

Cosmologia

Estudo do universo e de sua evolução. Observacional e muito ligado às áreas de astrofísica (dinâmica estelar, etc), física nuclear (reações nucleares, nucleossíntese) e física de partículas.

Composição (conhecida): teoria do Big Bang prevê 76% de H, 24% de He e traços do resto. Observação: 73% H, 26% He e 1% resto.

Diferença pode ser compreendida pela queima de H nas estrelas, como vamos ver adiante.

0,5 % da massa é matéria luminosa. Outro tanto é de matéria “normal” escura (anãs marrons, buracos negros, ...). Temos $\sim 10^9$ neutrinos e fótons por H. Somando tudo isso: apenas $\sim 4\%$ da massa do universo é devida a matéria como a conhecemos atualmente.

Começemos com o calendário de Carl Sagan, no qual ele comprimiu a idade do universo em 1 ano terrestre.

Datas anteriores a Dezembro

Big Bang	1/1
Via Láctea	1/5
Sistema Solar	9/9
Formação da Terra	14/9
Origem da vida na Terra	~25/9
Formação das rochas mais antigas que se conhecem na Terra	2/10
Fósseis mais antigos (bactérias e algas)	9/10
Invenção do sexo (microorganismos)	~1/11
Fósseis de plantas fotossintéticas	12/11
Eucariotas (células com núcleo)	15/11

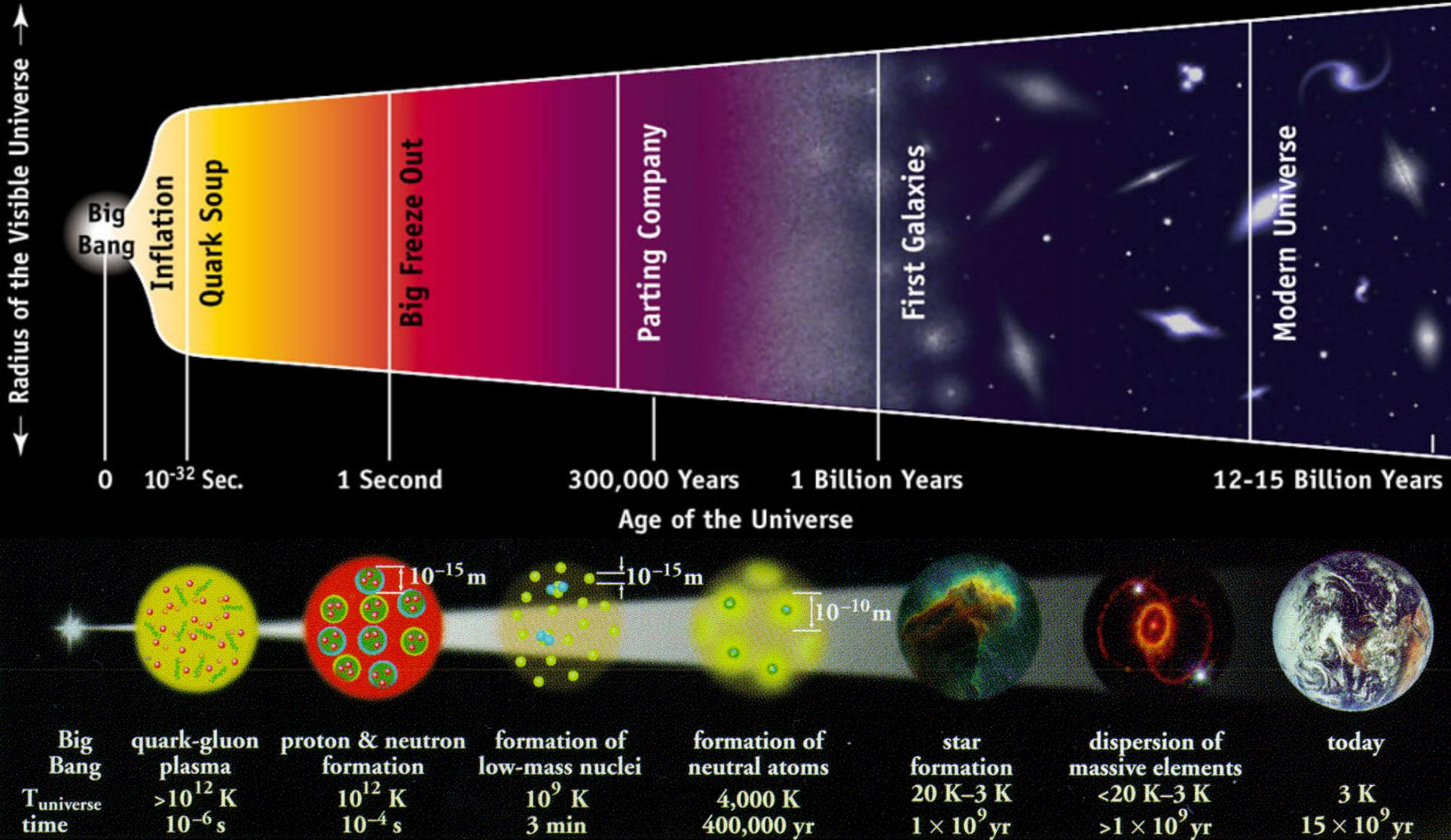
Dezembro

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
	1 Começa a se desenvolver na Terra atmosfera de oxigênio significativa.	2	3	4	5 Vulcanismo intenso e formação de canais em Marte.	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16 Primeiros vermes.	17 Fim do pré-cambriano. Início da era paleozóica e do cambriano. Desenvolvimento dos invertebrados	18 Primeiro plâncton oceânico. Desenvolvimento dos trilobitas.	19 Período Ordoviciano. Primeiros peixes, primeiros vertebrados.	20 Período Siluriano. Primeiras plantas vasculares. Plantas começam a colonizar a terra.
21 Período Devoniano começa. Primeiros insetos. Animais começam a colonizar a terra.	22 Primeiros anfíbios. Primeiros insetos alados.	23 Período carbonífero. Primeiras árvores. Primeiros répteis.	24 Começa o período Permiano. Primeiros dinossauros.	25 Fim da era paleozóica. Começa era Mesozóica.	26 Período Triássico. Primeiros mamíferos.	27 Período Jurássico. Primeiras aves.
28 Período Cretáceo. Primeiras flores. Extinção dos dinossauros.	29 Fim da era Mesozóica. Início da era Cenozóica e do período terciário. Primeiros cetáceos. Primeiros primatas.	30 Início da evolução dos lobos frontais nos cérebros de primatas. Primeiros homínídeos. Desenvolvimento dos mamíferos gigantes.	31 Fim do período Plioceno. Período Quaternário (Pleistoceno e Holoceno). Primeiros humanos.			

