

Massa do Universo

Existem várias evidências de que há mais massa no Universo do que aquela que podemos “ver”.

Lente gravitacional – Imagem do Hubble mostrando deformações nas imagens, produzidas pela curvatura da luz ao passar por um aglomerado de galáxias – o Abell 2218. Os arcos representam galáxias distantes, cuja imagem foi deformada pela gravidade.



Pela deformação observada pode-se inferir a massa do aglomerado e, com isso, determinar as distâncias de objetos que aparecem distorcidos na imagem.

Essa diferença é tão significativa, que, aparentemente, trata-se de um tipo de matéria não bariônica, ou seja, não do mesmo tipo daquela de que somos feitos – ou o nosso planeta.

Outro processo é a **dinâmica de galáxias espirais**.

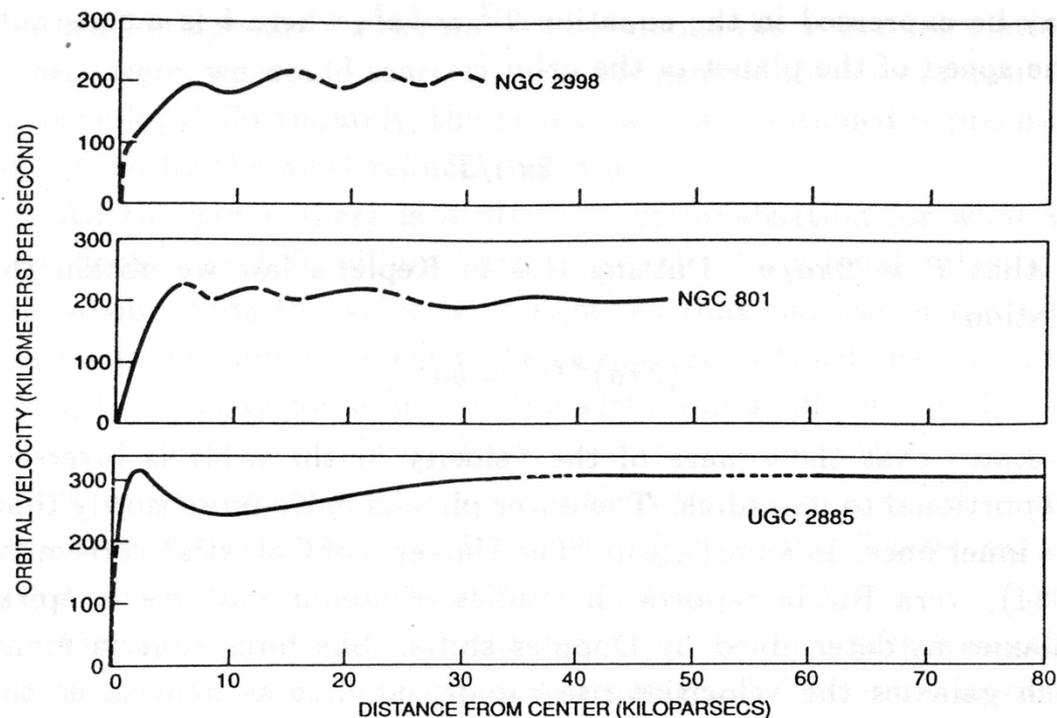
Lei de Kepler: $T^2 = ba^3$ onde T é o período da órbita, b uma constante e a é proporcional à dimensão da órbita.

Para órbitas pouco excêntricas (como as dos planetas do sistema solar), temos:

$v = 2\pi a/T$. Substituindo na equação da lei de Kepler:

$$(2\pi a)^2/v^2 = ba^3 \Rightarrow v^2 \propto a^{-1}.$$

Assim, os planetas mais distantes movem-se mais devagar em torno do Sol. Isso acontece também com os braços de galáxias espirais.

