

# O Universo no meu bolso



Nós viemos  
das estrelas



No. 14

Grażyna Stasińska  
Observatório de Paris

Os **átomos** são os constituintes elementares da matéria. Eles consistem em um **núcleo** (que contém **prótons** e **nêutrons**) e **elétrons**. Os **átomos** se combinam em **moléculas**, compartilhando seus **elétrons**. As células do corpo humano são compostas por bilhões de **moléculas**.

A história da nucleossíntese estelar: Robert d'Escourt Atkinson **A** publicou seu artigo "Síntese atômica e energia estelar" em 1931. Hans Bethe **B** identificou em 1938 e 1939 os dois mecanismos que transformam o hidrogênio em hélio nas estrelas. Fred Hoyle mostrou em 1946 como os elementos são sintetizados a partir do hidrogênio.

Margaret e Geoffrey Burbidge, William Fowler e Fred Hoyle **B<sup>2</sup>FH** publicaram em 1957 seu artigo muito detalhado "Síntese dos elementos em estrelas" e, no mesmo ano, Alastair Cameron **C** publicou "Reações nucleares em estrelas e nucleogênese".



Nossos corpos são compostos de água (63%), proteínas (20%), gordura (10%), açúcares (2%) e vários minerais (5%). Desde que a química foi desenvolvida, no final do século XVIII, sabemos que todos esses materiais são compostos por moléculas complexas que contêm **átomos** de hidrogênio, carbono, oxigênio e outros **elementos** em quantidades menores.

Esses **elementos** são exatamente iguais aos encontrados nas plantas, na crosta terrestre e na atmosfera.

Usando a espectroscopia, os astrônomos mostraram que esses mesmos **elementos** também são encontrados nas estrelas. Mas foi só em meados do século XX que os astrônomos conseguiram entender a origem desses **elementos** e descobrir o elo muito estreito que nos conecta às estrelas.

**Próton:** formado por três partículas elementares, os quarks. Ele tem uma carga elétrica positiva e sua massa é  $1,672649 \times 10^{-24}$  g.

**Nêutron:** também formado por três quarks, mas não possui carga elétrica. Sua massa é  $1,67493 \times 10^{-24}$  g.

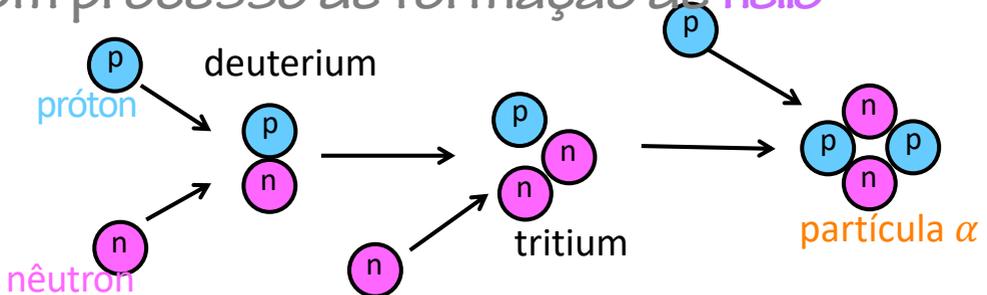
**Elétron:** partícula de carga elétrica negativa, cuja massa é cerca de 1/2000 da do próton.

**Hidrogênio:** o mais leve dos elementos.

Consiste em um próton e um elétron.

**Hélio:** o elemento estável mais leve após o hidrogênio. Consiste em uma partícula  $\alpha$  e 2 elétrons.

Um processo de formação de hélio



Foi George Gamow, em um artigo com Alpher e Bethe em 1948, que propôs a teoria da formação do hidrogênio e hélio primordial. Neste artigo, os autores argumentaram ainda que todos os outros elementos também foram formados no Big Bang adicionando nêutrons um após o outro. Mas nesse ponto eles estavam errados.

# Hidrogênio e hélio

Quando o Universo era muito denso e quente ( $T = 10^{12}$  K), logo após o Big Bang\*, ele continha apenas partículas elementares de matéria (quarks, elétrons, neutrinos) e “grãos” de luz chamados fótons.

Quando esfriavam, quarks combinavam-se em prótons e nêutrons em quantidades iguais. Mas, à medida que a temperatura caía, muitos dos nêutrons viraram prótons, que têm menor massa. Quando a temperatura caiu abaixo de  $10^9$  K, havia 7 prótons para cada nêutron.