31 de dezembro

Origem do <i>Proconsul</i> e do <i>Ramapithecus</i> , prováveis ancestrais dos macacos e do homem	~ 13:30
Primeiros humanos	~ 22:30
Uso generalizado de ferramentas de pedras	23:00
Domínio do fogo pelo homem de Pequim	23:46
Começo do período glacial mais recente	23:56
Navegadores colonizam a Austrália	23:58
Pinturas rupestres em cavernas por toda Europa	23:59
Invenção da agricultura	23:59:20
Civilização Neolítica; primeiras cidades.	23:59:35
Primeiras dinastias na Suméria, Ebla e Egito. Desenvolvimento da astronomia.	23:59:50
Invenção do alfabeto; império Acadiano.	23:59:51
Códigos legais de Hamurabi na Babilônia; Médio Império no Egito	23:59:52
Metalurgia do bronze; cultura micênica; guerra de Tróia; cultura Olmeca; invenção da bússola	23:59:53
Metalurgia do ferro; primeiro império Assírio, reino de Israel; fundação de Cartago pelos fenícios.	23:59:54
Dinastia Ch'in na China; Atenas de Péricles; nascimento de Buda	23:59:55
Geometria euclidiana; física de Arquimedes; astronomia ptolomaica; império Romano; nascimento de Cristo	23:59:56
Zero e decimais inventados na Índia; queda de Roma; nascimento do islamismo e da civilização islâmica.	23:59:57
Civilização Maia; dinastia Sung na China; império bizantino; invasões mongóis na Europa; cruzadas	23:59:58
Renascença na Europa; viagens de descobrimento européias e chinesas; surgimento do método experimental na ciência.	23:59:59
Desenvolvimento generalizado da ciência e da tecnologia; surgimento de uma cultura global; criação dos meios de auto-destruição da espécie humana; primeiros passos na exploração planetária e na procura de inteligência extra-terrestre.	Agora: primeiro segundo do Ano Novo

Cosmologia



Nucleossíntese

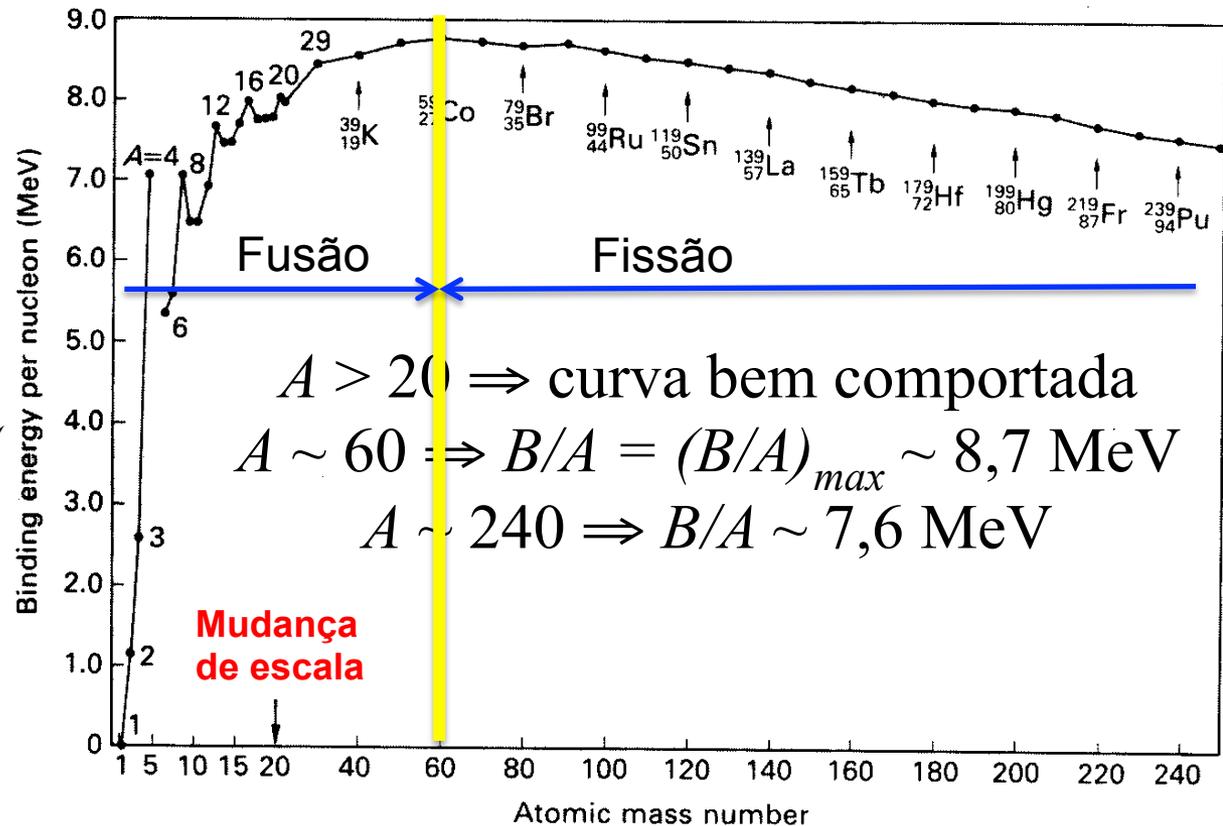
Big Bang prevê 76% de H, 24% de He e traços do resto.

Elementos mais pesados → formados em estrelas.

Energia de ligação nuclear

Núcleo com Z prótons e N nêutrons estável ⇒

$M(Z,A)c^2 = ZM_p c^2 + NM_n c^2 - B$, com $B > 0$ → energia de ligação do núcleo

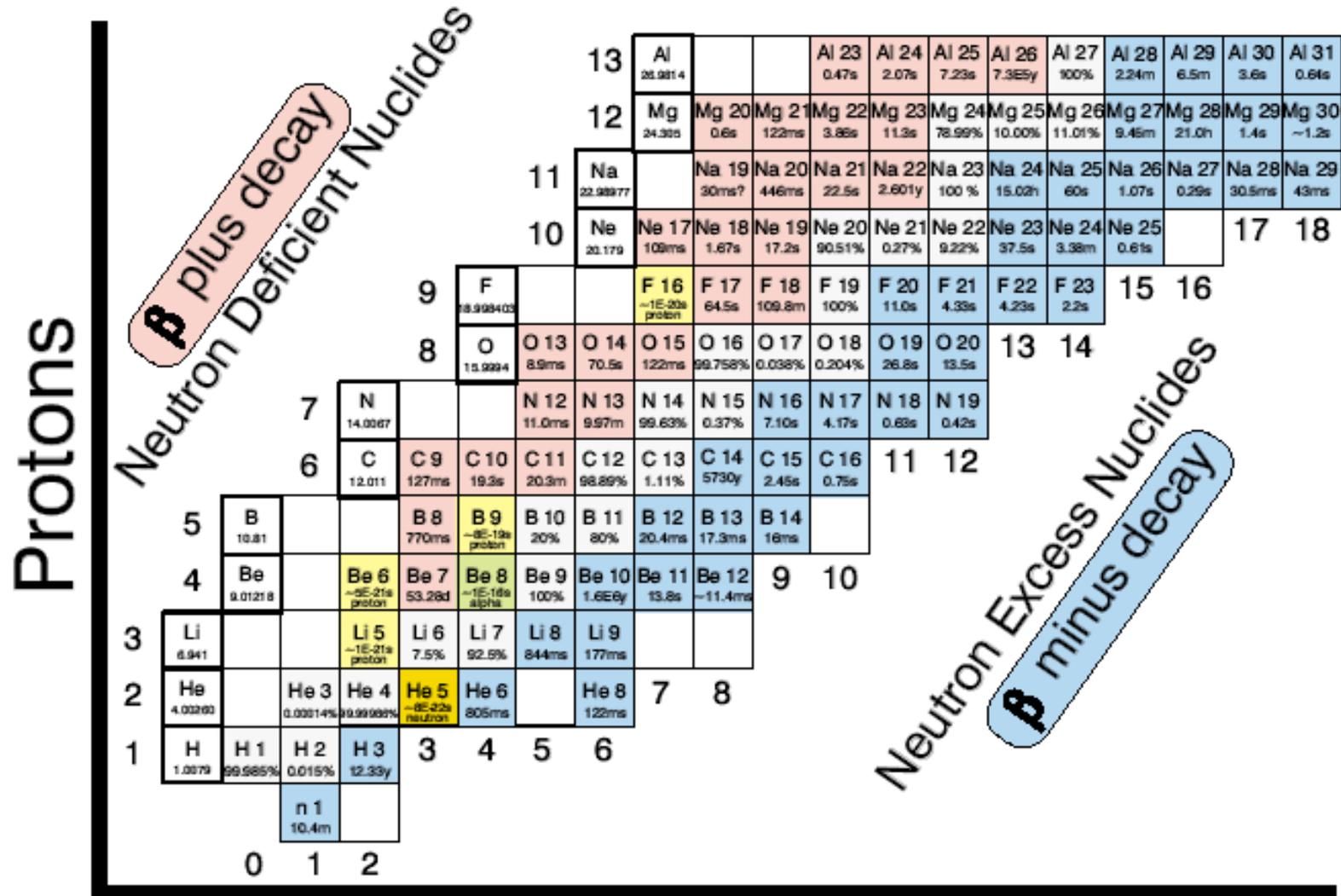


Energia de ligação por nucleon

$A > 20 \Rightarrow$ curva bem comportada
 $A \sim 60 \Rightarrow B/A = (B/A)_{max} \sim 8,7$ MeV
 $A \sim 240 \Rightarrow B/A \sim 7,6$ MeV