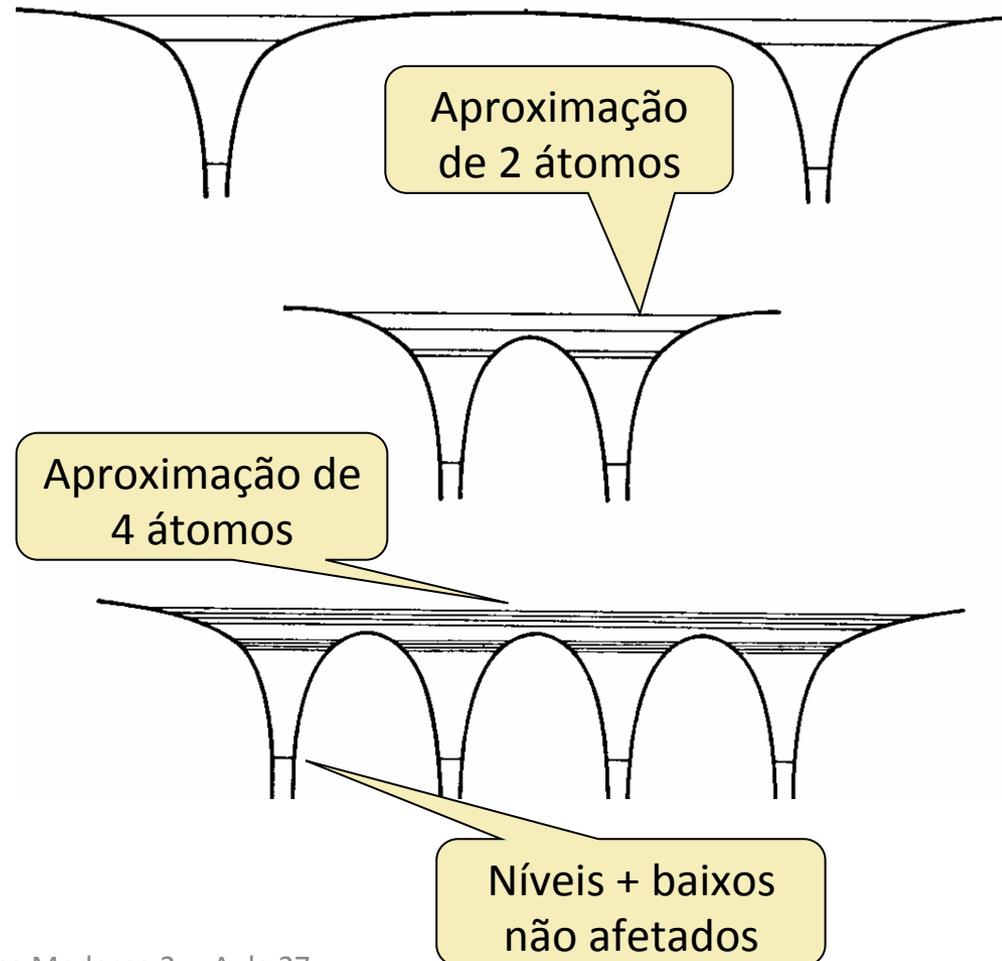


Perguntas (im)pertinentes

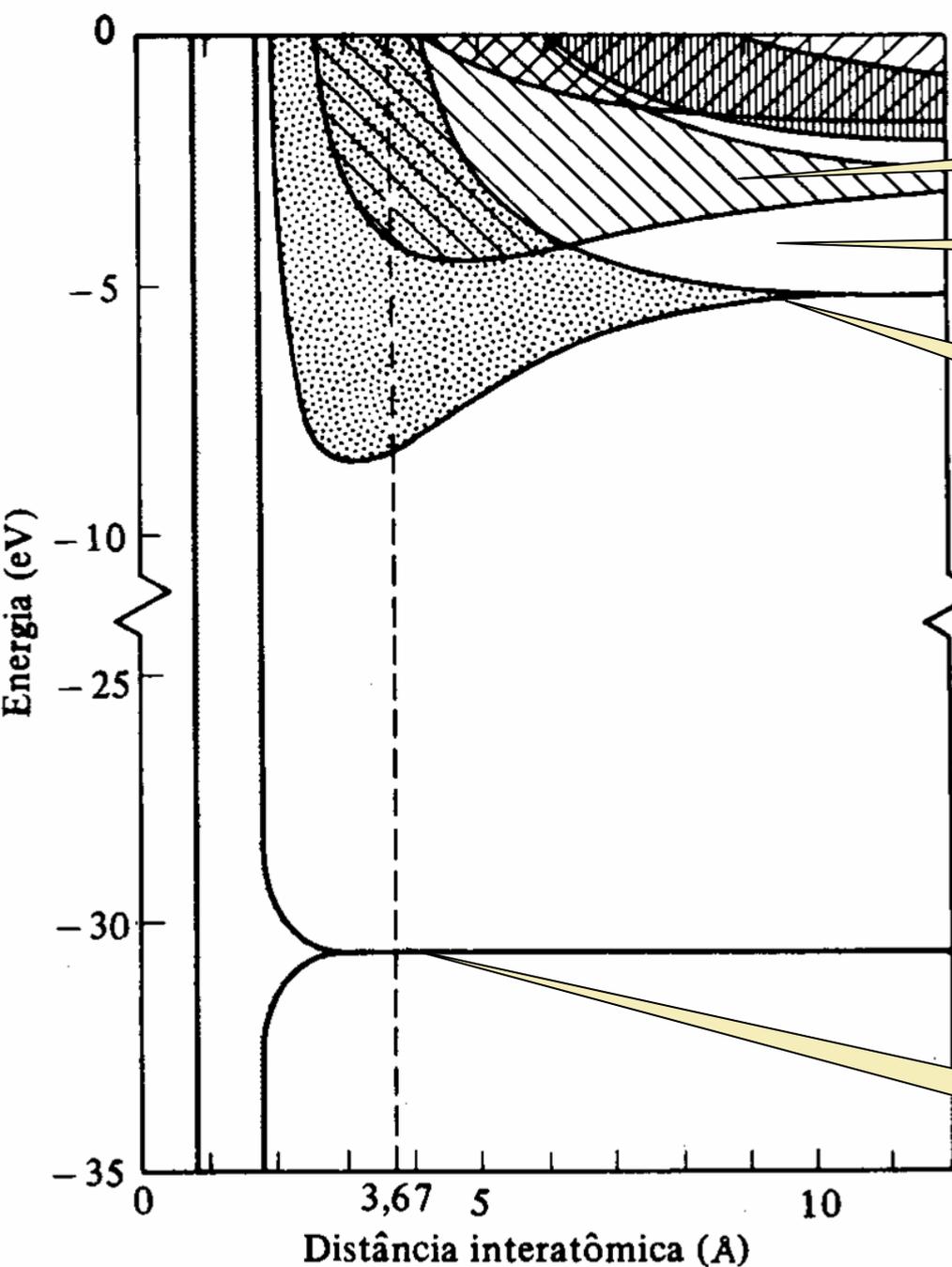
- Porque existem quarks e léptons e o que os faz diferentes?
- Porque existem 3 gerações, cada uma contendo um par de quarks e um par de léptons?
- Porque existem 4 forças e porque elas têm as intensidades relativas que observamos?
- É possível que todas as 4 forças conhecidas sejam apenas facetas diferentes de uma mesma interação?
- O mecanismo de Higgs é correto?
- Será possível juntar relatividade geral e mecânica quântica?
- Porque é que parecemos viver em 3 dimensões espaciais e uma dimensão temporal?
- O que faz o tempo diferente do espaço?
- Se TRG e a MQ puderem ser unificadas, isso significa que o espaço e o tempo são granulares?

