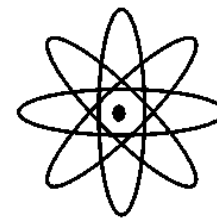
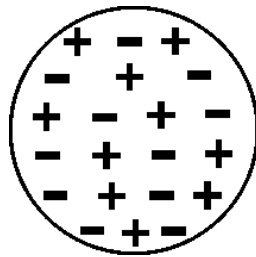


Os tijolos e os cimentos da natureza

Tijolos = constituintes básicos; cimentos = forças

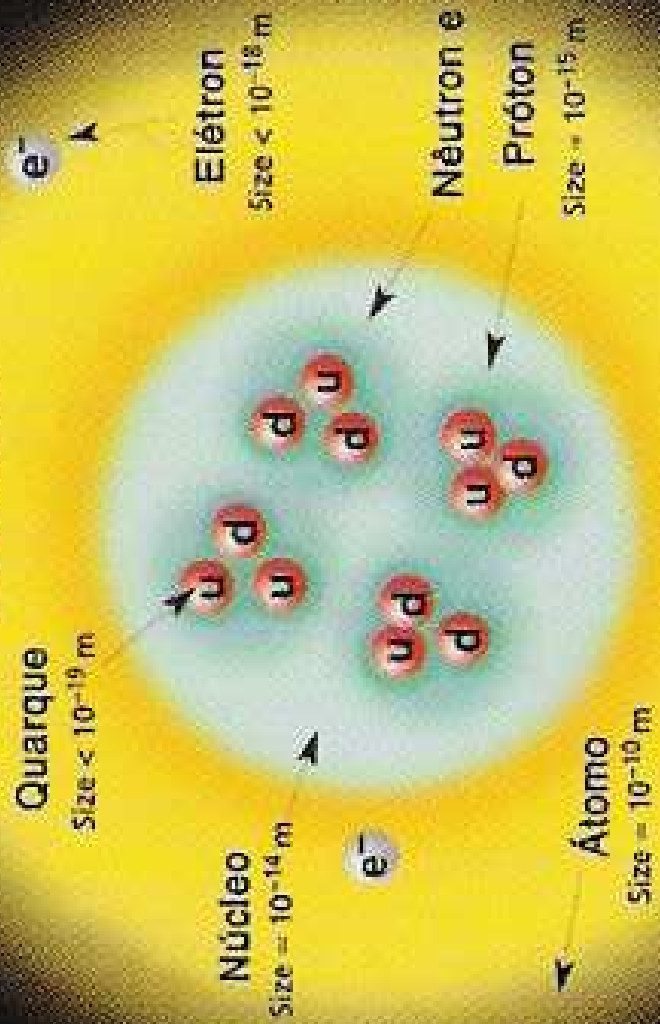
- **Quais são os tijolos?**
- Gregos - átomos (indivisíveis) - 92 tipos: H, He,...K, U.
- Thomson (1897) - pudim de ameixas (cargas positivas = ameixas) - não explicava o espalhamento de partículas alfa.
- Rutherford (1911) - núcleo (positivo) + elétrons ao redor - os elétrons mergulhariam no núcleo devido a aceleração.



Representação dos átomos de Thomson e de Rutherford

- Bohr (1913) - Postulados de Bohr salvaram o modelo de Rutherford. Até aqui havia 2 tijolos: os prótons (de carga positiva) e os elétrons (de carga negativa).
- Chadwick (1932) - Descobriu o nêutron e os tijolos passaram a ser 3: os prótons, os elétrons e os nêutrons (sem carga elétrica).
- Powell, César Lattes (o do CV do CNPq) e outros (1947) descobriram o pión (ou méson π) através de experiências com raios cósmicos. Começou a era da *física das partículas elementares* e um número enorme de partículas começou a ser detectada em laboratórios ou em experiências envolvendo raios cósmicos. **Seriam todos constituintes básicos? Que mundo complicado...**
- Gell-Mann e Zweig (1964) - Propuseram a existência dos quarks (u, d, s) como os constituintes básicos dos bárions (prótons, nêutrons e outros). Além dos quarks, partículas como os elétrons (léptons) também seriam elementares. **O corpo humano possui aproximadamente 10^{29} partículas elementares (quarks e léptons).**

Estrutura interna do Átomo



Os constituintes básicos da matéria

1 ^a Família	2 ^a Família	3 ^a Família
$e^- / m_e = 0,00054$	$\mu / m_\mu = 0,11$	$\tau / m_\tau = 1,9$
$\nu_e / m_{\nu_e} < 10^{-9}$	$\nu_\mu / m_{\nu_\mu} < 10^{-4}$	$\nu_\tau / m_{\nu_\tau} < 10^{-3}$
quark u/ $m_u = 0,0047$	quark s/ $m_s = 1,6$	quark b/ $m_b = 5,2$
quark d/ $m_d = 0,0074$	quark c/ $m_c = 1,6$	quark t/ $m_t = 189$

As massas estão em múltiplos da massa do próton. Os neutrinos são muito abundantes (logo veremos porque), mas praticamente não interagem com a matéria. Em média, 1 neutrino interage com o corpo humano uma vez a cada 35 anos: é o segundo neutrino (ou terceiro...) que nos mata!