Mudança de escala

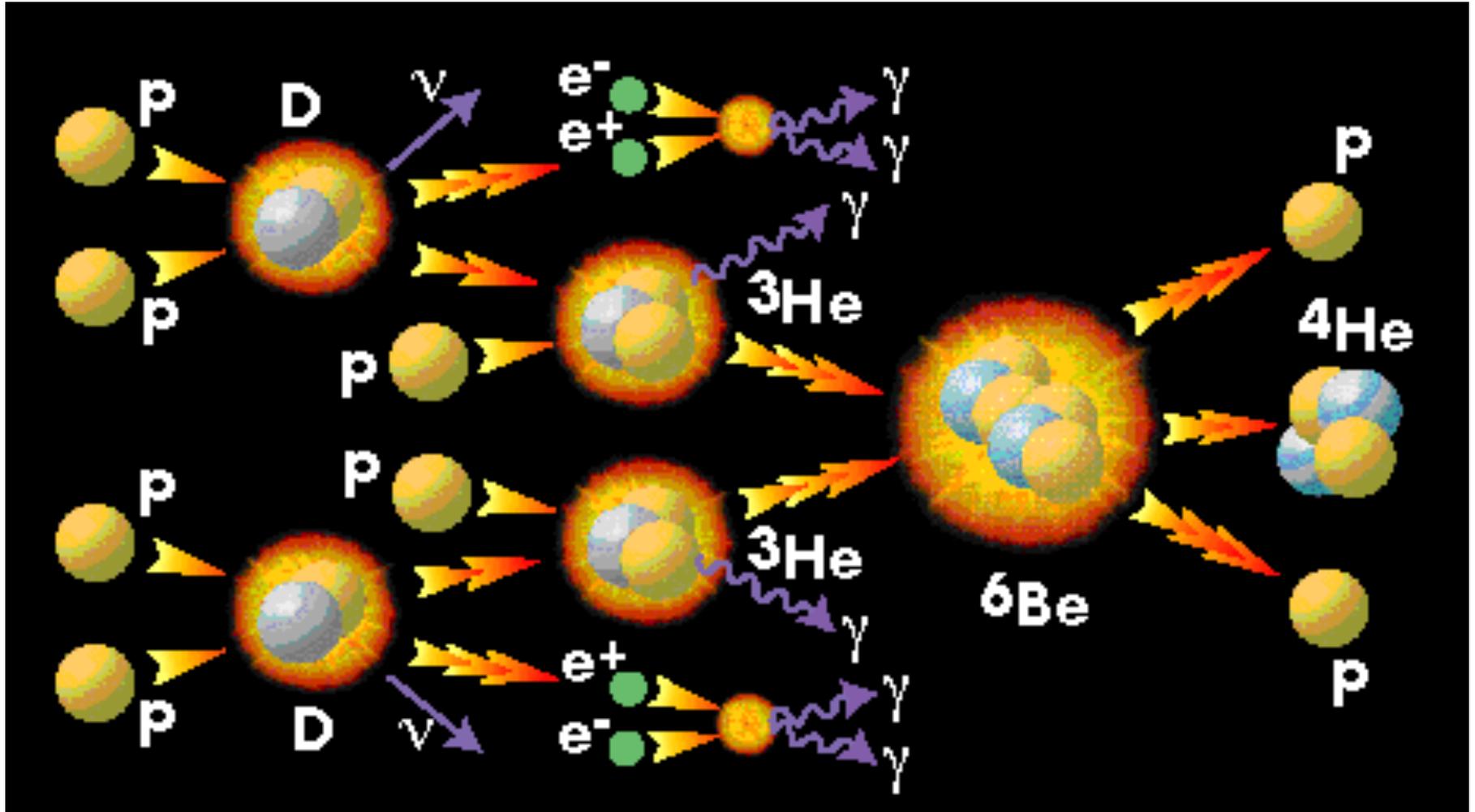
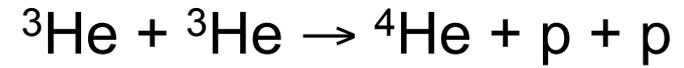
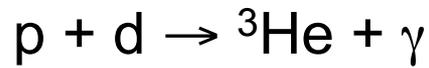
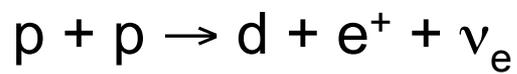
CHART OF THE NUCLIDES



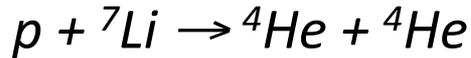
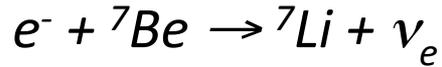
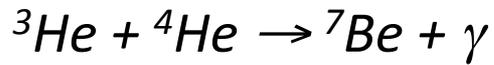
Queima de H (estrelas jovens):

Cadeias PP: $4p \rightarrow {}^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e$ ($\Delta m \approx 0,7\%$)