Níveis mais baixos não são afetados por serem mais ligados e terem órbitas menores \Rightarrow não há superposição!

Desdobramento depende das características do nível: níveis $s \Rightarrow$ banda com N níveis. Níveis p (3x degenerado, por causa dos $m_\ell \Rightarrow 3N$ níveis).



Caso do Na: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$



Banda permitida

Banda proibida

Nível 3s se transforma em uma banda

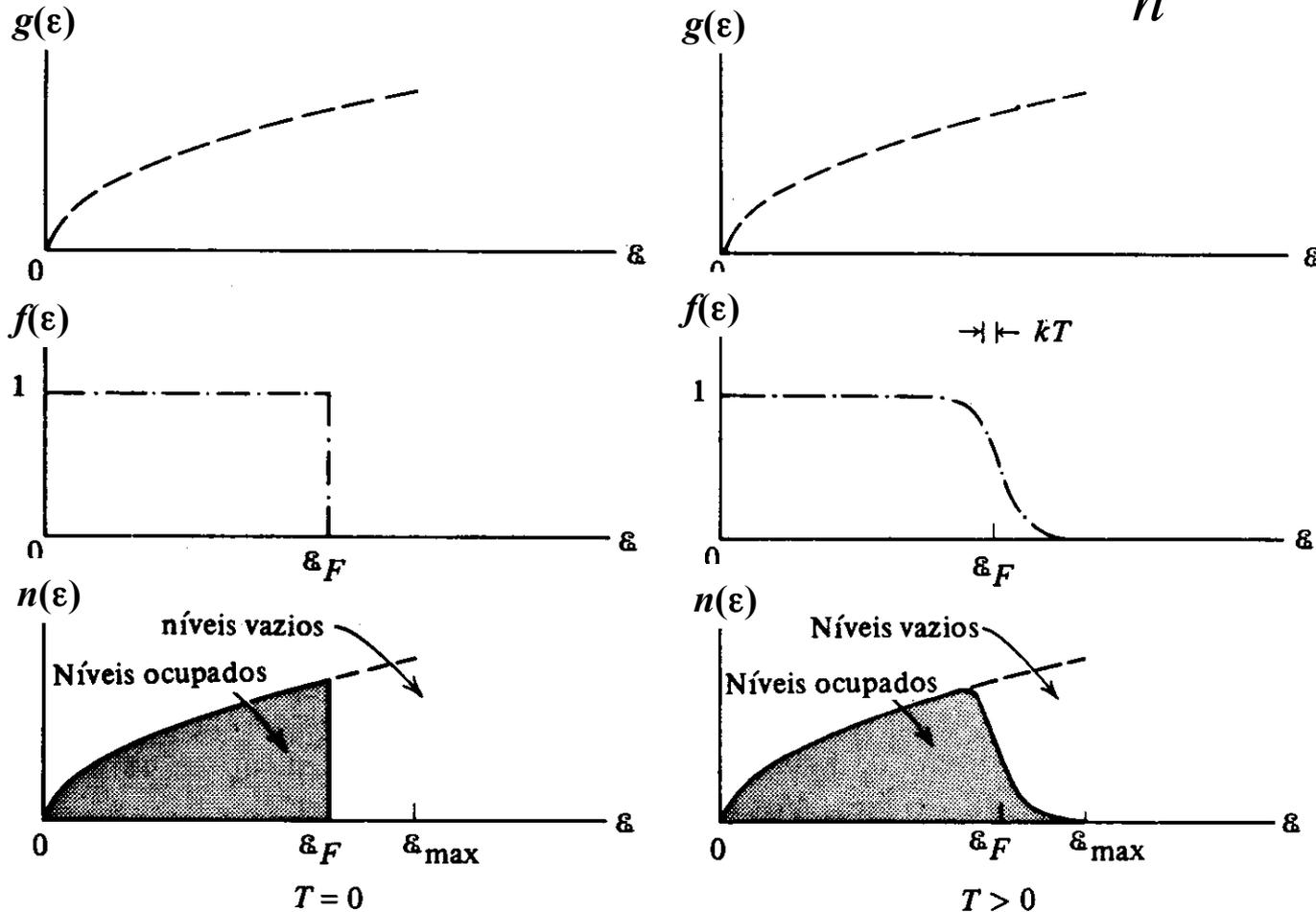
Verificação experimental: transições $3s \rightarrow 2p$
 Na gasoso \Rightarrow linha estreita dos R-X L emitidos.
 Na sólido \Rightarrow linha larga (distribuição de energia dos fótons alargada por causa do alargamento do nível 3s)

