

# O Universo no meu bolso



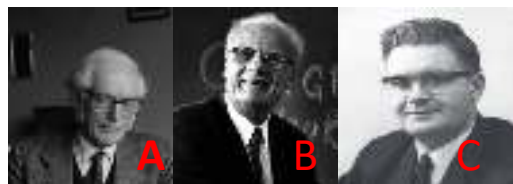
Nós viemos  
das estrelas



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".



2



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.

3

## 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

5

**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.

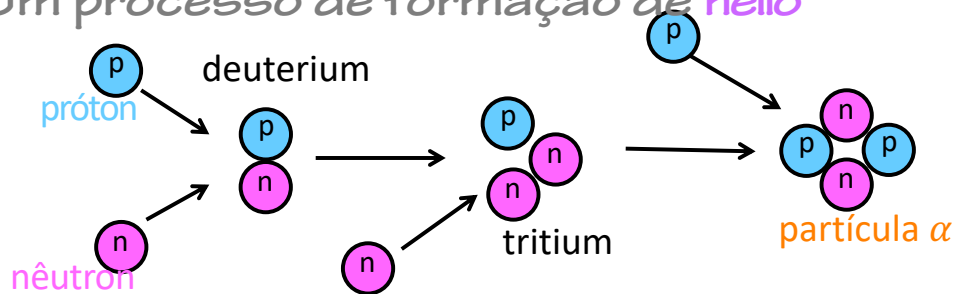
**Elétron:** partícula de carga elétrica negativa, cuja massa é cerca de 1/2000 da do próton.

**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.

4

## 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.

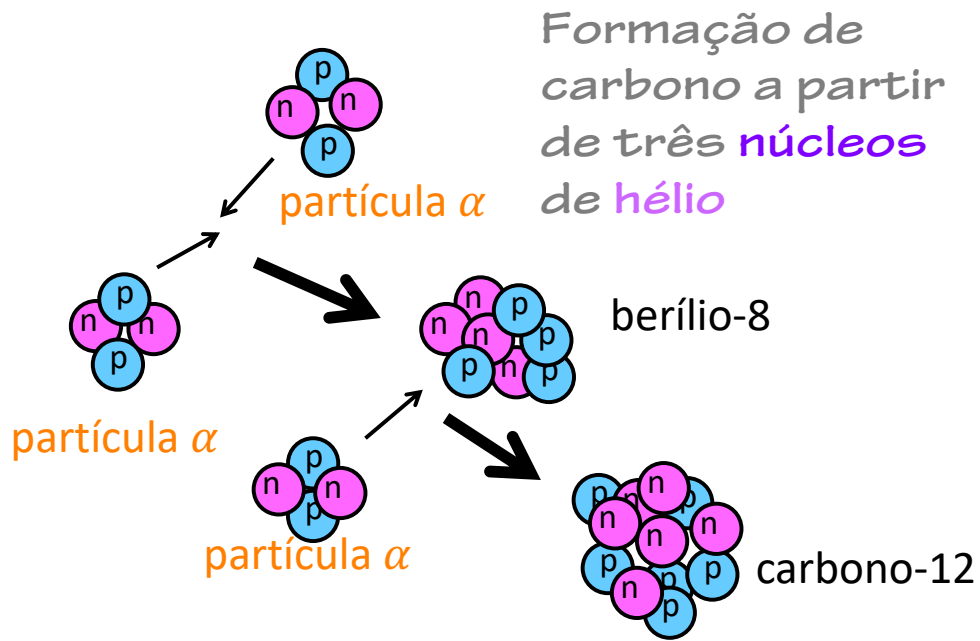
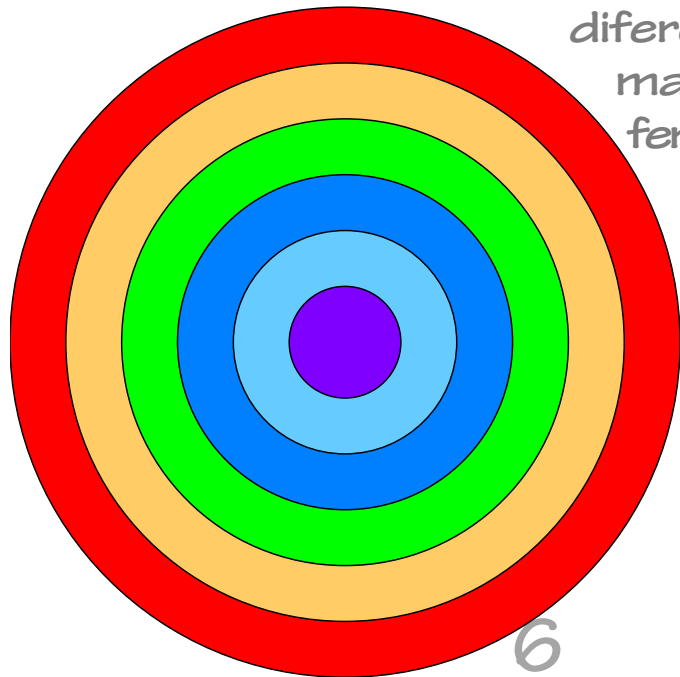