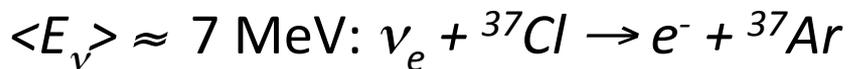
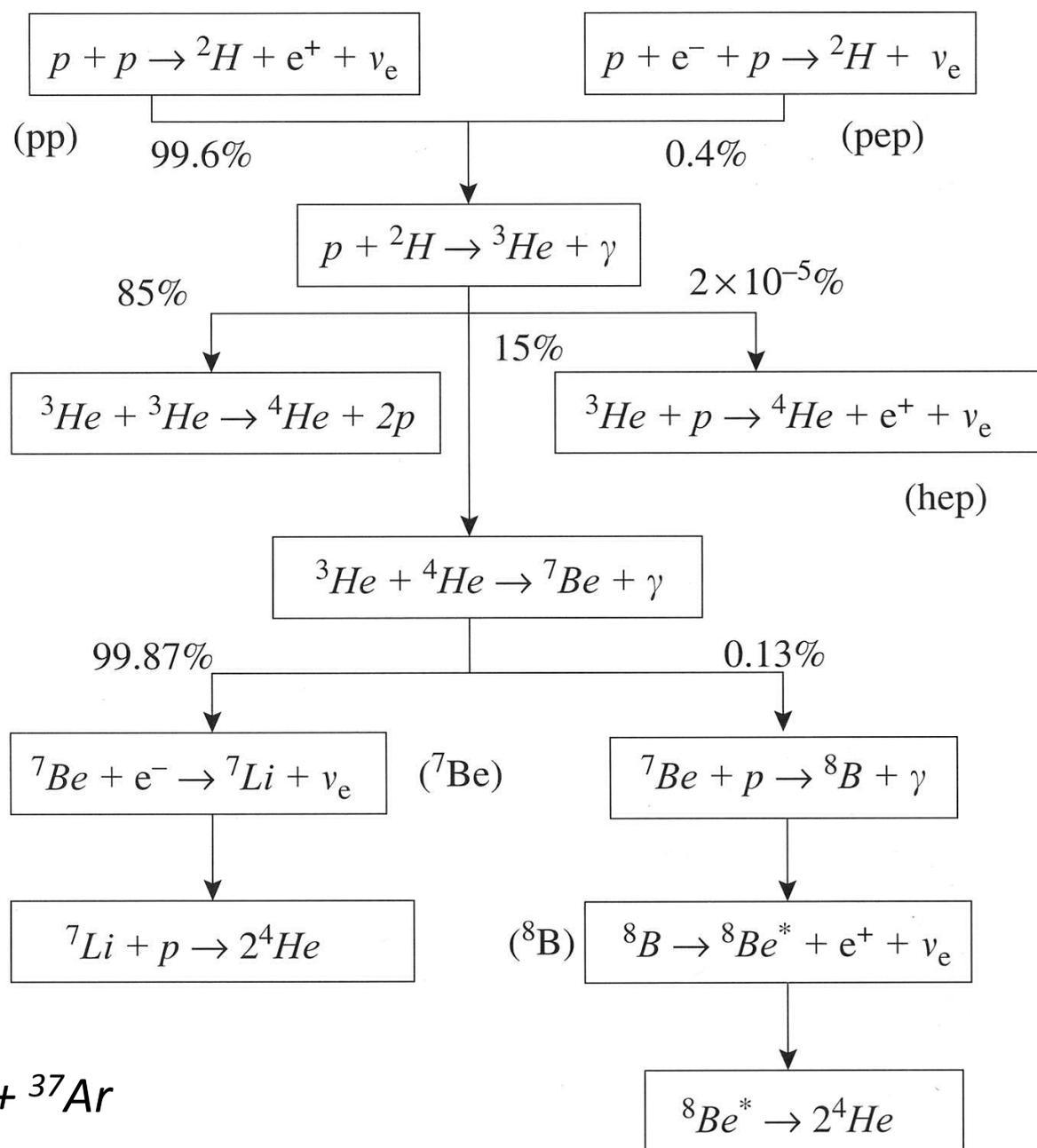
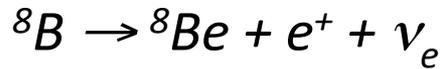
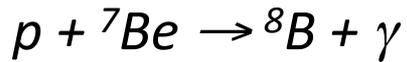
PP1:



PP2:



PP3:



Necessidade: altas densidades e temperaturas. Barreira coulombiana:

$$V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(ze)(Ze)}{R}, \text{ mas } \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

$$V_C = \alpha\hbar c \frac{zZ}{R} \approx 1,44 \frac{zZ}{R(\text{fm})} \text{ MeV}$$

Prótons: $z = Z = 1$ e $R \approx 1 \text{ fm} \Rightarrow V_C \approx 1 \text{ MeV} \Rightarrow T = E/k \approx 10^{10} \text{ K}$

(no interior, $T_{\text{sol}} \approx 10^7 \text{ K}$) \Rightarrow tunelamento.

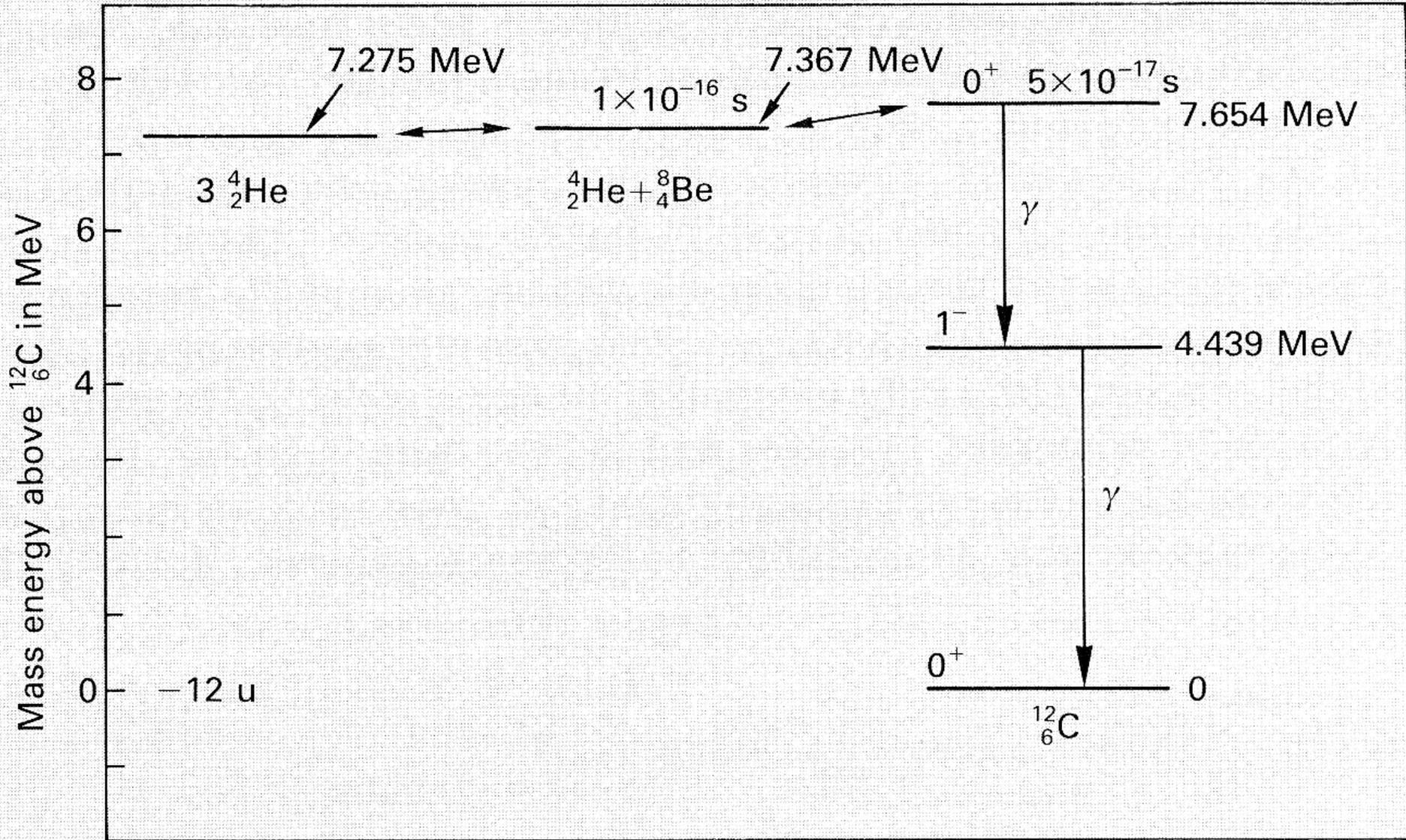
Queima de He ($T \approx 10^8 \text{ K}$): $3 \text{ } ^4\text{He} \rightarrow \text{}^{12}\text{C}$

$^4\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow \text{}^8\text{Be}$ (meia-vida $\sim 2 \times 10^{-16} \text{ s}$)