Nível 2p não foi afetado na separação de equilíbrio

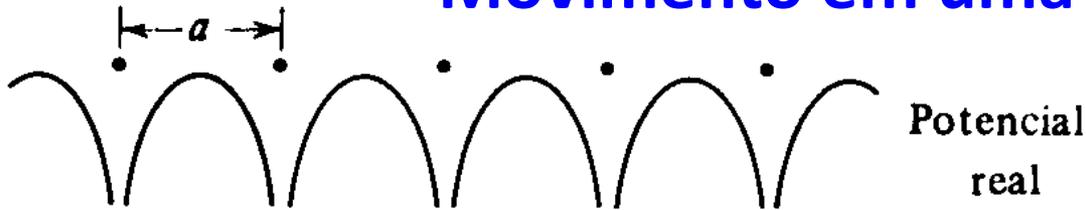
Modelo quântico da condução elétrica em metais

A ocupação dos estados de energia de um gás de e^- num poço quadrado, é dada por:

$$n(E) = f(E)g(E)dE = \frac{8\pi V(2m^3)^{1/2}}{h^3} \frac{E^{1/2}dE}{e^{(E-E_F)/kT} + 1}$$



Movimento em uma rede periódica



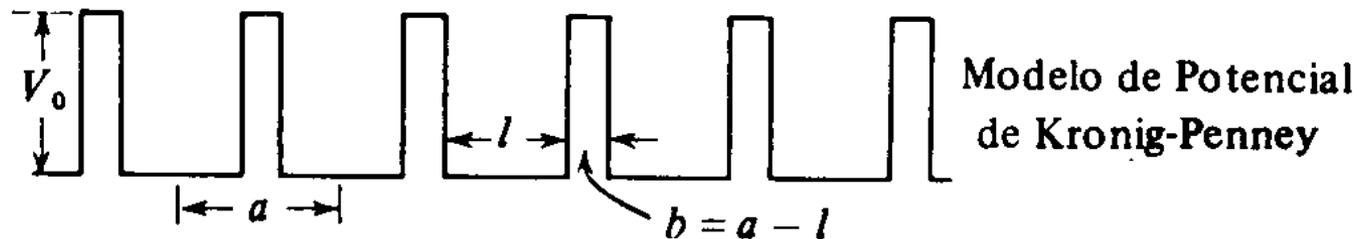
$$\Psi(x,t) = u_k(x)e^{i(kx-\omega t)}$$

$$u_k(x) = u_k(x+a) = u_k(x+na)$$

Função de onda do e^- : onda progressiva. Em vez de amplitude constante, temos uma função.

