

# NEWCOMPSTAR

---

EXPLORANDO FÍSICA FUNDAMENTAL  
COM ESTRELAS COMPACTAS

---

2014 – 2017



Estrelas compactas, como estrelas de neutrões, estrelas estranhas ou estrelas híbridas, são laboratórios únicos que nos permitem investigar os constituintes fundamentais da matéria e as suas interações em regimes não exploráveis nos laboratórios terrestres. Estes objetos excepcionais deram já origem a várias descobertas em física nuclear e de partículas, cromodinâmica quântica, relatividade geral e astrofísica de altas-energias.

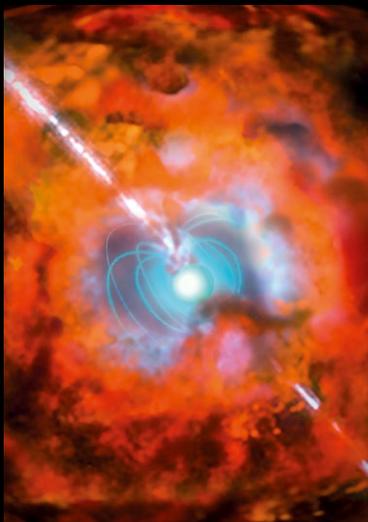
A próxima geração de observatórios e detetores de ondas gravitacionais irá continuar a nutrir as descobertas fundamentais, complementando as descobertas alcançadas através da física nuclear e de partículas.

A Ação MPNS COST MP1304 Explorando física fundamental com estrelas compactas (NewCompstar) reuniu os principais especialistas em astrofísica, física nuclear e física gravitacional para estudar esta fascinante e desafiante área de investigação através de uma abordagem interdisciplinar. Para além de uma agenda de investigação inovadora e bem definida, a rede forneceu também um programa de formação avançada para uma nova geração de cientistas com formação num largo espectro de especialização e também orientada à inovação e transferência de conhecimento.

**Fig. 1** – A nave espacial XMM-Newton da agência espacial europeia (ESA), um observatório de raios-X.  
Crédito da imagem: Spacecraft Icons at NASA Science



# 1. OBSERVAÇÕES E MODELAÇÃO DE ESTRELAS COMPACTAS

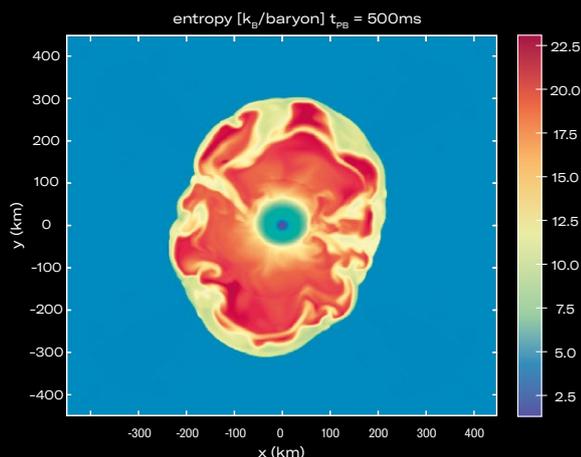


**Fig. 2** – Explosões de raios gama e magnetares. Explosões de Raios Gama (ERG) são os eventos mais violentos conhecidos no Universo. Sabemos, atualmente, que as ERG “longas” estão associadas à morte de estrelas massivas, enquanto as ERG “curtas” estão provavelmente associados à fusão de objetos compactos antigos (estrelas de neutrões e/ou buracos negros). Visão artística de uma supernova associada a uma explosão de raios gama gerada por um magnetar em rápida rotação, uma estrela de neutrões com um campo magnético muito intenso.  
Crédito da imagem: ESO (<http://www.eso.org/public/images/eso1527a/>)

O nosso conhecimento da astrofísica das estrelas compactas tem sofrido um avanço substancial recentemente, graças à disponibilidade de novos telescópios e observatórios espaciais. A existência destes instrumentos tem sido crucial para a compreensão de estrelas compactas. Instrumentos planeados, (por exemplo, FAST, o maior radiotelescópio de disco único do mundo, LOFT com um inovador sistema de modelação de perfis e SKA com a sua alta sensibilidade) irão oferecer informação sem precedentes sobre estrelas compactas.

Através de uma colaboração próxima entre equipas teóricas e experimentais, esta Ação desenvolveu uma abordagem abrangente das diversas manifestações das estrelas de neutrões, incorporando no seu estudo tanto conhecimentos da microfísica como da modelação do espaço-tempo.