Nêutrons e prótons então se combinaram para formar núcleos. O núcleo mais estável que poderia se formar naquela época era o hélio. Todos os nêutrons disponíveis foram usados para formar o hélio, originando um núcleo de hélio para cada 12 núcleos de hidrogênio no final da época primordial.

\* ver tuimp 12

Formação de carbono a partir de três núcleos de hélio

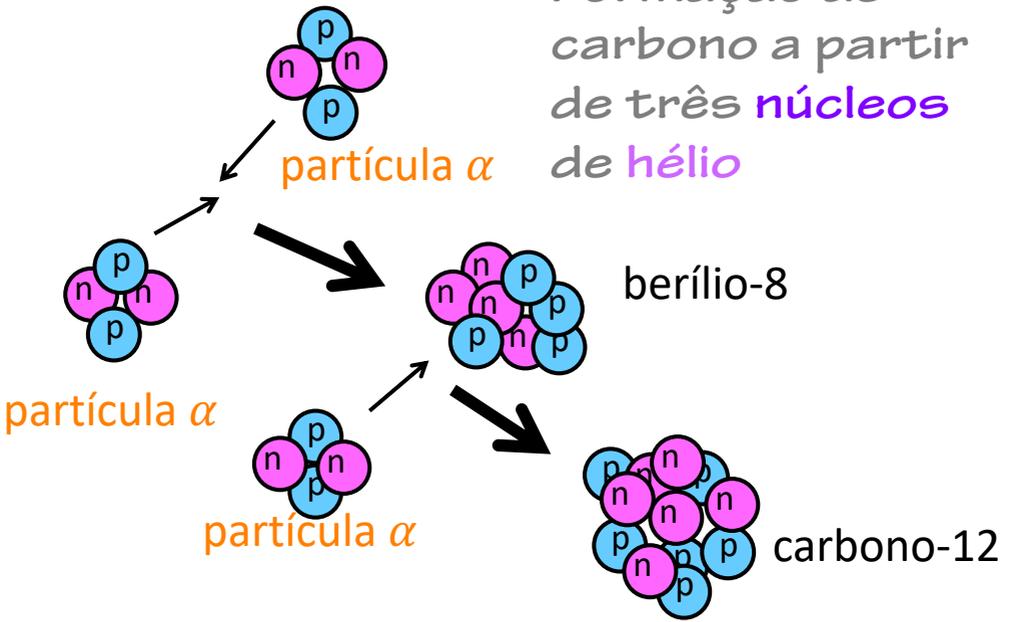


Diagrama de cascas de cebola de uma estrela massiva no final de sua evolução. Cada

camada tem uma composição

diferente. **Elementos**

mais pesados que o

ferro são produzidos

por captura de

nêutrons.

**hidrogênio**

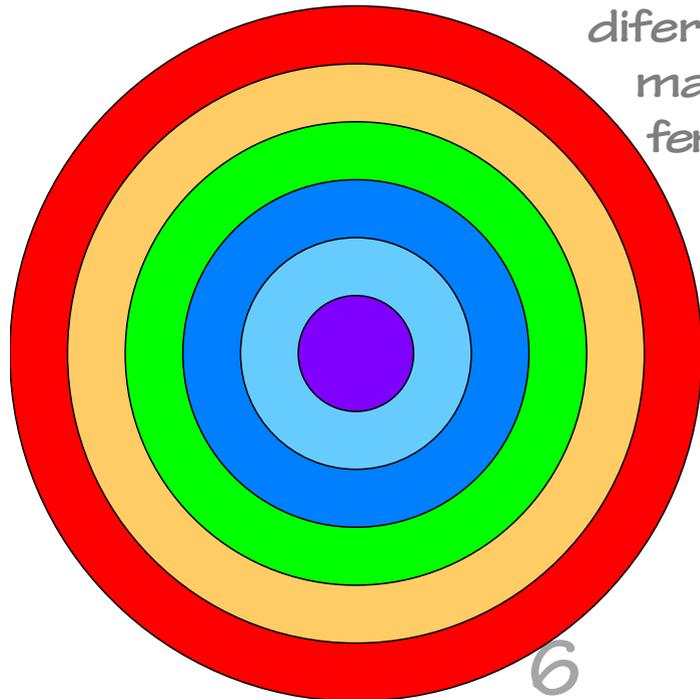
hélio

carbono

oxigênio

silício

ferro



# Fusão em estrelas

O núcleo quente e denso de uma estrela fornece as condições ideais para a produção de núcleos cada vez maiores.