Função que modula a amplitude da onda pela periodicidade da rede

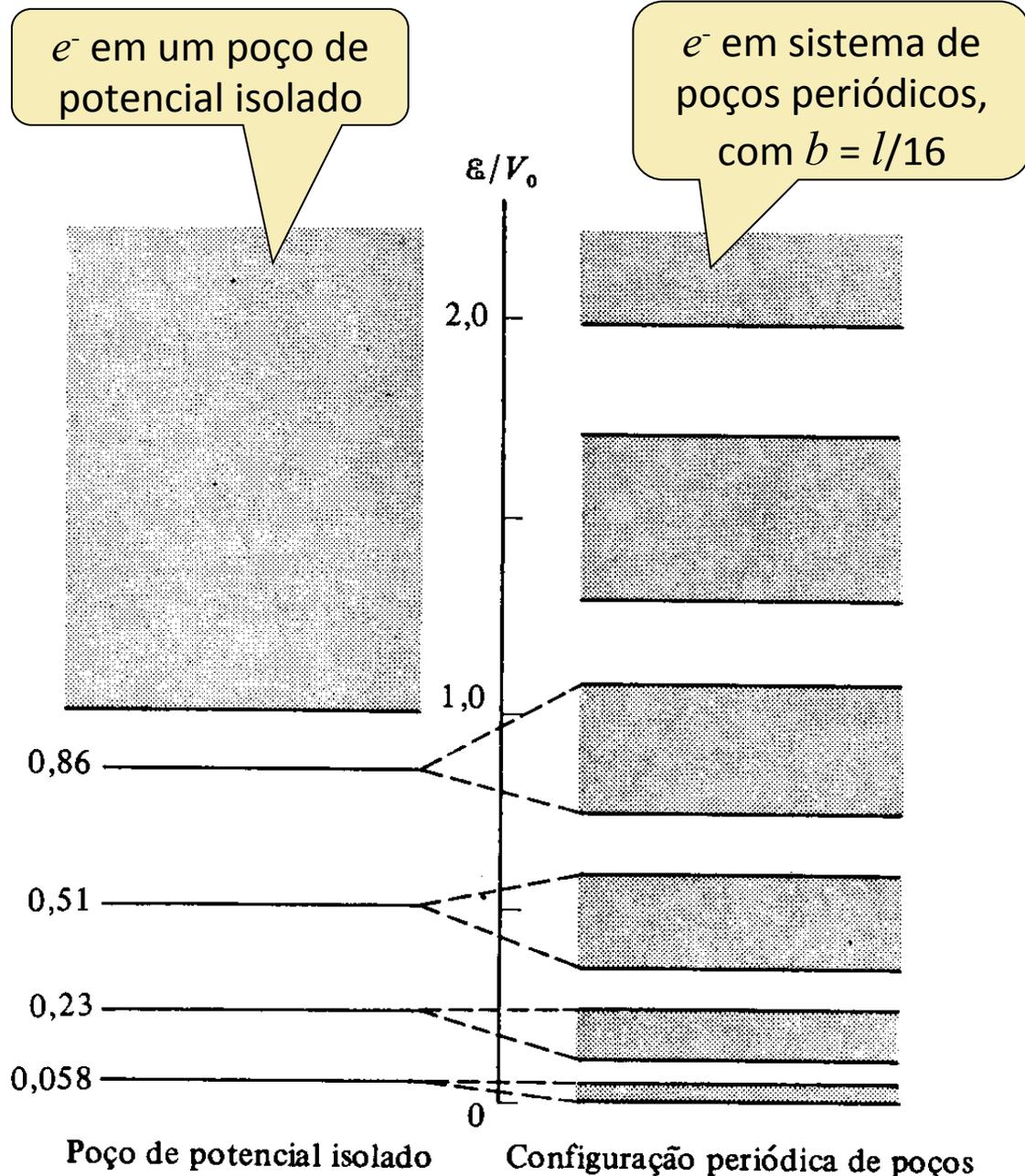
Os e^- podem ser espalhados pelos átomos da rede. Isso depende da relação entre o comprimento de onda de de Broglie e o espaçamento dos átomos.



Se $E \ll V_0$ e b é grande, então temos o e^- preso a um poço, com a estrutura de níveis já conhecida. À medida que os poços se aproximam, as funções de onda podem penetrar as barreiras \Rightarrow níveis se transformam em bandas.

A eq. de Schrödinger pode ser resolvida para o potencial de Kronig-Penney, de onde aparecem as bandas permitidas e as proibidas.

É interessante notar que intervalos proibidos aparecem para determinados valores de k .



Rede unidimensional de periodicidade a :

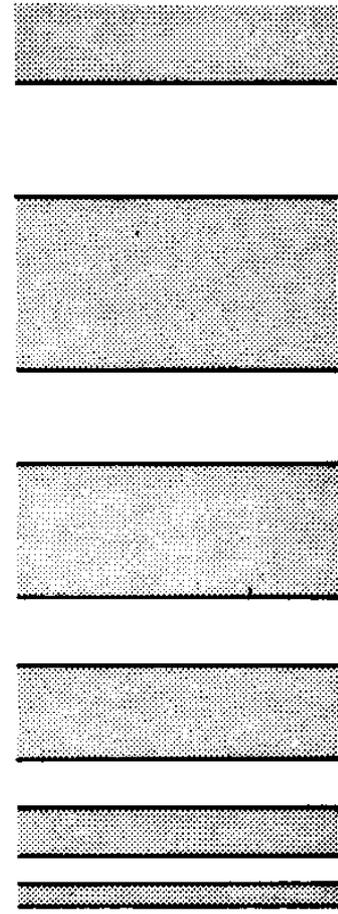
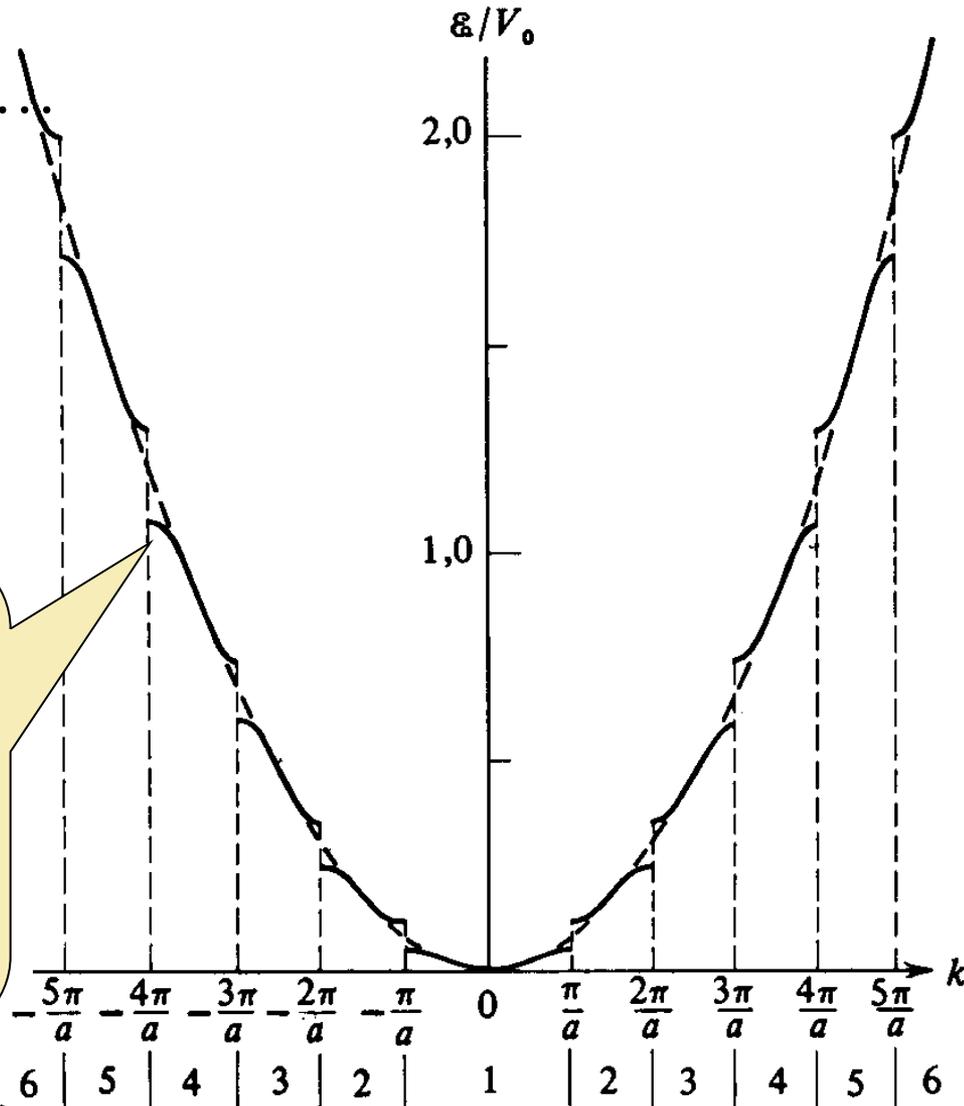
Descontinuidades em