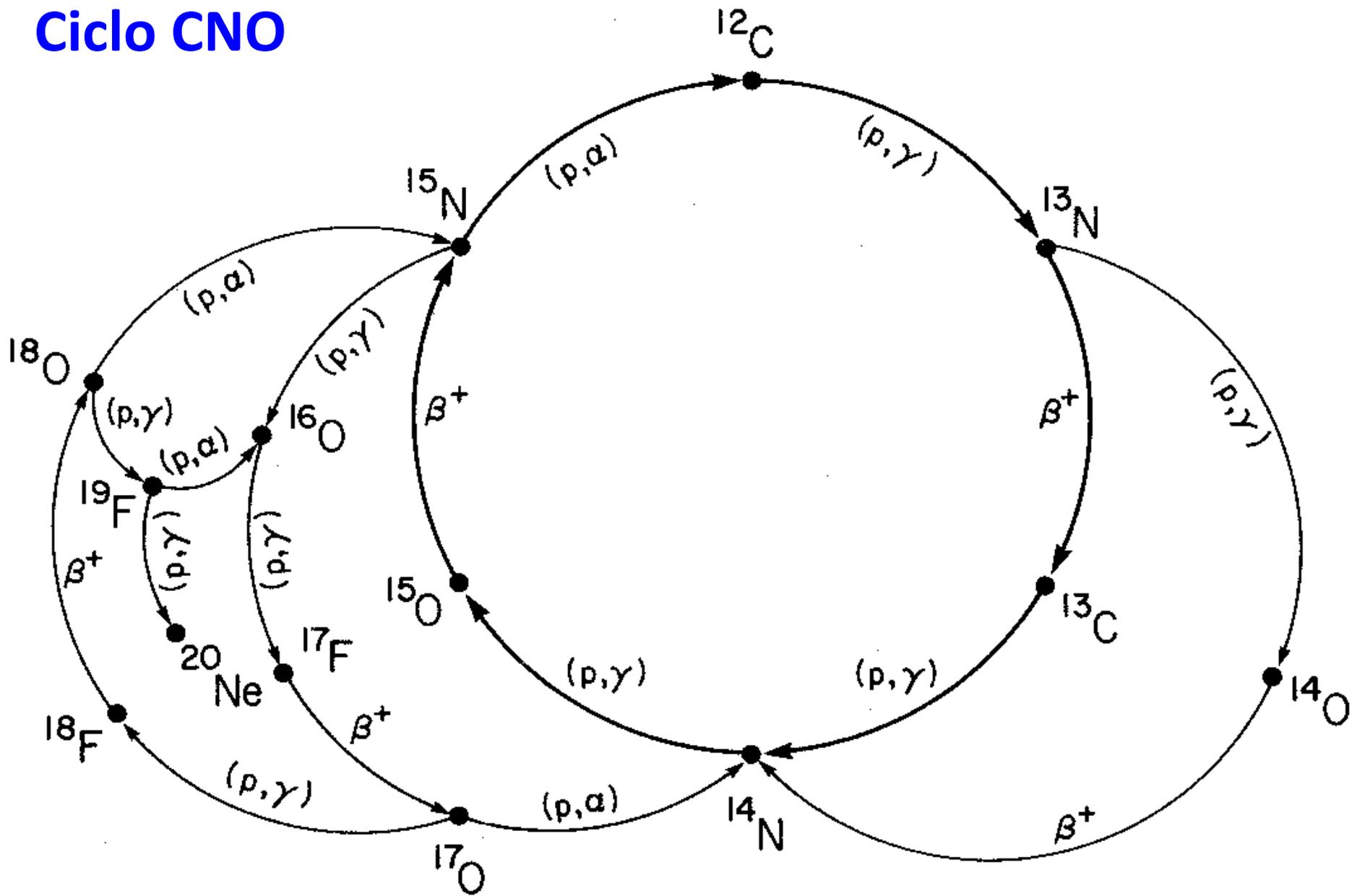
$^4\text{He} + \text{}^8\text{Be} \rightarrow \text{}^{12}\text{C} + \gamma$

Estado excitado 0^+ em 7,654 MeV no ^{12}C : $\Psi \sim 3$ alfas alinhadas

Previsto por Fred Hoyle muito antes de ser medido.

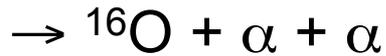
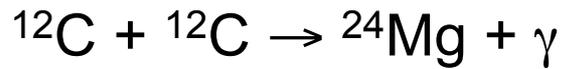