Primeiro, os átomos de hidrogênio se unem para formar o hélio. Isso é a fase mais longa da vida de uma estrela. Quase todas as estrelas que vemos brilhando obtêm sua energia desse processo.

Uma vez o hidrogênio esgotado, a zona de hélio se condensa e sua temperatura aumenta. Os núcleos do hélio se unem em três para criar carbono, enquanto o hidrogênio continua a produzir hélio nas faixas externas da estrela.

Núcleos mais pesados são então formados em várias camadas, por mais adições de partículas  $\alpha$ . Se a estrela tiver massa suficiente, esse processo continuará até que o núcleo seja feito de ferro, que é o elemento mais estável.

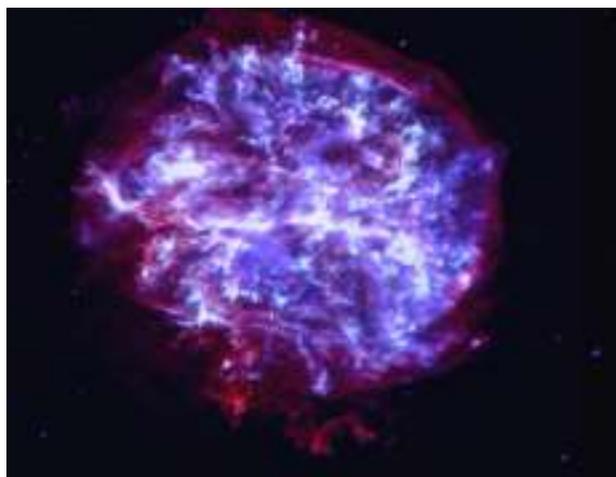
Núcleos mais pesados que o ferro são criados em outras condições, pela adição de nêutrons. 7



Imagem composta da nebulosa planetária Olho de Gato. Esta nebulosa resulta de vários episódios de ventos estelares emanando da estrela central, que agora está se tornando uma anã branca.

A nebulosa planetária Olho de Gato. (Crédito: R. Corradi com o telescópio NOT).

$G292.0 + 1.8$ :  
Uma remanescente de supernova vinda de uma estrela de grande massa que ejetou muito oxigênio, magnésio e neônio para o meio interestelar.



$G292.0 + 1.8$  em raios-X. Crédito: NASA / CXC / SAO.



Visualização de artista (Dana Berry, SkyWorks Digital).

Representação da colisão de duas estrelas de nêutrons. Acredita-se que ouro, urânio e outros elementos pesados do Universo tenham se formado durante tal evento.

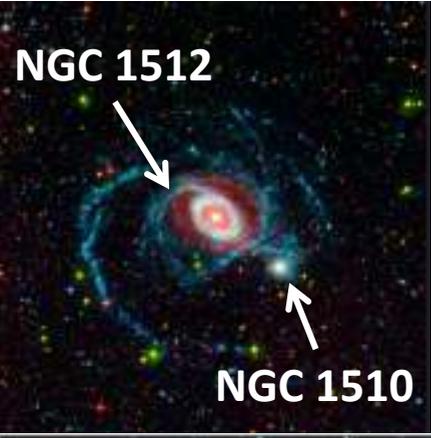
## Ventos, colisões, explosões

Alguns dos **elementos** formados nas estrelas são ejetados para o meio interestelar, enquanto o resto está preso para sempre nos “cadáveres estelares”, que são anãs brancas, estrelas de **nêutrons** e buracos negros.