$$k = \pm \frac{\pi}{a}, \pm \frac{2\pi}{a}, \pm \frac{3\pi}{a}, \dots$$

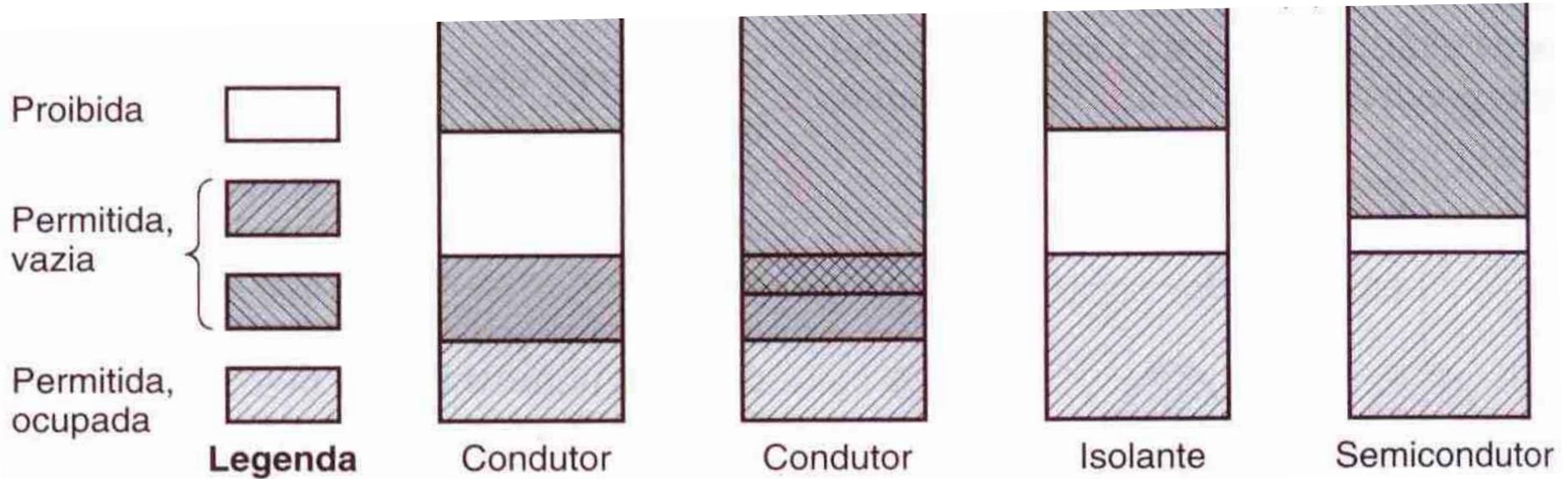
Concordam com o resultado obtido com base no número de estados da banda!

