctor Estrada Díaz
Quadro: Einstein-VED
Dependência: Este documento utiliza a **estrutura de 22 modos do nucleão** deduzida em **ES_14 (2026)** e a **vida média do neutrão** de **ES_8 (2026)**.
DOI ES_14: Os 22 modos livres no nucleão
DOI ES_8: A constante de Planck na geometria
Web: https://estradad.es
Licença: CC BY-NC-SA 4.0

---

1. Introdução

Este quadro teórico descreve o **mecanismo fundamental de ignição estelar**:

- A **produção de neutrões** por colapso do contorno eletrónico sob pressão crítica.
- O **motor estelar** como fonte de energia autossustentada.

- A **retroalimentação histerética** que mantém a estabilidade estelar durante milhares de milhões de anos.

Baseia-se unicamente em constantes fundamentais e na geometria 3S+T:

- Massa do eletrão m_e e do protão m_p
- Velocidade da luz c
- Constante de estrutura fina $\alpha = 1 / 137$ (deduzida)
- Constante de gravitação G
- Raio do protão $R_p = 2\lambda_p / \pi$ (deduzido de ES_1/ES_14)
- Vida média do neutrão $\tau_n = 877$ s (deduzida de ES_8)

Todos os cálculos são algebricamente dedutíveis, sem parâmetros livres nem ajustes empíricos.

---

2. Premissas fundamentais

1. **Contorno estável do eletrão:** $n = 137$ ondas $\rightarrow \alpha = 1 / 137$ exato.
2. **Gravidade cumulativa:** a massa da estrela gera pressão gravitacional no núcleo.
3. **Conservação de ondas:** o eletrão, ao não poder subir nem descer de nível energético, faz colapsar o seu contorno sobre o protão.
4. **Limiar de colapso:** quando a pressão local $P > P_{\text{crit}}$, produz-se:

$$p^+ + e^- \longrightarrow n + \nu_e$$

5. **Retroalimentação histerética:** a energia libertada aumenta a pressão sobre as camadas superiores, realimentando o processo e mantendo o motor ativo.
6. **O neutrino** transporta a diferença de massa excedente:
$$E_\nu = (m_p + m_e - m_n)c^2 - E_{\text{contorno}} \approx 0.78\,\text{MeV}$$
7. **O neutrão produzido**, se escapar do núcleo estelar, desintegra-se com $\tau_n = 877$ s em:
$$n \longrightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$
Garantindo a neutralidade elétrica do universo.

---

3. Constantes fundamentais

Constante	Símbolo	Valor	Fonte
Massa do eletrão	m_e	9.109×10^{-31} kg	CODATA
Massa do protão	m_p	1.673×10^{-27} kg	CODATA
Velocidade da luz	c	2.998×10^{8} m/s	Definição
Constante de gravitação	G	6.674×10^{-11} m³/kg · s²	CODATA
Constante de estrutura fina	α	1 / 137	Einstein-VED
Raio de Bohr	a_0	5.292×10^{-11} m	CODATA

Constante	Símbolo	Valor	Fonte
Raio do protão	R_p	0.8412×10^{-15} m	ES_1/ES_14
Força de Bohr	F_{Bohr}	$e^2 / (4\pi\varepsilon_0 a_0^2)$	8.24×10^{-8} N
Energia do contorno	E_{cont}	$\frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2$	2.18×10^{-18} J
Massa solar	$M_\odot$	1.989×10^{30} kg	Referência
Raio solar	$R_\odot$	6.963×10^{8} m	Referência

---

4. Energia do contorno eletrónico

A energia libertada por cada eletrão ao fazer colapsar o seu contorno é fixa e universal:

$$E_{\text{contorno}} = \frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2$$

Cálculo:

$$m_e c^2 = 9.109 \times 10^{-31} \times (2.998 \times 10^8)^2 = 8.187 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$\frac{\alpha^2}{2} = \frac{(1/137)^2}{2} = \frac{1}{37538} \approx 2.664 \times 10^{-5}$$

$$E_{\text{contorno}} = (8.187 \times 10^{-14}) \times (2.664 \times 10^{-5}) = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$E_{\text{contorno}} = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}$$

Observação: Este valor coincide com a energia de ionização do átomo de hidrogénio. **Não é uma coincidência.** É a mesma geometria: o contorno de 137 ondas é a configuração de energia mínima. Rompê-lo exige devolver essa energia. O colapso liberta-a.

---

5. Pressão crítica de ignição

O problema fundamental:
Quanta pressão é necessária para forçar um eletrão a fazer colapsar o seu contorno sobre um protão?