Constituintes quarkiônicos de alguns bárions

	Bárion	constituintes
	próton	$u u d$
carga	+ 1	$+2/3 +2/3 -1/3$
	antipróton	$\bar{u} \bar{u} \bar{d}$
carga	- 1	$-2/3 -2/3 +1/3$
	nêutron	$u d d$
carga	0	$+2/3 -1/3 -1/3$
	antinêutron	$\bar{u} \bar{d} \bar{d}$
carga	0	$-2/3 +1/3 +1/3$
	híperon Λ	$u d s$
carga	0	$+2/3 -1/3 -1/3$

Constituintes quarkiônicos de alguns mésons

	Méson	constituintes	
	π^+	u	\bar{d}
carga	+ 1	+2/3	+1/3
	π^-	\bar{u}	d
carga	-1	-2/3	-1/3
	k^0	\bar{s}	d
carga	0	+1/3	-1/3
	$J\psi$	c	\bar{c}
carga	0	+2/3	-2/3

Quais são os cimentos?

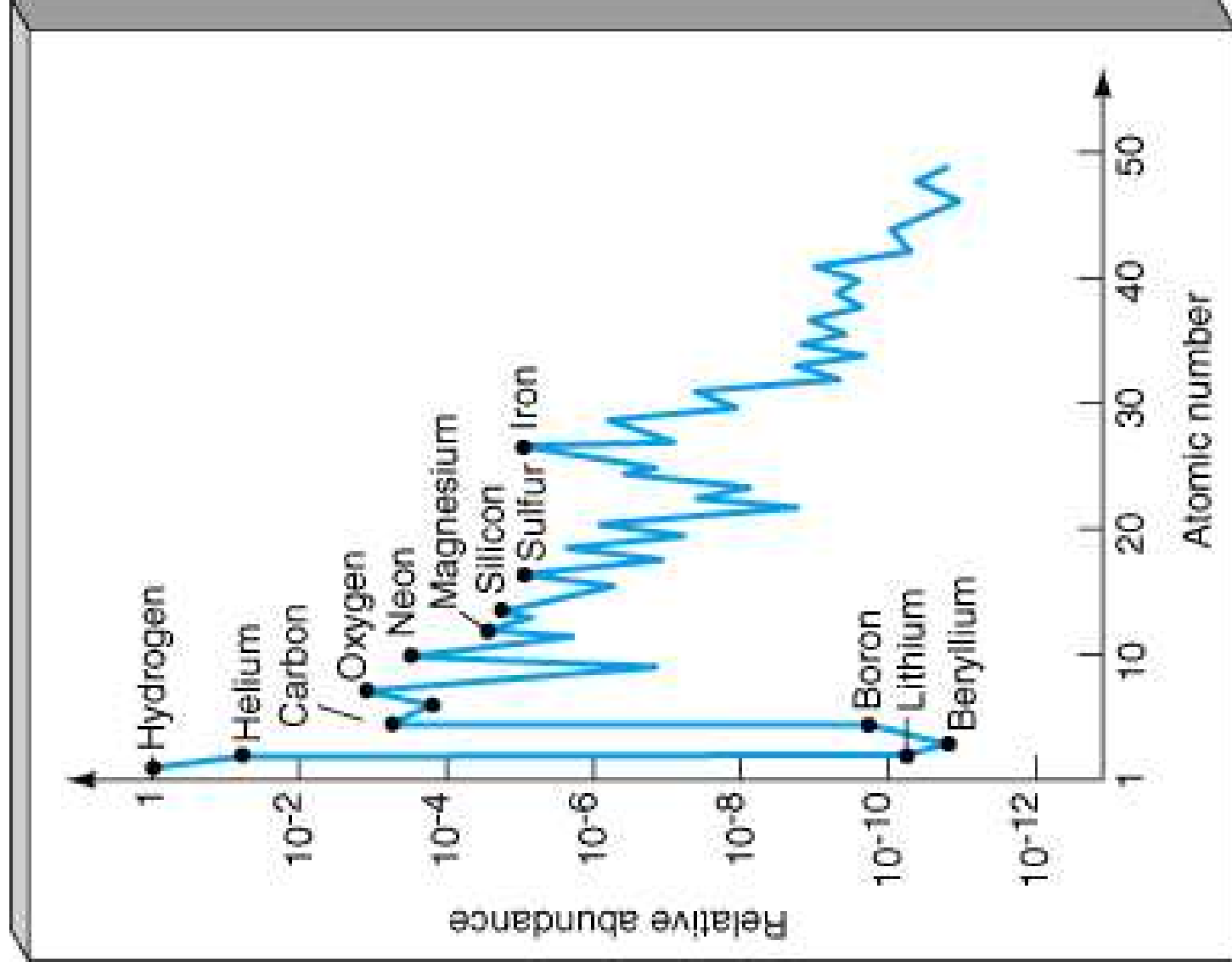
As forças da natureza

força	alcance	intensidade relat.	quem sente	mediadores
gravitacional	∞	$5,3 \times 10^{-39}$	massivas	gráviton (?)
eletromagnética	∞	1/137	carregadas	fótons
nuclear forte	10^{-15} m	1	hádrons/quarks	píons/gluon
nuclear fraca	curtas dist.	10^{-20} m	hádrons/léptons	W^{\pm}, Z^0