Ciclo CNO

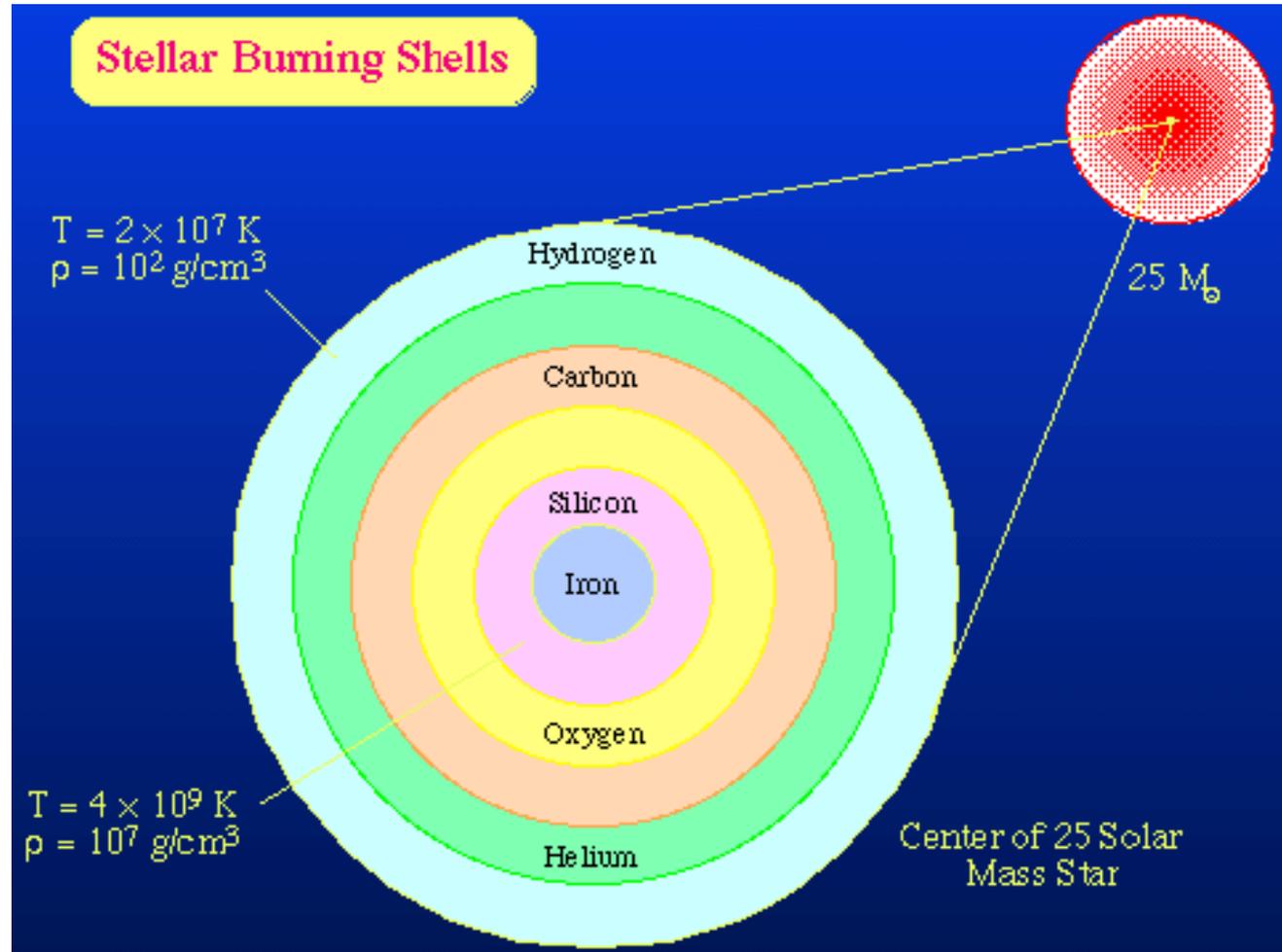


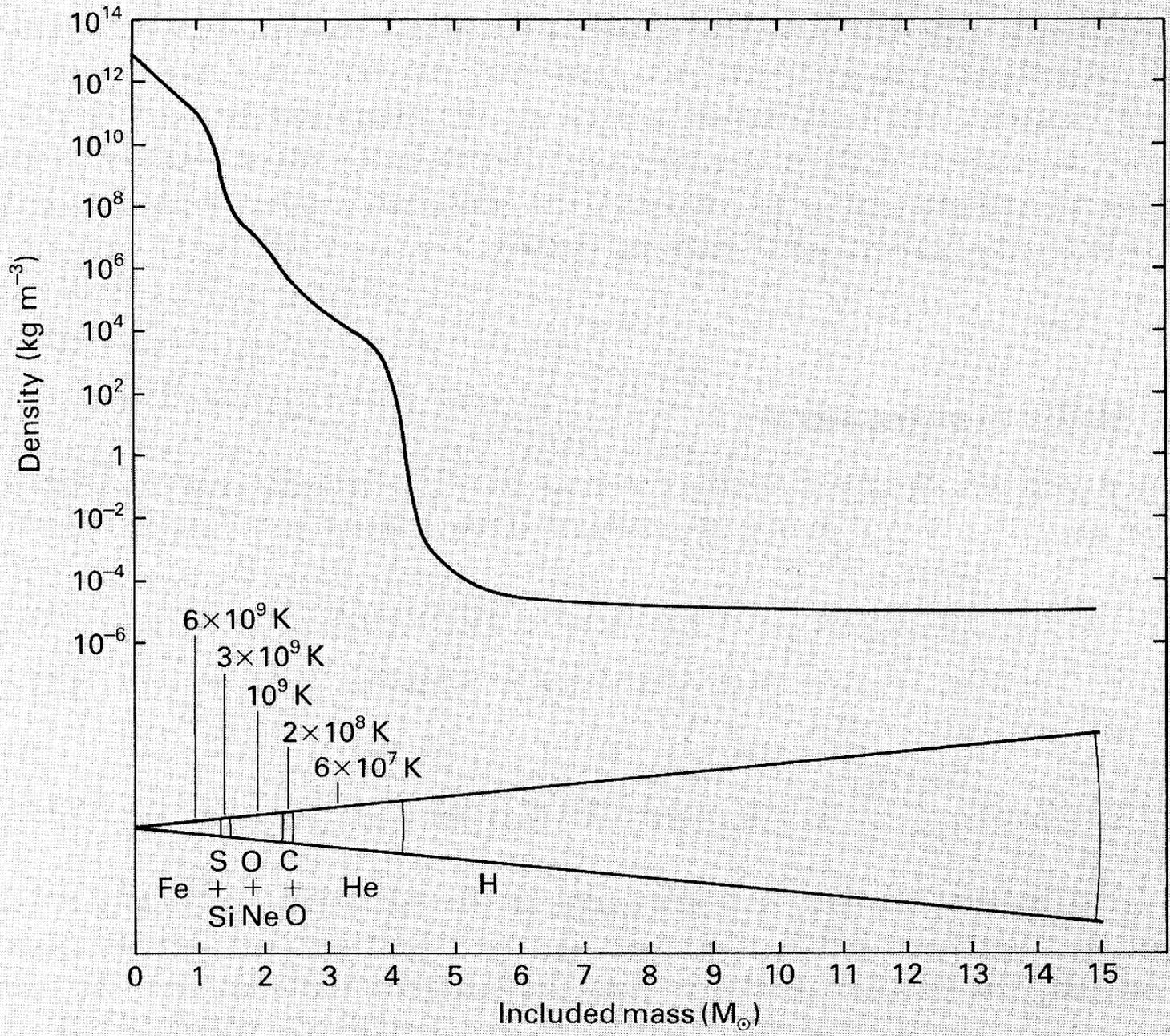
Com C suficiente: ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$

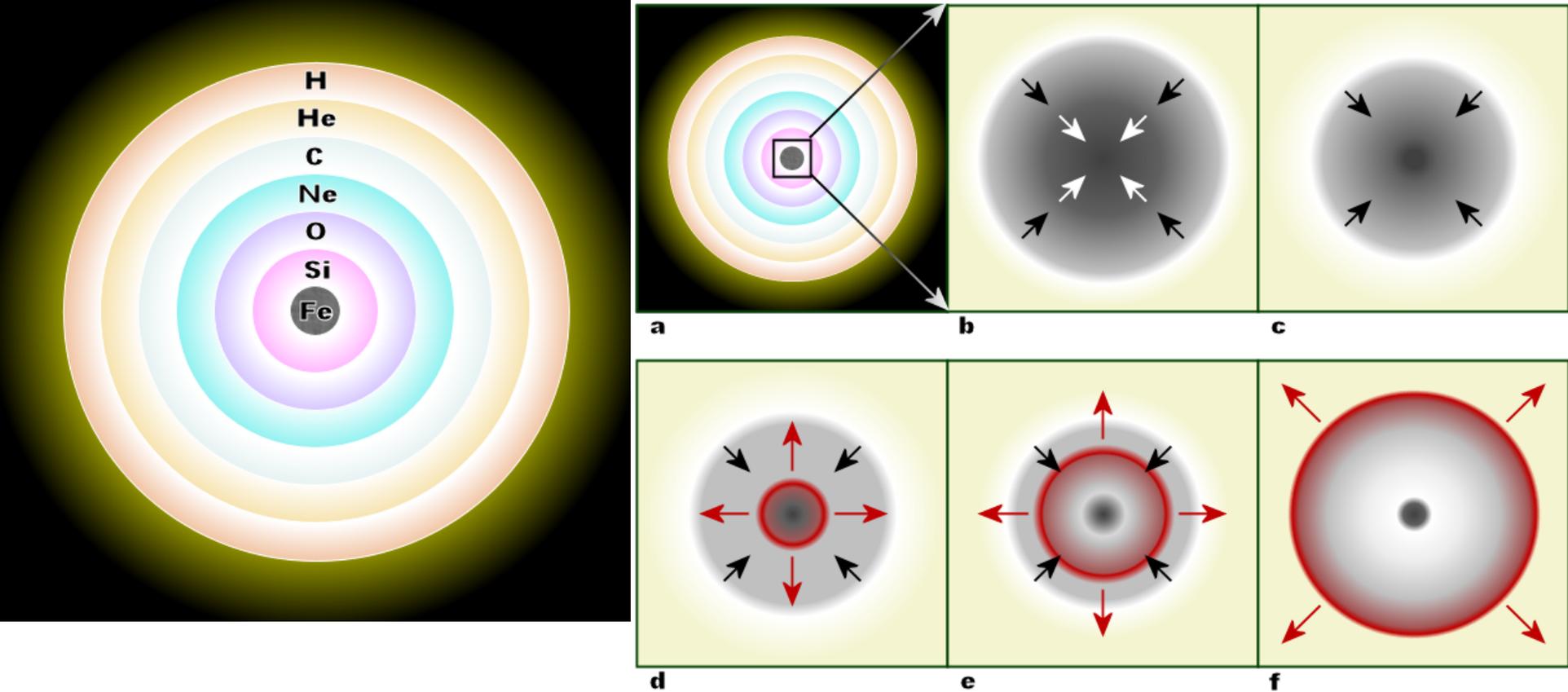
Queima de ${}^{12}\text{C}$ ($T \approx 10^9$ K):



Depois tem a queima do O, ...
Formação de núcleos pesados
(acima de $A = 56$) \Rightarrow supernovas.