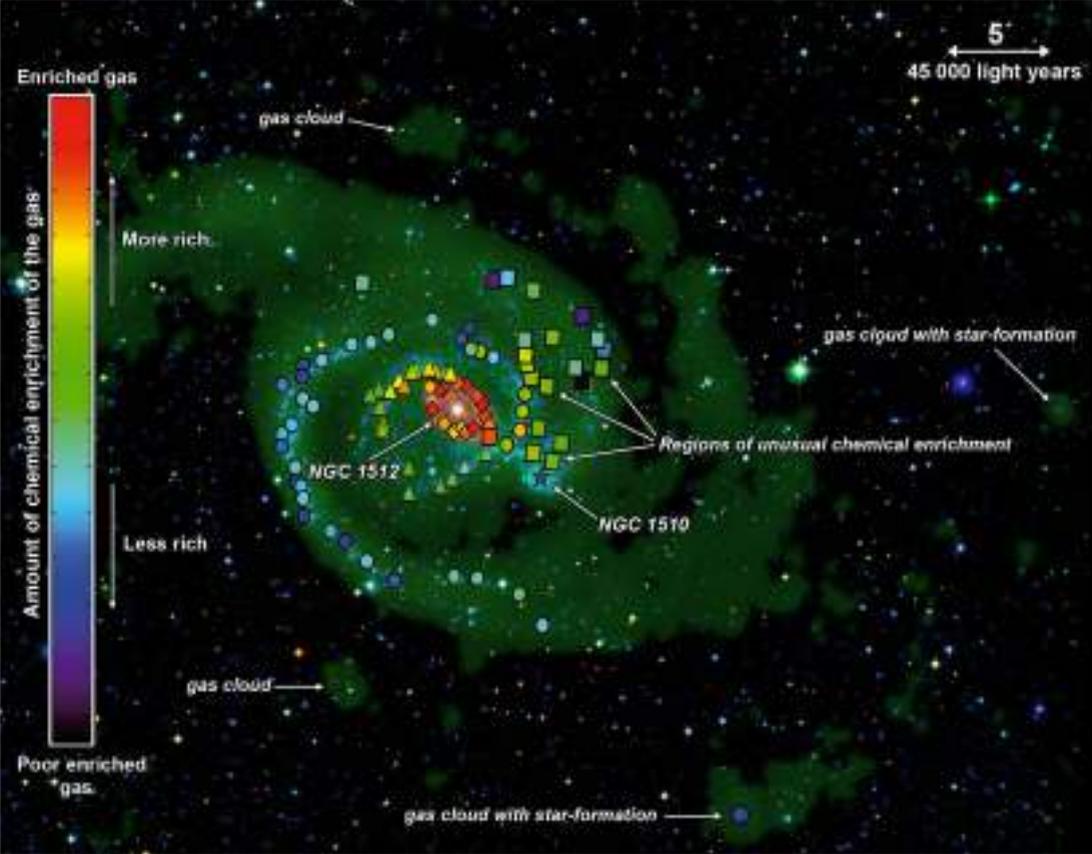
Estrelas com massa inferior a 8 vezes a do Sol dispersam suas camadas externas de maneira pacífica, ejetando nitrogênio, carbono e alguns **elementos** mais pesados que o ferro.

Estrelas de maior massa acabam sua vida em uma explosão espetacular em supernova, expelindo carbono, oxigênio, neônio, magnésio e silício, entre outros.

Outros **elementos** pesados, como ouro e urânio, precisam de uma grande densidade de **nêutrons** para se formar, o que é mais provável acontecer em colisões de estrelas de nêutrons.



As galáxias NGC 1512 e NGC 1510 vistas em luz ultravioleta. As áreas brilhantes são regiões onde as estrelas se formaram recentemente. Crédito: GALEX (NASA)



Os símbolos indicam a abundância de oxigênio (vermelho onde abundante, azul onde escasso). Crédito: López-Sánchez (AAO / MQU) e Koribalski (CSIRO).

# A odisséia cósmica dos elementos

Uma vez liberados no meio interestelar, os **elementos** começam uma longa jornada através das galáxias, antes de serem aprisionados durante a formação de novas estrelas. Assim, sucessivas gerações de estrelas tornam-se cada vez mais ricas em carbono, nitrogênio, oxigênio e outros elementos.

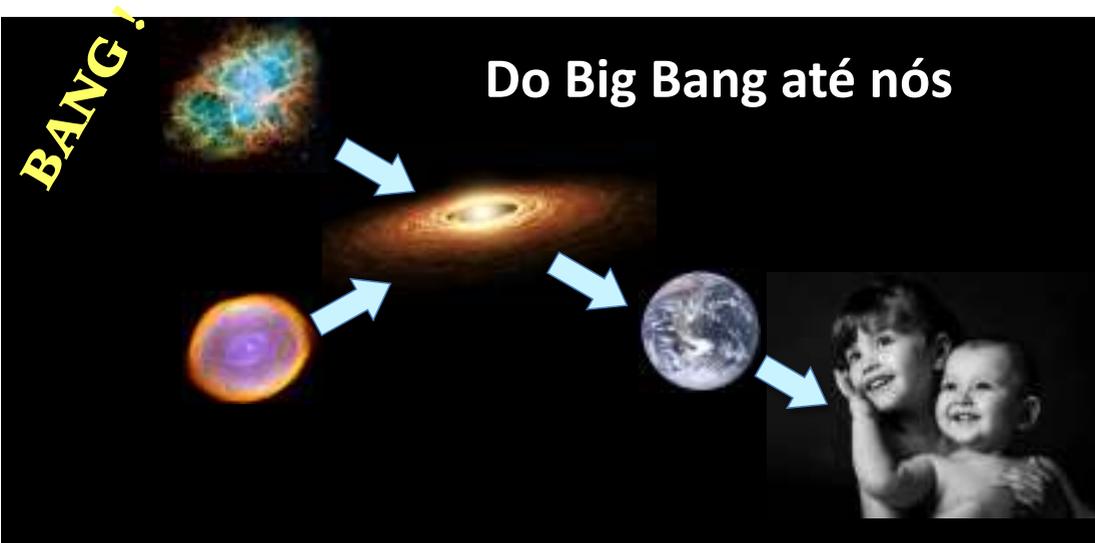
A jornada dos **elementos** através do meio interestelar pode ser muito tortuosa, com perturbações ligadas a colisões entre galáxias.