Abundância dos elementos químicos

- Com os 4 tipos de forças + os 2 tipos tijolos da natureza → explicação plausível para a existência dos elementos químicos conhecidos.
- As forças devem fazer com que os constituintes básicos interajam entre si por meio de reações:
 - transferência (dois elementos se combinam gerando outros dois elementos diferentes),
 - fissão (um elemento se subdivide em duas ou mais partes),
 - fusão (dois ou mais elementos se combinam, originando um só).
- Elementos químicos → tabela periódica de Mendeleev: há aproximadamente 280 isótopos estáveis e 67 instáveis, com vida longa, encontrados na Terra.
- Conseguem-se produzir mais de 1.200 isótopos instáveis, com vida curta, em laboratório.

- Abundância encontrada no Universo:
 - Hidrogênio – 71%
 - Hélio – 27%
 - do Carbono ao Neônio – 1,8%
 - do Neônio ao Titânio – 0,2%
 - Ferro – 0,02%
 - Elementos com A (número de prótons mais nêutrons) maior do que 60 – $10^{-4}\%$.



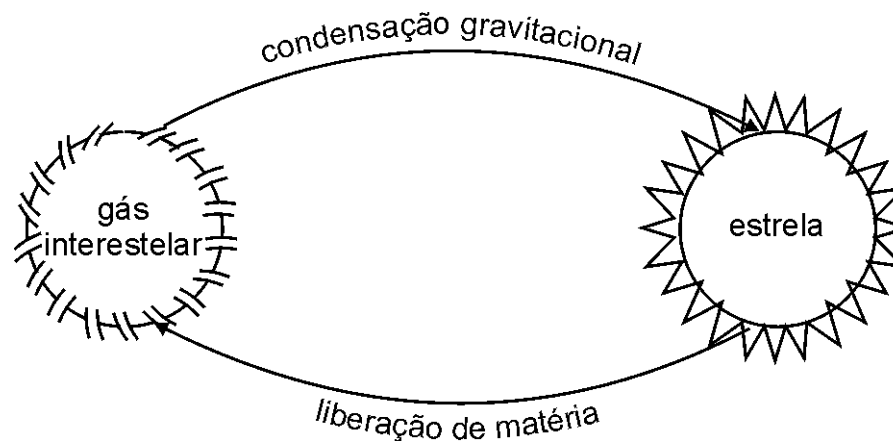
Como, onde e quando esses elementos químicos se formaram?

Segundo o paradigma do Big-Bang, que deve ter ocorrido há aproximadamente 15×10^9 anos atrás,