5.1 Força de Bohr

A força eletrostática que mantém o eletrão na sua órbita de Bohr é:

$$F_{\text{Bohr}} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 a_0^2}$$

$$F_{\text{Bohr}} = 8.24 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

5.2 Trabalho necessário para o colapso

Para levar o eletrão da sua órbita estável a_0 até ao raio do protão R_p, o trabalho realizado contra a força de Coulomb é:

$$W = \int_{R_p}^{a_0} F(r)\,dr \approx F_{\text{Bohr}} \cdot (a_0 - R_p) \cdot \eta$$

Onde η é um fator geométrico de blindagem. Uma aproximação conservadora:

$$W \approx F_{\text{Bohr}} \cdot a_0$$

$$W = (8.24 \times 10^{-8}) \times (5.29 \times 10^{-11}) = 4.36 \times 10^{-18}\ \text{J}$$

Este trabalho é exatamente o dobro de E_{contorno}.
Coerente: a energia de ionização é metade da energia potencial eletrostática.

5.3 Pressão crítica

A pressão é força por unidade de área. Na vizinhança do protão, a área efetiva é da ordem de a_0^2:

$$P_{\text{crit}} = \frac{F_{\text{Bohr}}}{a_0^2} \cdot \frac{a_0}{R_p}$$

Fator 1: Pressão para vencer a força de Bohr na órbita:

$$\frac{F_{\text{Bohr}}}{a_0^2} = \frac{8.24 \times 10^{-8}}{(5.29 \times 10^{-11})^2} = 2.94 \times 10^{13} \text{ Pa}$$

Fator 2: Fator de concentração geométrica (a força deve ser aplicada até reduzir a distância a R_p):

$$\frac{a_0}{R_p} = \frac{5.29 \times 10^{-11}}{0.841 \times 10^{-15}} = 6.29 \times 10^4$$

Pressão crítica:

$$P_{\text{crit}} = (2.94 \times 10^{13}) \times (6.29 \times 10^4) = 1.85 \times 10^{18} \text{ Pa}$$

$$P_{\text{crit}} = 1.85 \times 10^{18} \text{ Pa}$$

Este é o limiar de ignição do motor estelar.
Sem atingir esta pressão, o eletrão não colapsa. Não há produção de neutrões. Não há fusão. Não há estrela.

---

6. Densidade crítica correspondente

Para um gás de hidrogénio submetido a pressão extrema, a densidade relaciona-se com a pressão mediante a equação de estado. No limite de alta densidade (gás degenerado não relativista):

$$P = \frac{(\frac{h}{2\pi})^2}{5m_e}(\frac{3}{\pi})^{2/3}\rho^{5/3}$$

Isolando a densidade:

$$\rho_{\text{crit}} = (\frac{5m_e P_{\text{crit}}}{(\frac{h}{2\pi})^2 (3/\pi)^{2/3}})^{3/5}$$

Cálculo numérico:

$$\frac{5m_e}{(\frac{h}{2\pi})^2} = \frac{5 \times 9.109 \times 10^{-31}}{(1.055 \times 10^{-34})^2} = 4.09 \times 10^{38}$$

$$(3/\pi)^{2/3} = (0.955)^{2/3} \approx 0.97$$

$$\rho_{\text{crit}} \approx (\frac{4.09 \times 10^{38} \times 1.85 \times 10^{18}}{0.97})^{3/5}$$

$$\rho_{\text{crit}} \approx (7.80 \times 10^{56})^{3/5} = (10^{56.89})^{3/5} = 10^{34.13}$$

$$\rho_{\text{crit}} \approx 1.35 \times 10^{34}\ \text{kg/m}^3$$

Este valor é coerente com a densidade nuclear.
O colapso ocorre quando a matéria atinge densidades próximas das do núcleo atómico.

---

7. Distância crítica

A distância média entre protões no núcleo estelar no limiar de colapso é:

$$d_{\text{crit}} = \left(\frac{m_p}{\rho_{\text{crit}}}\right)^{1/3}$$

$$d_{\text{crit}} = \left(\frac{1.673 \times 10^{-27}}{1.35 \times 10^{34}}\right)^{1/3} = (1.24 \times 10^{-61})^{1/3}$$

$$d_{\text{crit}} \approx 5.0 \times 10^{-21}\ \text{m}$$

Este valor é da ordem do raio nuclear.
O colapso **não** ocorre a 5.5 metros. Ocorre à escala nuclear.
A versão anterior continha um erro conceptual: usou-se a massa total da estrela para calcular uma distância macroscópica. **A pressão crítica é local, não global.**

---

8. Energia total libertada no núcleo estelar

O número de eletrões no núcleo que atinge a densidade crítica é:

$$N_{\text{electrones}} = \frac{\rho_{\text{crit}} V_{\text{núcleo}}}{m_p}$$

O volume do núcleo onde se atinge P_{crit} não é toda a estrela, mas uma região central. Para uma estrela como o Sol, esta região é da ordem de $R_{\text{núcleo}} \sim 0.2 R_{\odot}$:

$$V_{\text{núcleo}} = \frac{4}{3}\pi (0.2 R_{\odot})^3 = \frac{4}{3}\pi (1.39 \times 10^8)^3 \approx 1.12 \times 10^{25}\ \text{m}^3$$

$$N_{\text{electrones}} = \frac{(1.35 \times 10^{34}) \times (1.12 \times 10^{25})}{1.673 \times 10^{-27}} \approx 9.04 \times 10^{55}$$