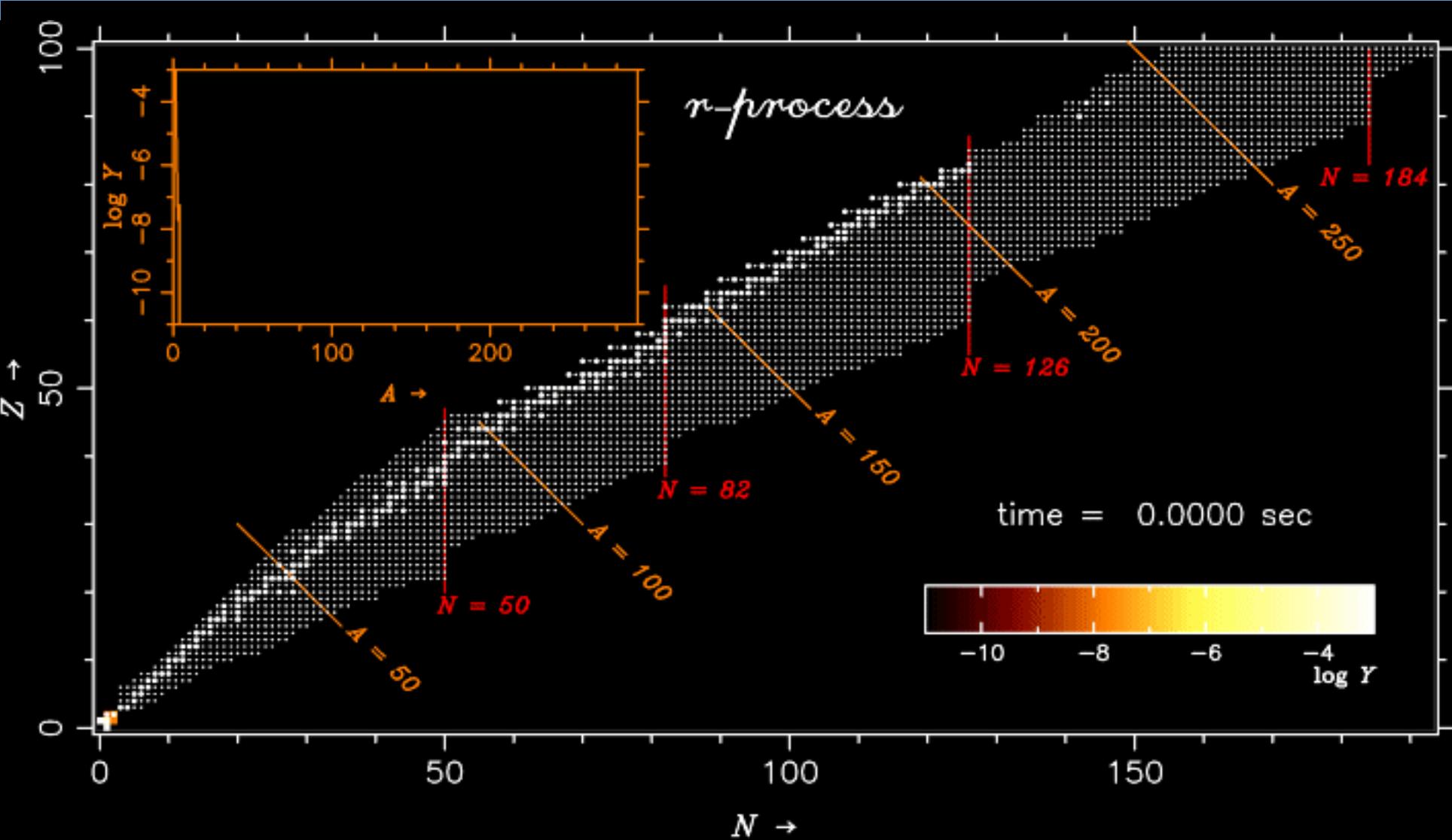
O núcleo de Fe chega ao [limite de Chandrasekhar](#) ($M > 1,4M_{\odot}$) e começa a colapsar (b), com a camada mais externa movendo-se com velocidades supersônicas (setas pretas), enquanto que o caroço mais interno – e mais denso – move-se com velocidades sub-sônicas (setas brancas).

(c) O caroço interno é convertido em nêutrons e a energia gravitacional dissipada em neutrinos.

(d) O material mais externo cai sobre o caroço, é refletido e forma uma onda de choque que se move para fora (em vermelho).

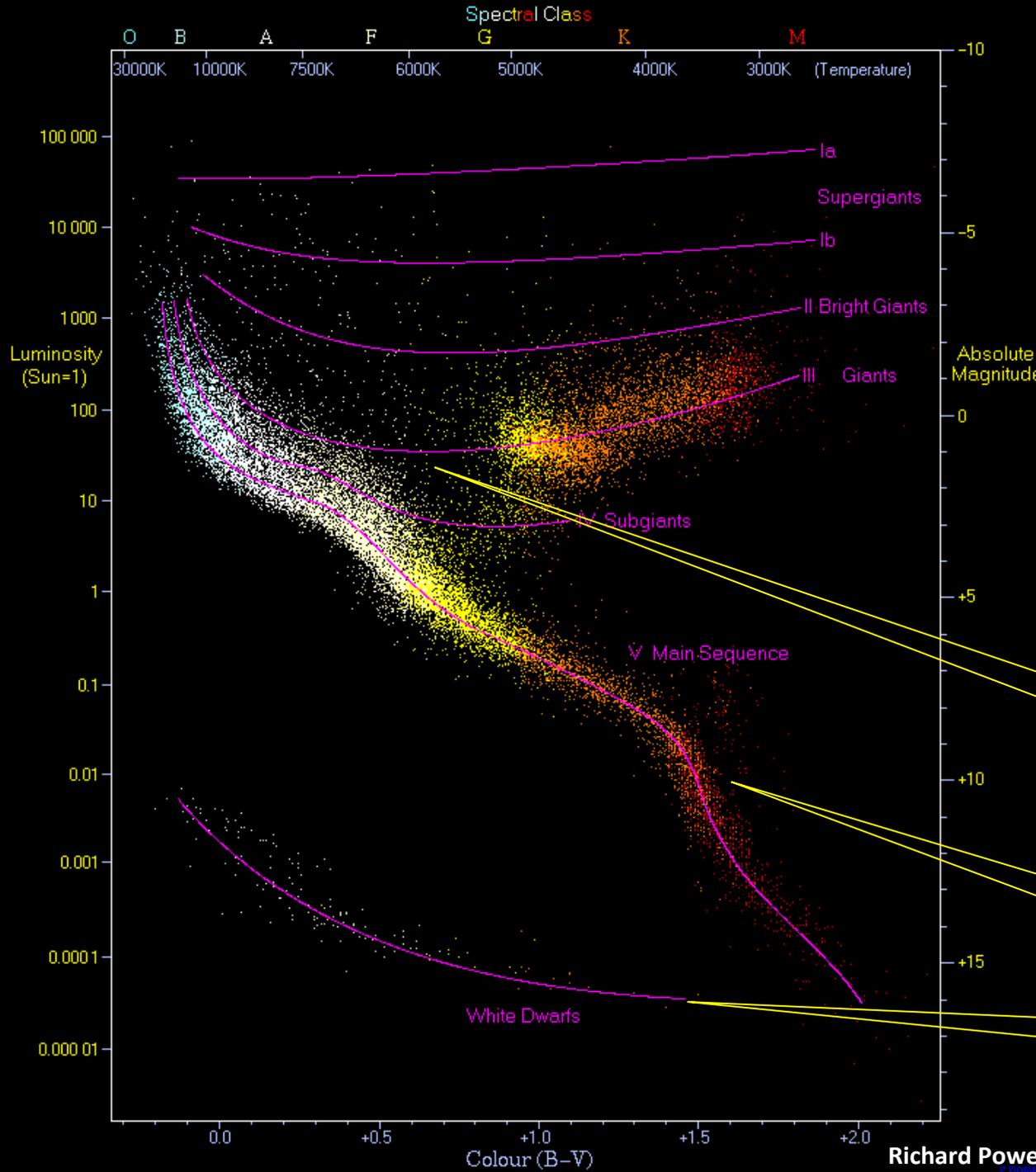
(e) A onda perde energia para processos nucleares, mas é reforçada pela interação com neutrinos.