Diagrama de cascas de cebola de uma estrela massiva no final de sua evolução. Cada camada tem uma composição diferente. Elementos mais pesados que o ferro são produzidos por captura de nêutrons.



hidrogênio  
hélio  
carbono  
oxigênio  
silício  
ferro



## 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.

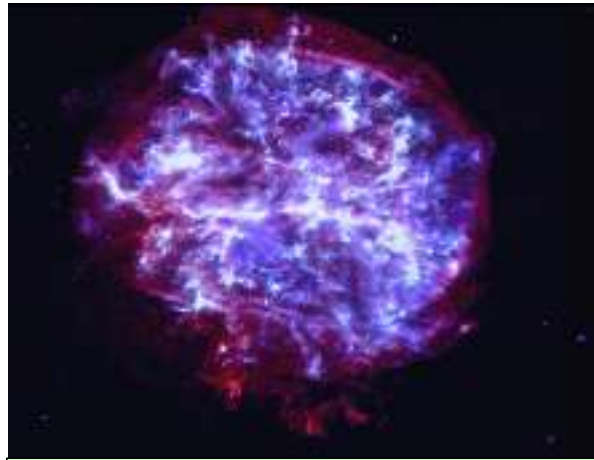
Outros **elementos** pesados, como ouro e urânio, precisam de uma grande densidade de **nêutrons** para se formar, o que é mais provável acontecer em colisões de estrelas de nêutrons.

9

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.



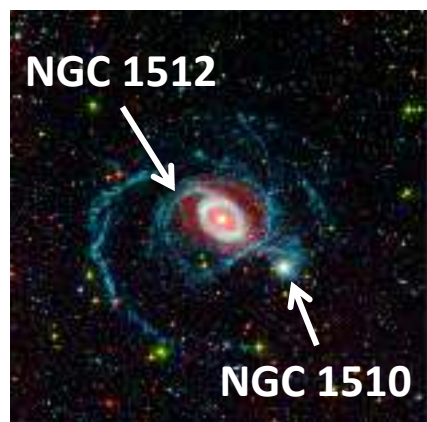
G292.0 + 1.8 em raios-X. Crédito: NASA / CXC / SAO.

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.

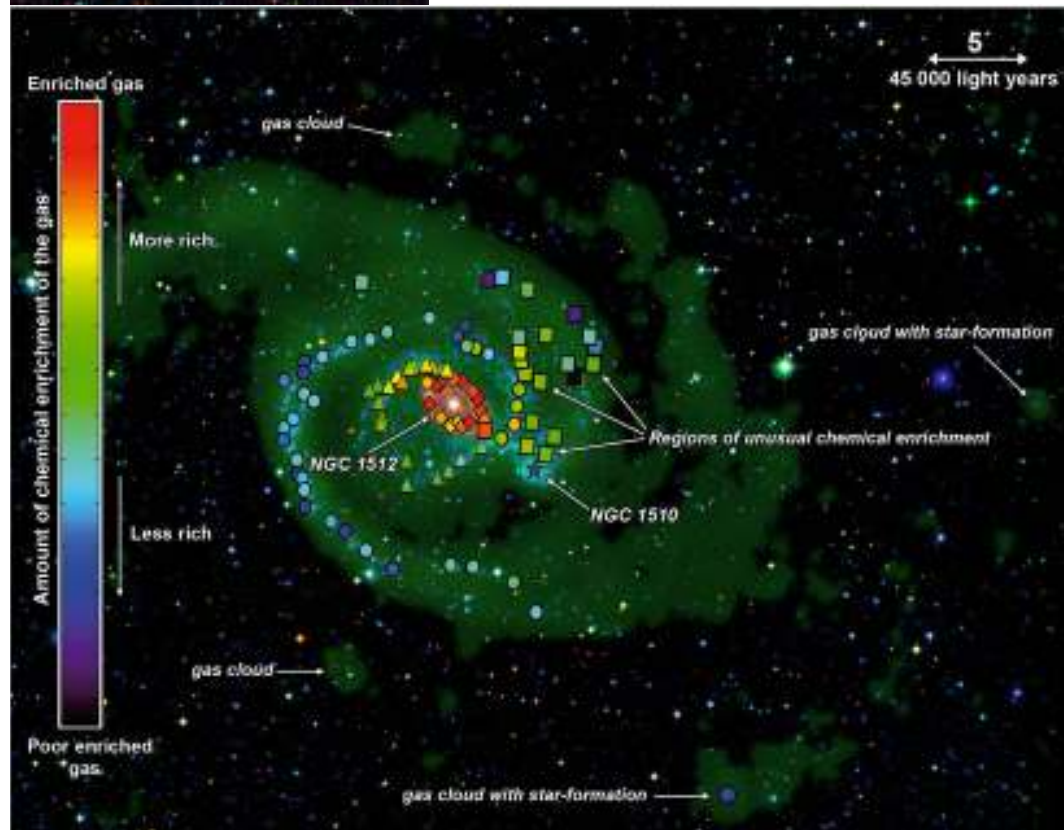
8



Visualização de artista (Dana Berry, SkyWorks Digital).