O objetivo final da Ação tem sido aliar os vários, em parte contraditórios, resultados em abordagens que usam observações de raios-X e gama e contrastá-los com previsões teóricas (por exemplo, simulações hidrodinâmicas e magneto-hidrodinâmicas de estrelas de neutrões, modelos para os “glitches” nos pulsares, processos de emissão, modelos atmosféricos e magnetosféricos, simulação de supernovas) e as suas implicações (através da síntese da população de estrelas de neutrões).



**Fig 3** – Colapso do núcleo de Supernovas: fogo-de-artifício cósmico fascinante. Imagem de uma simulação a três dimensões do colapso do núcleo duma supernova. Mostra-se a entropia por barião no início da explosão, para os 1000 km mais profundos da supernova.  
Crédito da imagem: K. Ebinger, O. Heinemann, M. Liebendörfer  
M. Liebendörfer

## 2. FÍSICA DA INTERAÇÃO FORTE, TEORIA E EXPERIÊNCIA

Estrelas compactas e os processos astrofísicos observados relacionados com estas, providenciam constrangimentos nas propriedades de matéria hadrônica quente e densa, como a equação de estado, superfluidez, coeficientes de transporte e parâmetros de elasticidade. Analisar matéria que interage fortemente mesmo em condições extremas requer a reunião de especialistas em QCD a baixas energias e em Teoria de muitos corpos. De facto, um dos grandes problemas teóricos é que a teoria que descreve a interação e dinâmica de quarks e glúons, a QCD, é não-perturbativa no regime relevante para as estrelas compactas. Além de que os efeitos dos muitos corpos, comportamentos coletivos ou de emparelhamento, tornam o diagrama de fases da matéria hadrônica muito rico, mas também cheio de subtilezas.

A relação entre experiências nucleares e a física de estrelas compactas não é direta, mas uma nova sinérgia entre experiências nucleares e observações astronômicas em estrelas compactas, que têm sido a razão da Ação, irão criar impacto em toda a modelação teórica de estrelas compactas.

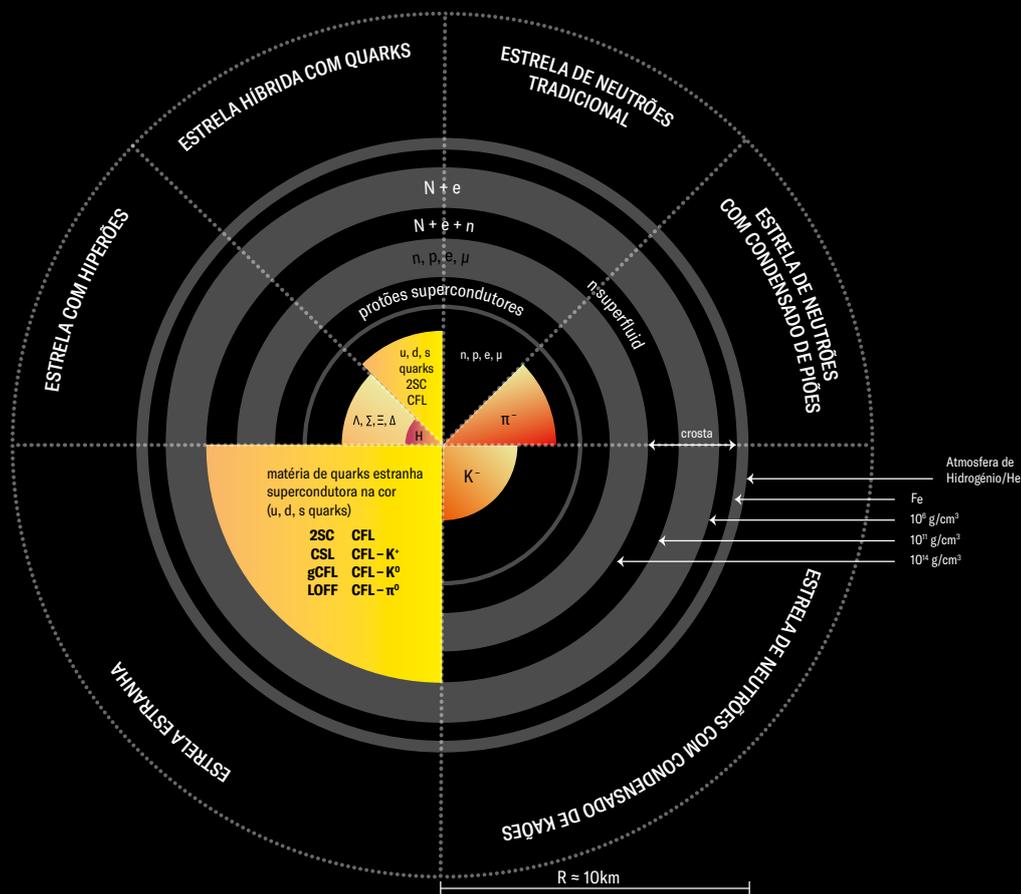


Fig. 4 - De que são feitas estrelas de nêutrons? Algumas previsões teóricas para o estado da matéria existente no interior de estrelas de nêutrons. Crédito da imagem: F. Weber