Podemos entender os intervalos proibidos como resultado da reflexão parcial da onda progressiva pelas sucessivas barreiras. Ondas refletidas em fase $\Rightarrow 2a = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$

Número da zona de Brillouin



Condutores, isolantes e semicondutores



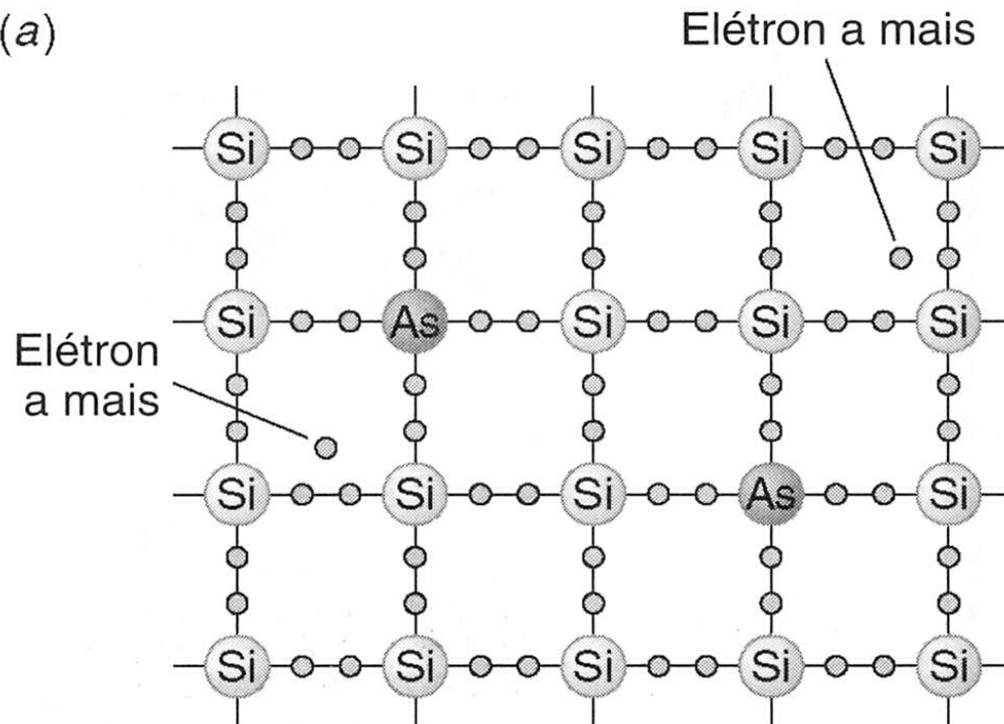
Dopagem de semicondutores

O processo de dopagem de semicondutores refere-se à adição, ao cristal intrínseco, de pequena quantidade de impureza, com propriedades adequadas, de forma a afetar o comportamento elétrico do semicondutor da maneira desejada.

Existem dopantes doadores e receptores, que produzem os semicondutores tipo n e tipo p , respectivamente.

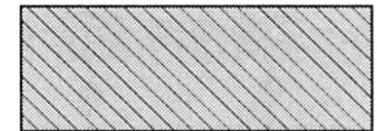
Tipo n – Si dopado com As (que tem valência 5)

(a)