(f) O material mais externo é expelido, deixando apenas um caroço.



Evolução estelar

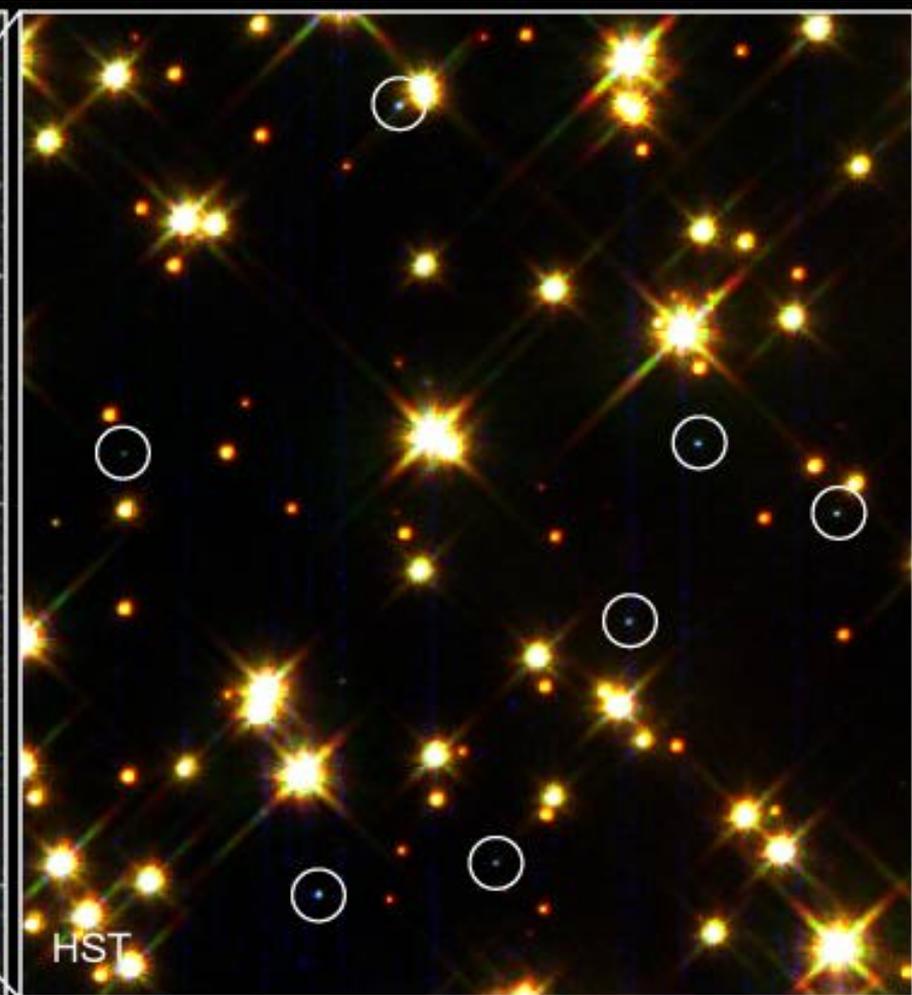
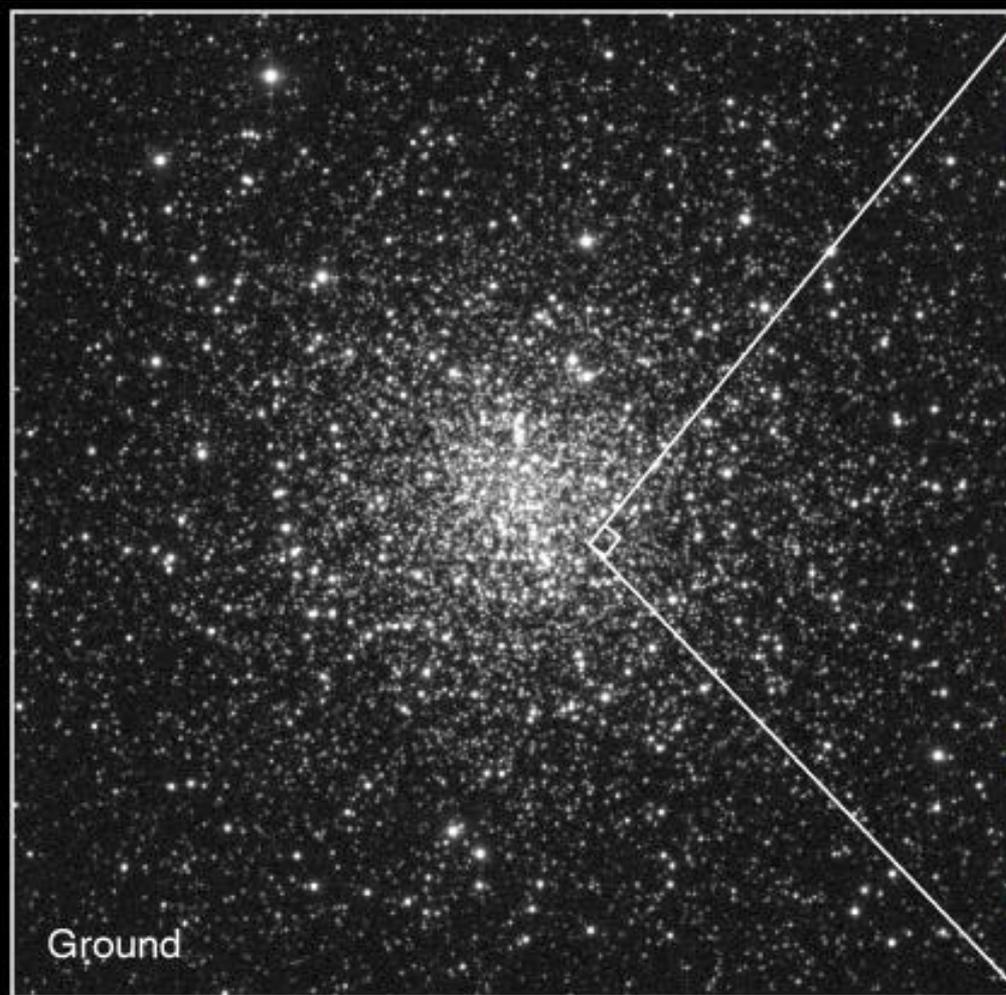
Os vários estágios de evolução das estrelas podem ser representados em um diagrama de Luminosidade x Temperatura, conhecido por diagrama H-R (de Hertzsprung-Russell).



Hertzsprung gap

Sequência principal
queima de H

Anãs brancas
 $M < 1,4 M_{\odot}$



White Dwarf Stars in M4

PRC95-32 · ST ScI OPO · August 28, 1995 · H. Bond (ST ScI), NASA

HST · WFPC2

Diagrama H-R para 2 aglomerados abertos (conjuntos de alguns milhares de estrelas, formadas a partir da mesma nuvem de gás e poeira – e, portanto, de mesma composição). Essa superposição mostra a saída da sequência principal em diferentes idades.

$$\tau_{\text{SP}} \approx 10^{10} \left(\frac{M_{\odot}}{M} \right)^{5/2} \text{ anos}$$