**Elementos** liberados durante as explosões de supernovas podem até fazer incursões no meio intergaláctico e, finalmente, terminar em outras galáxias.

De fato, simulações numéricas recentes sugerem que muitos dos **elementos** presentes na Via Láctea vieram de outras galáxias.

# Porcentagem de massa dos **elementos** químicos em diferentes locais

	Núm. de protons	Sistema solar	Crosta da Terra	Corpo humano
H	1	70.5	0.14	9.5
He	2	27.5	-	-
C	6	0.30	0.030	18.5
N	7	0.11	0.005	3.2
O	8	0.96	46.6	65
Si	14	0.065	27.7	0.00002
S	16	0.040	0.050	0.3
Ca	20	0.006	3.6	1.5
Fe	26	0.117	5.0	0.006



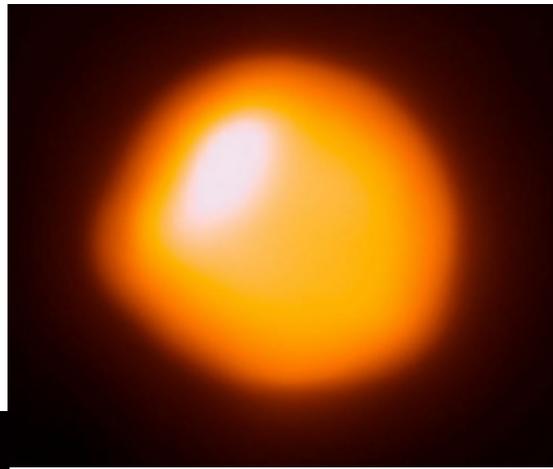
# Das estrelas até seres vivos

Antes de se tornarem parte de um ser vivo, os **elementos** devem passar por etapas ainda pouco compreendidas.

Primeiro, se formam nuvens de moléculas e poeira nas quais as estrelas nascem. Essas estrelas são cercadas por um disco protoplanetário, formado por aglomerados de poeira e gelo.

É a partir do material do disco que se formam os planetas. Sua composição química difere de acordo com a distância da estrela: quanto menor a distância, mais fácil é para os **elementos** voláteis se dissiparem. Também depende da massa dos planetas: quanto menor a massa, mais fácil é para as partículas mais leves escaparem.

Conforme se forma o planeta, ocorre uma segregação de **elementos** e a crosta acaba com uma composição diferente do interior. E é a partir dos materiais da crosta que os seres vivos são formados.



# Desafio

Qual é a origem do ouro?



Solução no verso

A estrela  
Betelgeuse

O planeta  
Júpiter

A nebulosa planetária  
IC 418

Um estáter: uma  
moeda de ouro,  
cunhada pelo rei  
Creso no século VI  
A.C. na Lídia.

A remanescente de  
supernova do  
Caranguejo

# Solução

*Pensa-se que o  
ouro se forma  
durante a colisão  
de estrelas de  
nêutrons, como a  
mostrada nesta*

## O Universo no meu bolso No. 14

Este livrinho foi escrito em 2020 por Grażyna Stasińska do Observatório de Paris (França) e revisado por Nikos Prantzos do Instituto de Astrofísica de Paris.

Imagem da capa: trecho de uma pintura do artista japonês KAGAYA



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos apresentados neste livrinho, visite

<http://www.tuimp.org>

Trad.: Natalia Vale Asari  
TUIMP Creative Commons