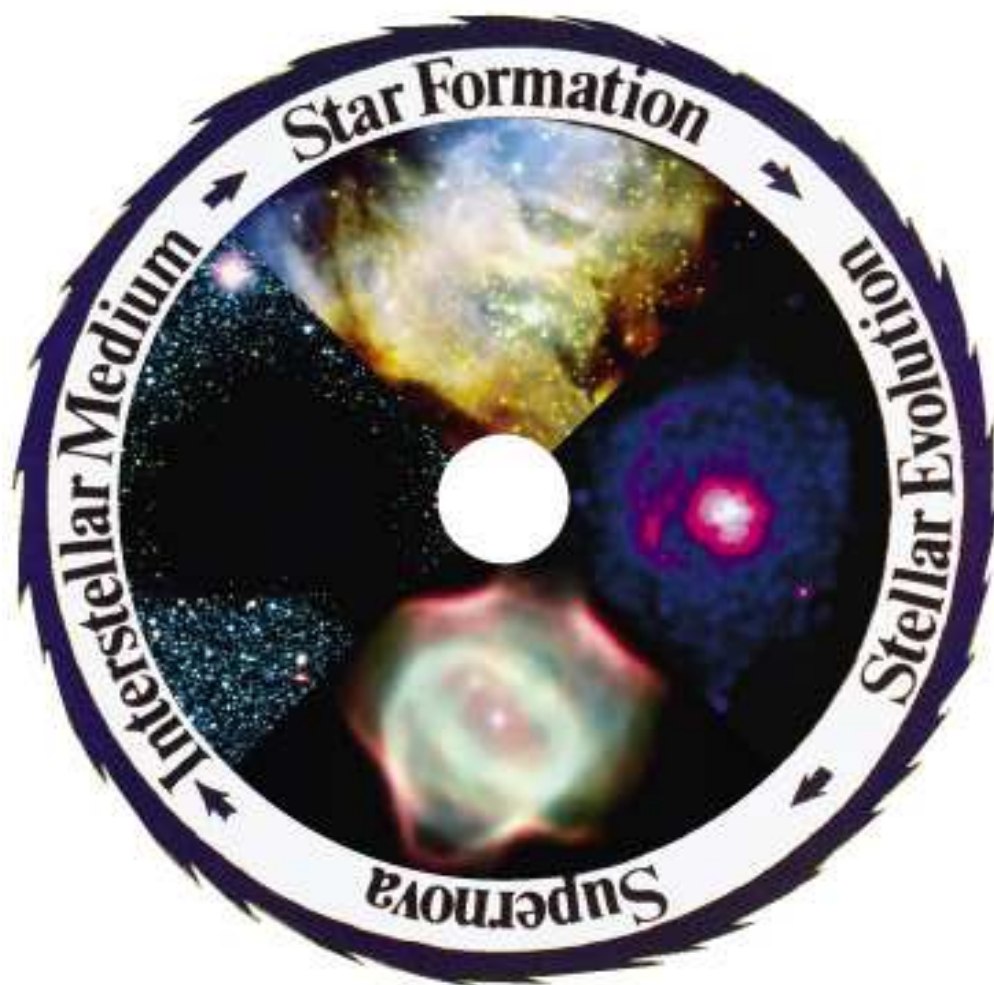
- depois da explosão, deu-se início a formação dos tijolos da natureza. A temperatura dessa sopa de elementos fundamentais era altíssima.
- As forças gravitacionais passaram a atuar e os tijolos a se unir, formando, com a ajuda das forças eletromagnética e nuclear, os núcleos e os átomos mais simples.
- Formaram-se estrelas constituídas desses elementos leves, e reações nucleares também passaram a ocorrer, transformando alguns núcleos leves em outros mais pesados.
- As estrelas passaram a liberar matéria cada vez mais complexa, resultante da queima de energia durante as reações, e essa matéria foi se juntando àquela sopa inicial, gerando uma espécie de gás interestelar.

- A partir desse gás, novas condensações gravitacionais resultaram em novas estrelas, compostas de matéria cada vez mais pesada. Outras reações nucleares puderam ocorrer e novamente elementos ainda mais pesados se formaram.
- Isso se tornou um processo cíclico, que deu origem ao Universo atual.

Os elementos químicos mais leves surgiram logo no começo do Universo e, portanto, estão presentes em maior quantidade. Os elementos mais pesados só foram aparecendo com o passar do tempo e com o conseqüente resfriamento do Universo. Sua abundância, esperadamente, é menor.



Processo cíclico responsável pela criação dos elementos químicos



Como reproduzir o Big-Bang em laboratório?

	Big-Bang	1 s	1 min	atual
T (K)	$> 10^{23}$	10^{12}	10^7	2,736
energia	?	GeV	KeV	-

$$0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}$$

$$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}, \quad 1\text{KeV} = 1,6 \times 10^{-16} \text{ J}, \quad 1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}, \quad 1\text{GeV} = 1,6 \times 10^{-10} \text{ J}$$

Um corpo de massa = $10^{-13} \text{ Kg} = 10^{-10} \text{ g} = 0,0000000001 \text{ g}$ que se move com um velocidade = $1 \text{ m/s} = 10^{-3} \text{ Km/s}$, possui uma energia de 10^{-19} J .

Nos grandes aceleradores de partículas (RHIC/BNL, ALICE/CERN, GSI/Frankfurt), faz-se a colisão entre um feixe de partículas aceleradas e um alvo. Quanto mais alta a energia do feixe, mais alta a temperatura da colisão e, portanto, maior a possibilidade de *vermos* as partículas elementares. **Animação que mostra a produção de píons.**

A Evolução do Universo a partir do Universo Primordial

Conforme a temperatura aumenta, o universo se expande:

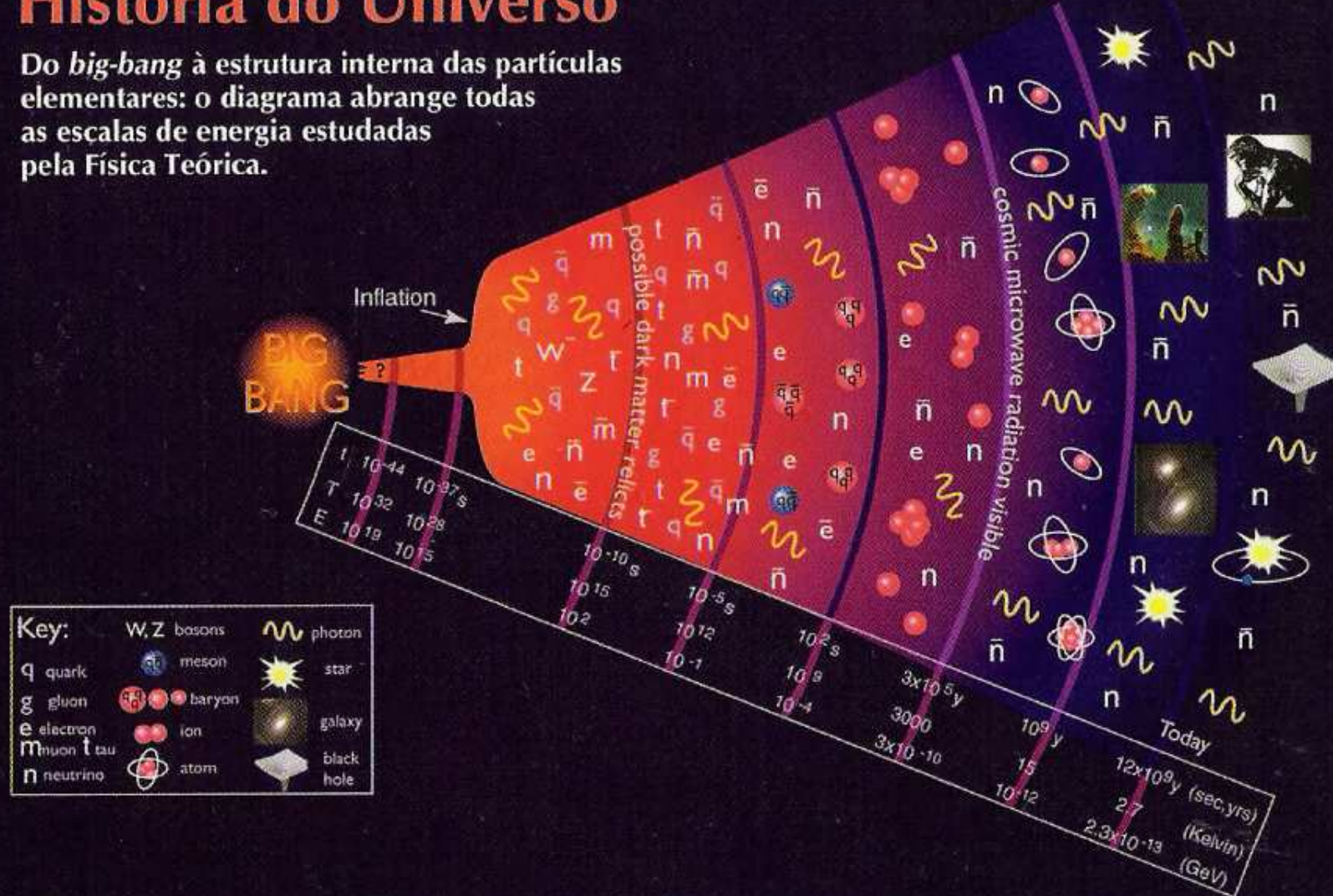
- 1º nanosegundo (10^{-9} s) - 10^{23} K - (anti)léptons, (anti)quarks, gluons, bósons de Higgs
- 1º microsegundo (10^{-6} s) - 10^{19} K - surgem os bárions ($3q$) e os mésons($q \bar{q}$)
- 1º segundo - 10^{12} K - abundâncias relativas determinadas pelo equilíbrio químico
- 1ºs 15 min - surgem os núcleos + leves: dêuterons, partículas α
- 1º milhão de anos (10^6 anos) - surgem átomos e moléculas, os fótons se espalham pelo Universo dando origem à **radiação de fundo**
- 1º bilhão de anos (10^9 anos) - surgem as **proto-estrelas**

Idade do Universo - \simeq 15 bilhões de anos

Idade do Sol - \simeq 5 bilhões de anos (já está na meia idade; daqui a \simeq 1 bilhão de anos os oceanos devem ferver e a vida na Terra já não será possível).

História do Universo

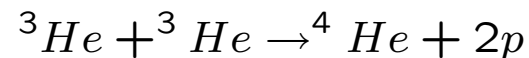
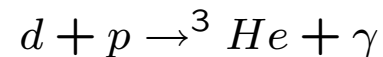
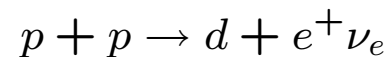
Do *big-bang* à estrutura interna das partículas elementares: o diagrama abrange todas as escalas de energia estudadas pela Física Teórica.



Cosmologia inflacionário + era da expansão acelerada.

Nasce uma estrela

- Fase da pré-seqüência principal - $\rho = 10g/cm^3$, $T \simeq 10^6$ K (limiar da fusão do H) - dá-se a fusão (termo)nuclear: $A+B \rightarrow C$.
- Fase da seqüência principal - 4 possíveis cadeias de fusão que produzem fótons (energia luminosa) e **neutrinos**. Algumas das reações nessas cadeias são muito lentas e isso explica o longo tempo que a estrela permanece na seqüência principal. A primeira cadeia é dada pelas reações:



Nonburning hydrogen

Hydrogen fusion

Helium fusion

Carbon fusion

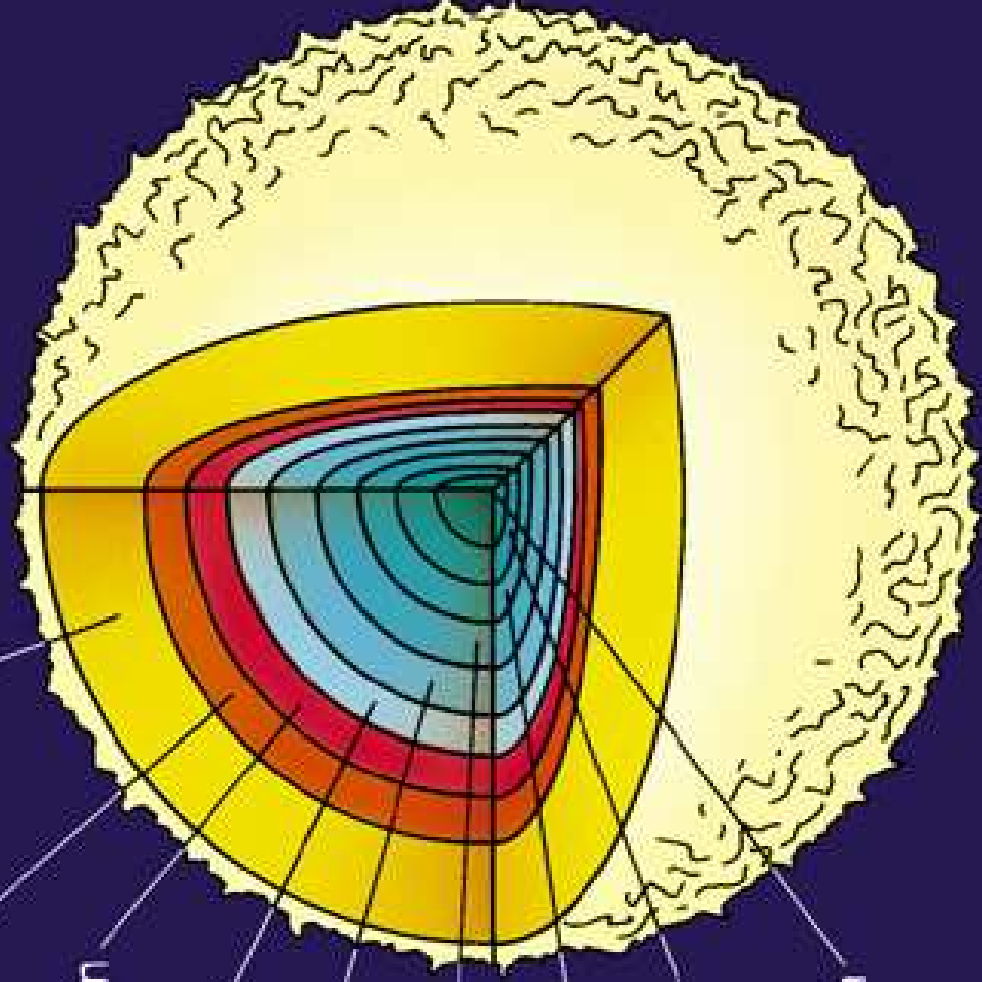
Oxygen fusion

Neon fusion

Magnesium fusion

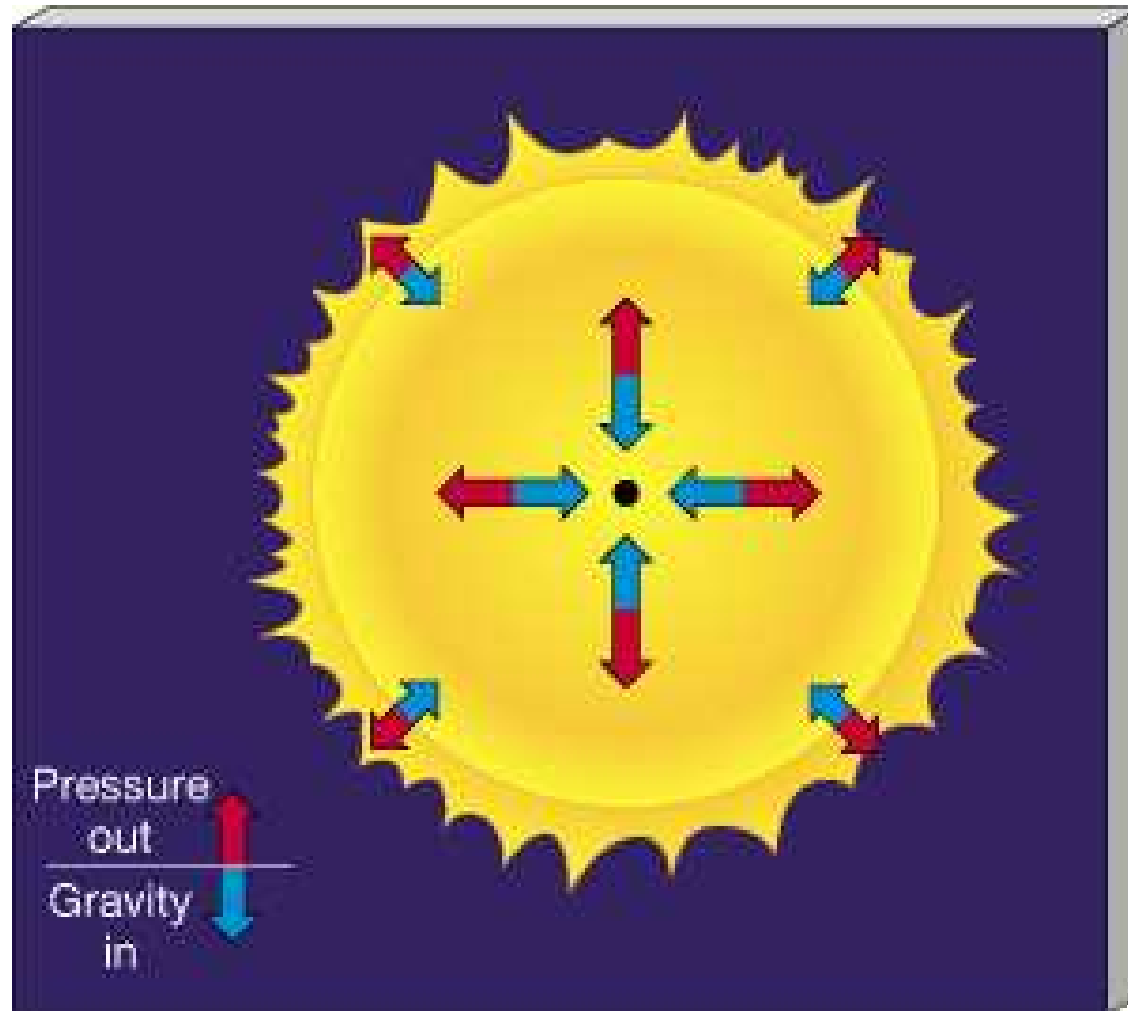
Silicon fusion

Iron ash



Morre uma estrela