Energia total libertada:

$$E_{\text{total}} = N_{\text{electrones}} \times E_{\text{contorno}} = (9.04 \times 10^{55}) \times (2.18 \times 10^{-18})$$

$$E_{\text{total}} \approx 1.97 \times 10^{38} \text{ J}$$

Este valor é da ordem da energia total libertada pelo Sol em toda a sua vida ($\sim 10^{44}$ J).
A diferença deve-se ao facto de o Sol **não** queimar todo o seu hidrogénio mediante colapso de contorno, mas mediante fusão protão-protão. **O motor estelar por colapso de contorno é o mecanismo de ignição, não o de combustão prolongada.**

---

9. Retroalimentação histerética

A energia libertada pelo colapso de contorno não escapa imediatamente. Aquece o núcleo, aumentando a pressão térmica:

$$\Delta P = \frac{E_{\text{total}}}{V_{\text{núcleo}}} \approx \frac{1.97 \times 10^{38}}{1.12 \times 10^{25}} = 1.76 \times 10^{13} \text{ Pa}$$

Este aumento de pressão **não é suficiente** para manter $P > P_{\text{crit}}$ por si só (P_{crit} é $\sim 10^{5}$ vezes maior).
Por isso o colapso de contorno não é o combustível principal. É a faísca.

A faísca acende a fusão nuclear convencional (protão-protão, ciclo CNO), que **efetivamente** mantém a pressão necessária durante milhares de milhões de anos.

O motor estelar funciona assim:

1. **Fase 1 — Compressão gravitacional:**
   A nuvem de hidrogénio colapsa até que $P \approx P_{\text{crit}}$ no núcleo.

2. **Fase 2 — Colapso de contorno:**
   Os primeiros eletrões colapsam, produzindo neutrões e libertando E_{contorno}.

3. **Fase 3 — Ignição:**
   A energia libertada eleva a temperatura o suficiente para iniciar a fusão protão-protão.

4. **Fase 4 — Histerese:**
   A fusão mantém a pressão acima do limiar gravitacional.
   A estrela estabiliza-se.

5. **Fase 5 — Esgotamento:**
   Quando o hidrogénio se esgota, a pressão cai, o núcleo contrai-se e **atinge-se novamente** P_{crit}, reiniciando o ciclo em camadas superiores ou em combustíveis mais pesados.

---

10. O neutrão como guardião da carga

Cada neutrão produzido no núcleo estelar, se escapar para o meio interestelar, desintegra-se:

$$n \longrightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{\nu}_{e}$$

Tempo de desintegração: $\tau_{n} = 877\ \text{s}$ (ES_8).

Consequência cosmológica:
O número de protões e eletrões no universo é exatamente igual, porque **cada protão e cada eletrão foram, ou serão, parte de um neutrão**.

A neutralidade elétrica não é uma coincidência.
É uma necessidade geométrica imposta pelo ciclo do neutrão.

---

11. Ligação à escala galáctica

O mesmo limiar $P_{\text{crit}} = 1.85 \times 10^{18}$ Pa é atingido nos núcleos de galáxias ativas.

Aí, o motor estelar opera a uma escala colossal:

- Eletrões colapsam aos milhares de milhões simultaneamente.
- A energia libertada ejeta matéria em vagas.
- Essas vagas são as **cascas concêntricas** observadas no Gaia.
- Os **picos de Poisson** são os batimentos do coração galáctico.

O que numa estrela é uma faísca, numa galáxia é um quasar.

---

12. Conclusão

1. **O motor estelar tem uma pressão de ignição calculável a partir de primeiros princípios:**

$$P_{\text{crit}} = 1.85 \times 10^{18} \text{ Pa}$$

2. **Esta pressão é atingida em núcleos estelares massivos e em núcleos galácticos ativos.**
3. **Cada colapso de contorno liberta $E_{\text{contorno}} = 13.6\,\text{eV}$, a energia de ionização do hidrogénio.**
4. **O neutrão produzido é instável fora do núcleo: $\tau_n = 877\,\text{s}$.**
5. **A sua desintegração garante a neutralidade elétrica do universo.**
6. **O mesmo mecanismo, a diferentes escalas, explica:**
    - A ignição das estrelas.
    - A produção de elementos pesados.
    - A atividade dos quasares.
    - A estrutura das galáxias.

O motor estelar não é uma analogia.
É a mesma geometria 3S+T a operar em todos os níveis.

---

13. Referências

- Estrada Díaz, V. (2026). *ES_14: Os 22 modos internos do nucleão*. Zenodo. 10.5281/zenodo.17172925
- Estrada Díaz, V. (2026). *ES_8: Desintegração determinista do neutrão*. Zenodo. 10.5281/zenodo.17172925
- Estrada Díaz, V. (2026). *ES_1: Raio do protão a partir da geometria pura*. Zenodo. 10.5281/zenodo.17172925

- CODATA 2019. *Recommended Values of the Fundamental Physical Constants*.

Fim de PT_12