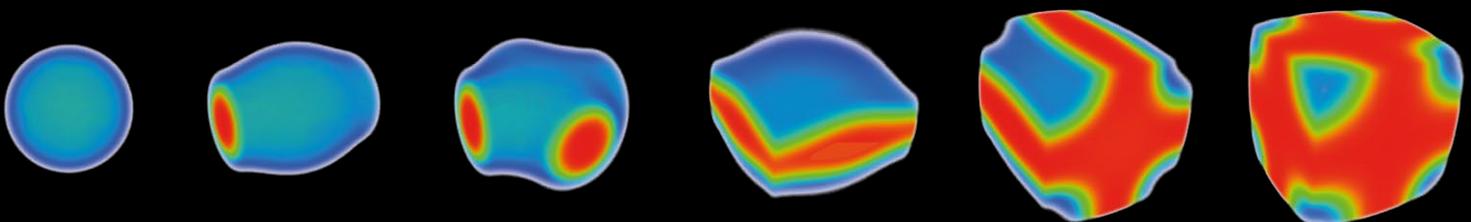
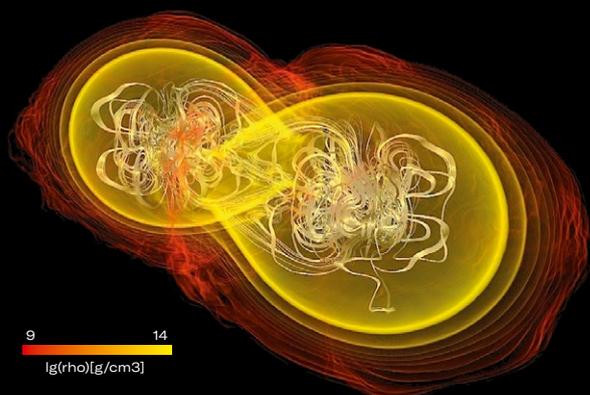


Fig. 5 - O quão complexa é a crosta de uma estrela de nêutrons? A crosta interna é formada por uma rede de aglomerados deformados em formas exóticas, chamadas fases de pasta, imersas num fluido de nêutrons e um gás de elétrons relativistas. Estas fases de pasta nucleares têm formas que vão desde aglomerados esféricos a varas, folhas, tubos e bolhas de matéria nuclear. Procurar assinaturas observacionais destas fases de pasta foi um dos principais desafios da Ação. Crédito da imagem: H. Pais e J. Stone