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

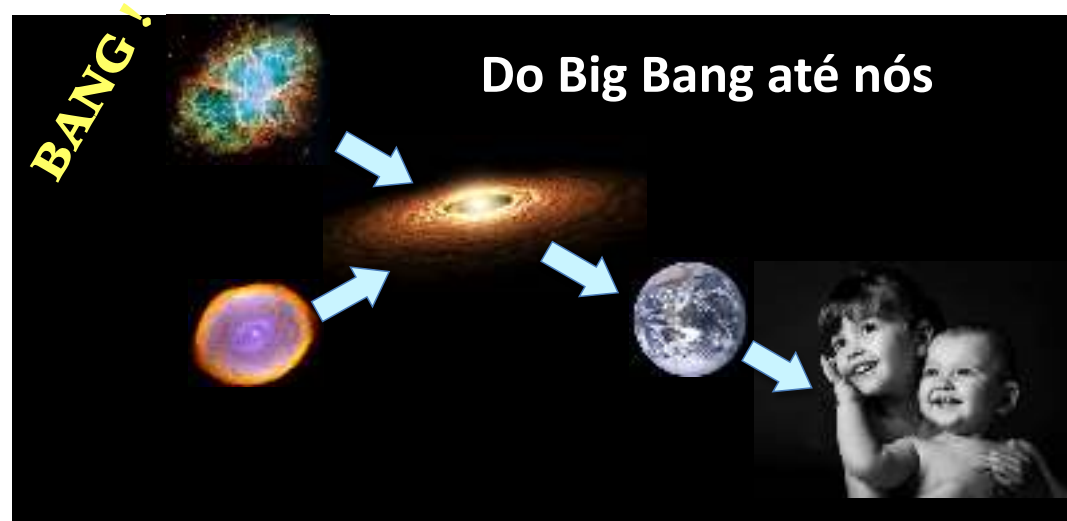
	Núm. de protons	Sistema solar	Crosta da Terra	Corpo humano
H	1	70.5	0.14	9.5
He	2	27.5	-	-
C	6	0.30	0.030	18.5
N	7	0.11	0.005	3.2
O	8	0.96	46.6	65
Si	14	0.065	27.7	0.00002
S	16	0.040	0.050	0.3
Ca	20	0.006	3.6	1.5
Fe	26	0.117	5.0	0.006

## Das estrelas até seres vivos

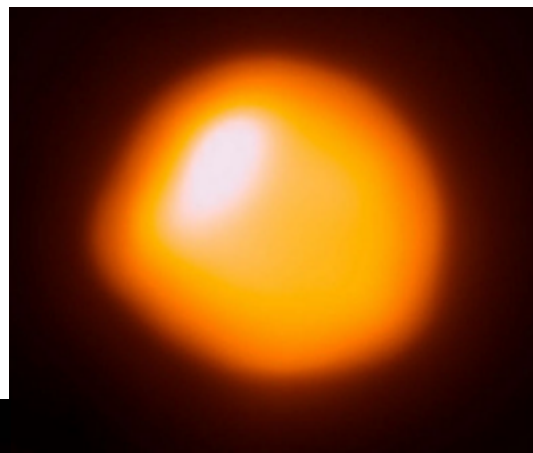
Antes de se tornarem parte de um ser vivo, os **elementos** devem passar por etapas ainda pouco compreendidas. Primeiro, se formam nuvens de moléculas e poeira nas quais as estrelas nascem. Essas estrelas são cercadas por um disco protoplanetário, formado por aglomerados de poeira e gelo.

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.



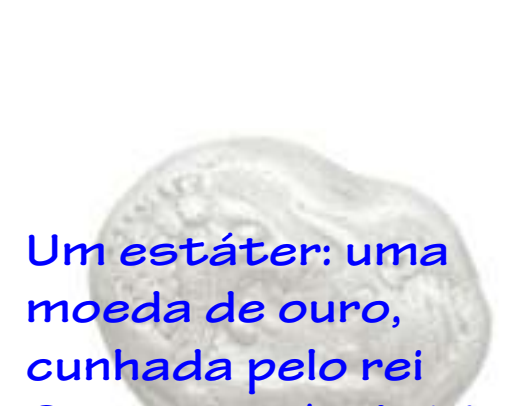




A estrela  
Betelgeuse



O planeta  
Júpiter



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



A nebulosa planetária  
IC 418

## Desafio

Qual é a origem  
do ouro?



Solução no verso



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