Equilíbrio estelar: dá-se, neste período, um jogo de forças: a força gravitacional, de fora para dentro e a força exercida pela pressão do gás de dentro para fora.



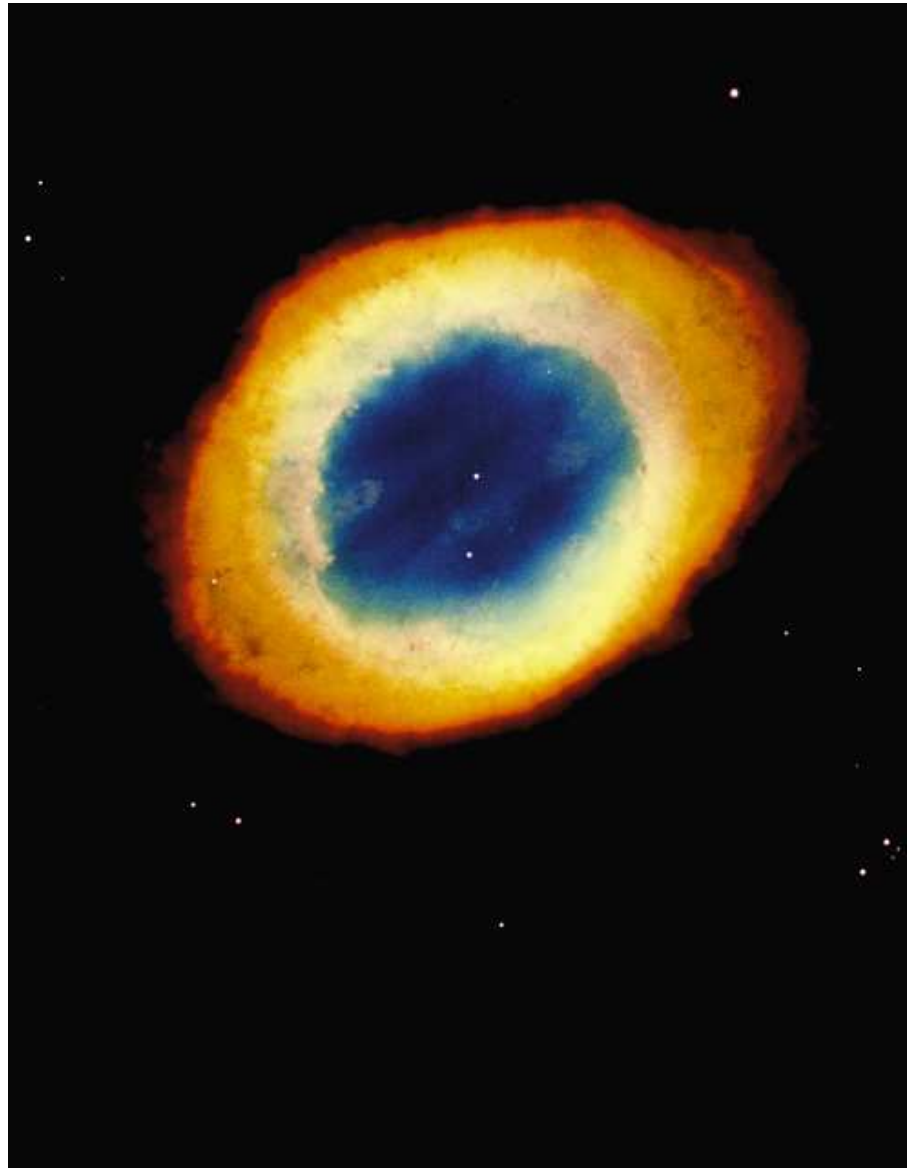
O destino da estrela depende agora da sua massa total, normalmente, entre 0,01 e 20 M_{\odot} :