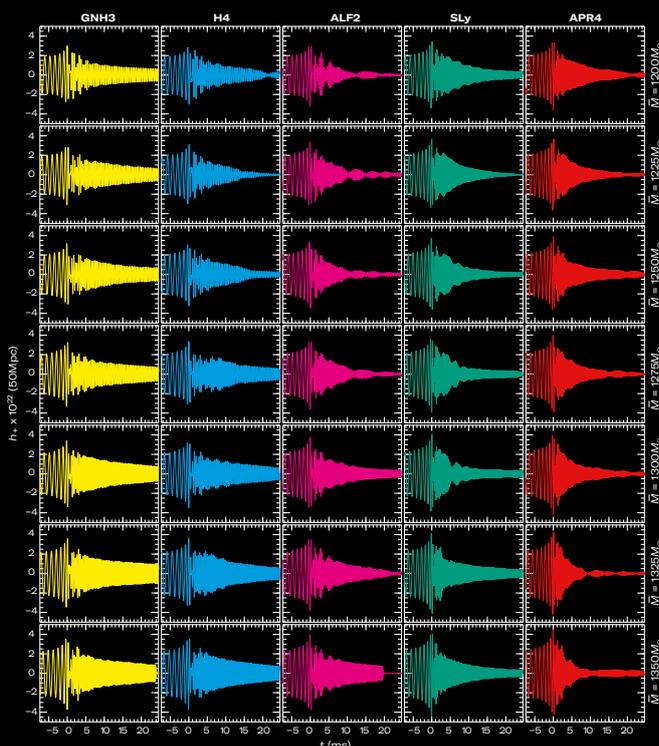
### 3. FÍSICA GRAVITACIONAL, TEORIA E OBSERVAÇÕES

Os fortes campos gravitacionais produzidos por estrelas de neutrões, tanto num sistema binário como isoladas, tornam-nas potenciais fontes de ondas gravitacionais produzidas no colapso do núcleo da supernova progenitora, ou quando colapsam num buraco negro, ou sofrem algum tipo de oscilação não simétrica. De facto, a fase “inspiral” e a coalescência de um binário de estrelas de neutrões (tanto enquanto um sistema duplo de estrelas de neutrões ou um sistema com a presença de um buraco negro) são candidatos à deteção de ondas gravitacionais pela rede de detetores LIGO/VIRGO. A sua observação fornece informação importante respeitante aos campos gravitacionais muito intensos, à equação de estado, e à origem das explosões de raios gama.

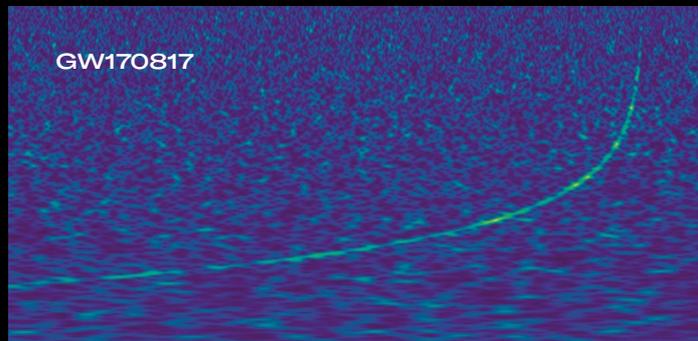
Sistemas binários de estrelas de neutrões em fusão emitem ondas gravitacionais que dependem da massa, da razão entre as massas e da equação de estado. A modelação numérica das formas de onda emitidas é essencial para uma deteção bem sucedida.



**Fig. 7** – Fusão de um sistema binário de estrelas de neutrões magnetizadas. Apresenta-se a densidade (da massa em repouso) e as linhas de campo magnético no instante da fusão. Crédito da imagem: FIAS/GU/AEI



**Fig. 8** – Formas de onda gravitacionais previstas para um sistema binário de estrelas de neutrões em fusão. Cores diferentes referem-se a equações de estado diferentes, enquanto linhas diferentes referem-se a diferentes massas dos binários. Image Credit: FIAS/GU/AEI



**Fig. 6** – Dados do LIGO mostram o som “chilro” produzido por duas estrelas de neutrões durante a fase “inspiral”. Crédito da imagem: LIGO

**cost**  
EUROPEAN COOPERATION  
IN SCIENCE & TECHNOLOGY

COST Association AISBL  
Avenue Louise 149, 1050 Brussels, Belgium  
T +32 (0)2 533 3800, F +32 (0)2 533 3890  
office@cost.eu, www.cost.eu



COST is supported by  
the EU Framework Programme Horizon 2020

#### A REDE

29 países participaram na NewCompStar e, ainda outras quatro como Instituições de de dois países Países Vizinhos, e três instituições como Instituições Internacionais de Países Parceiros

#### PARTICIPANTES COST

Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Israel, Itália, Malta, Holanda, Noruega, Polónia, Portugal, Roménia, Sérvia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido.

#### PAÍSES VIZINHOS

Instituições  
IOFFE, JINR Dubna, MEPhI,  
Sternberg Astronomical Institute  
e Yerevan State University

#### Parceiros Internacionais COST

Instituições  
Monash University,  
University of Melbourne  
e Kent State University

#### Ação COST NewCompStar

L. Rezzolla (Presidência), P. Pizzochero (Vice-Presidência)

#### Comissão diretiva

G. Barnafoldi, F. Burgio, M. Chernyakova,  
V. Ferrari, J. A. Font, I. Jones, P. Haensel,  
P. Pizzochero, C. Providência, M. Oertel,  
N. Rea, L. Rezzolla, A. Sedrakian, I. Vidaña

<https://compstar.uni-frankfurt.de>

#### Créditos da foto de capa

Raios X: NASA/CXC/SAO; Ótico: NASA/STScI;  
Infravermelho: NASA/JPL/Caltech; Rádio: NSF/  
NRAO/VLA; Ultravioleta: ESA/XMM-Newton

Impresso no Estúdio Gráfico 21, Portugal 2017  
Graphic design & Typeface by Bürocratik  
Tradução Renan Pereira