- **Estrelas de massa pequena** ($\simeq 1M_{\odot}$) - A pressão interna é dada pelos elétrons (em número 2 vezes maior do que os núcleos de He) e, uma vez estabelecido o equilíbrio, elas são chamadas de **Anãs Brancas** com raios da ordem de 1000 Km. Levam $\simeq 10^9$ anos para se esfriar completamente, quando se tornarão anãs pretas (luminosidade nula).

A 1^a a ser identificada (1915) é uma companheira de Sirius a 8 anos-luz da Terra; é tão fraca que é imperceptível a olho nu.

Limite de Chandrasekhar (limite máximo para a massa da anã branca: $M_{ch} < 1.44M_{\odot}$ (matéria de He); $M_{ch} < 1.22M_{\odot}$ (matéria de Fe);

Nosso sol deverá evoluir para uma anã branca. Seu raio atual é de $\simeq 7 \times 10^5 Km = 700.000 Km$.



A anã branca morrendo pode ser vista no centro da nebulosa constituída de um gás rico em hidrogênio. A nebula é a atmosfera em expansão de uma estrela quase morta.

- **Estrelas com massa $> 1,44M_{\odot}$:**

- **Pré- supernova** - Já queimou H, He, C....Fe: ela agora possui um caroço (provavelmente Fe) e uma envoltória (H). $M_{caroco} \simeq 1.5M_{\odot}$ independente da massa inicial da estrela. O caroço se contrai a uma $T=10^9$ K e uma densidade central $\rho \simeq 10^8 g/cm^3$. Começa a reação $(Z, A) + e^- \rightarrow (Z-1, A) + \nu_e$ e os neutrinos carregam energia para fora da estrela. A pressão interna cai bruscamente e a estrela se contrai cada vez mais rapidamente. Dá-se o **colapso estelar** (morte da estrela) e aparece uma matéria totalmente catalizada, fria, sem nenhuma condição de produzir reações nucleares para gerar energia = **cadáver**.
- Na contração dá-se uma guerra de forças na qual a força gravitacional está ganhando; o colapso é uma espécie de *queda livre* do sistema. $t_{contração} \gg t_{colapso}$.
- **Explosão de supernova** - A energia liberada pelo colapso ejeta boa parte da massa da estrela. O termo explosão de supernova ou apenas supernova denota a morte catastrófica da estrela.
- A explosão de supernova ejeta as camadas mais externas da estrela e deixa um (outro) caroço remanescente, constituído basicamente de nêutrons, prótons e elétrons, todos livres.



Explosão de supernova

A supernova pode gerar uma **estrela de nêutrons** ou um **buraco negro**.

(a) Type I Supernova



(b) Type II Supernova



Time

Novamente dá-se o cabo de guerra entre a força gravitacional (depende apenas da massa do caroço) e a pressão do gás interno (depende da composição do gás).

- Se a massa do caroço for superior a um certo limite (limite de Oppenheimer-Volkoff), a pressão gravitacional será tão grande que não poderá ser contrabalançada pela pressão do gás e haverá novo colapso dando origem a um **buraco negro**, sempre que o raio do caroço for igual ou menor do que o raio de Schwarzschild. Nesse caso os raios de luz não escapam do tal raio. Segundo J. Wheeler, que denominou os buracos negros em 1968, **os buracos negros não tem cabelo** porque o que é atraído por ele é engolido, sem deixar rastro. Mas S. Hawking (1975) mostrou que a introdução de efeitos quânticos na gravitação modificam este quadro: os efeitos quânticos levam os buracos negros a criar e emitir partículas como se fossem corpos quentes com uma certa temperatura. Essa emissão térmica provoca um lento e gradual decréscimo na massa do buraco negro conduzindo, eventualmente, ao seu desaparecimento ou **evaporação**.

- Além dos buracos negros resultantes da evolução estelar, há também buracos negros primordiais, criados logo após o Big-Bang, em número muito maior, mas de massa muitíssimo menor ($\simeq 10^{15}$ g).
- Se a massa do caroço for inferior ao limite de Oppenheimer-Volkoff, a pressão interna do gás poderá interromper o processo de contração do caroço e estabelecer uma configuração estacionária para a estrela, que dá origem à **estrela de nêutros**.

Obrigada pela atenção!