$$E_g \sim 1 \text{ eV}$$
$$E_d \sim 0,05 \text{ eV}$$

(b) Banda de condução vazia

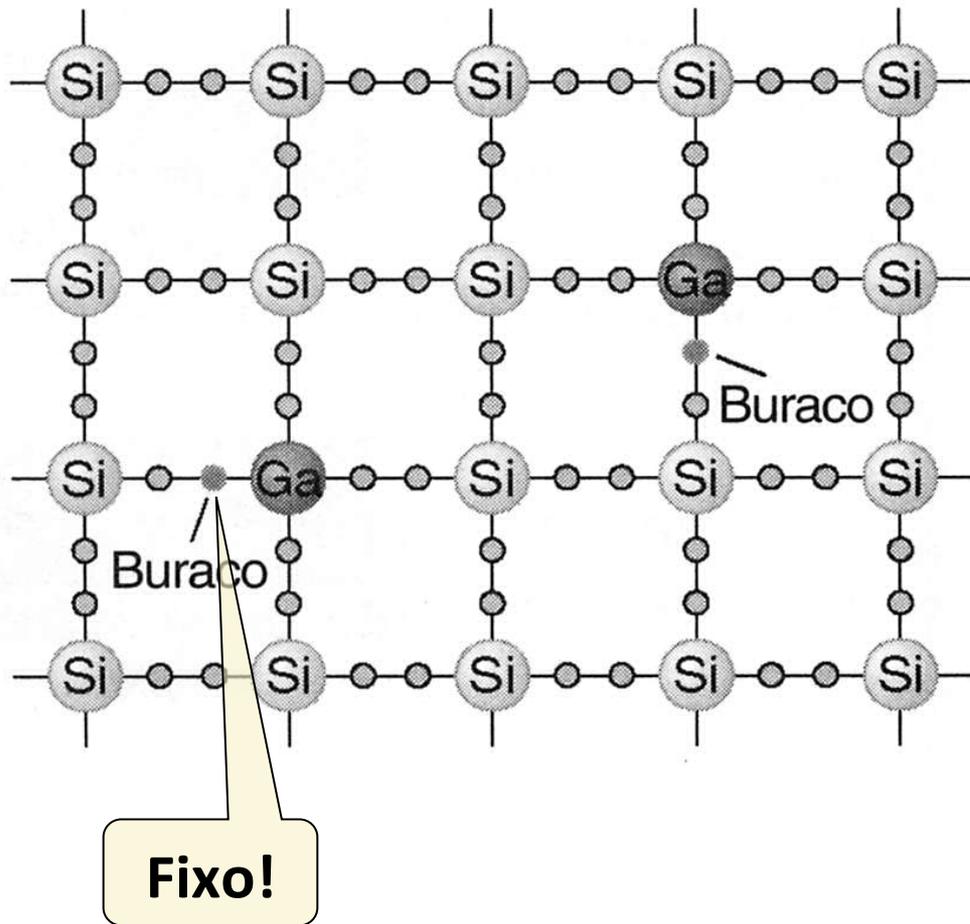


Níveis doadores



Banda de valência completa

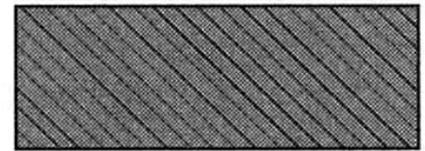
Tipo *p* – Si dopado com Ga (que tem valência 3)



(b)

$$E_g \sim 1 \text{ eV}$$
$$E_a \sim 0,07 \text{ eV}$$

Banda de condução vazia



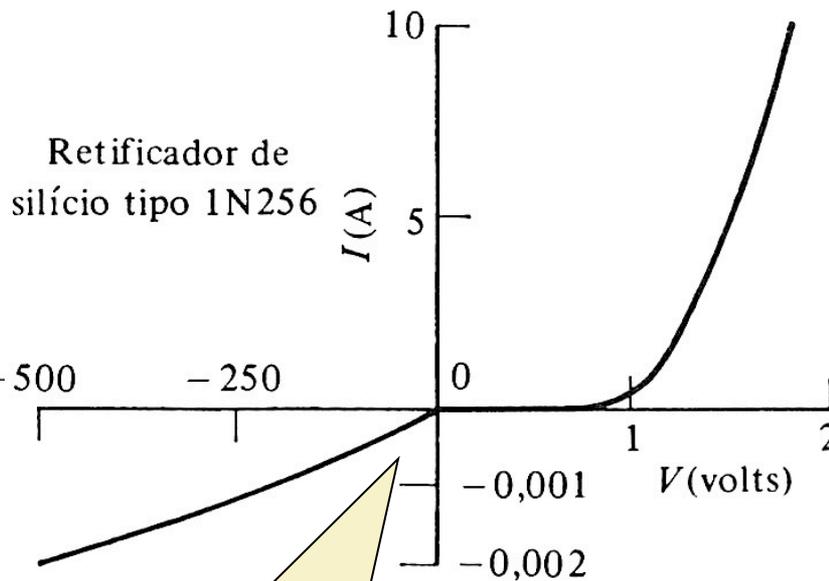
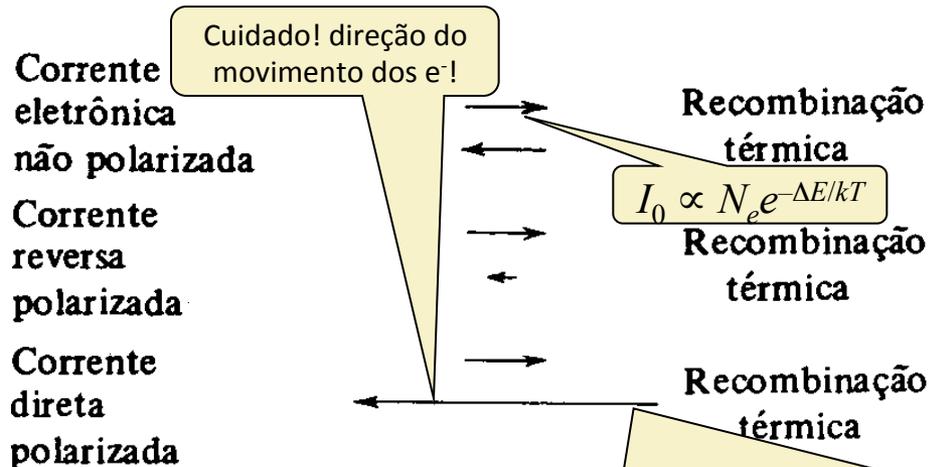
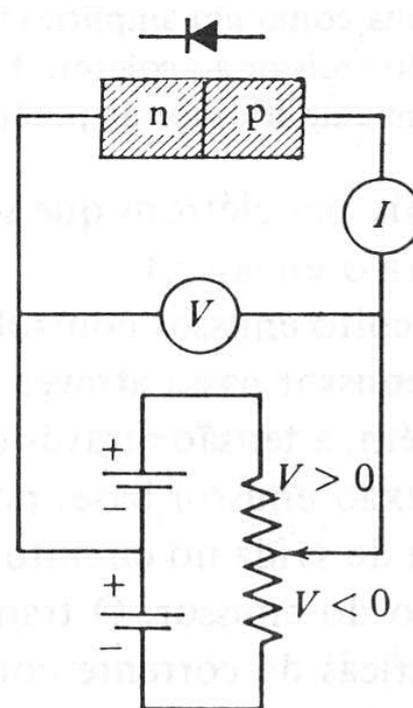
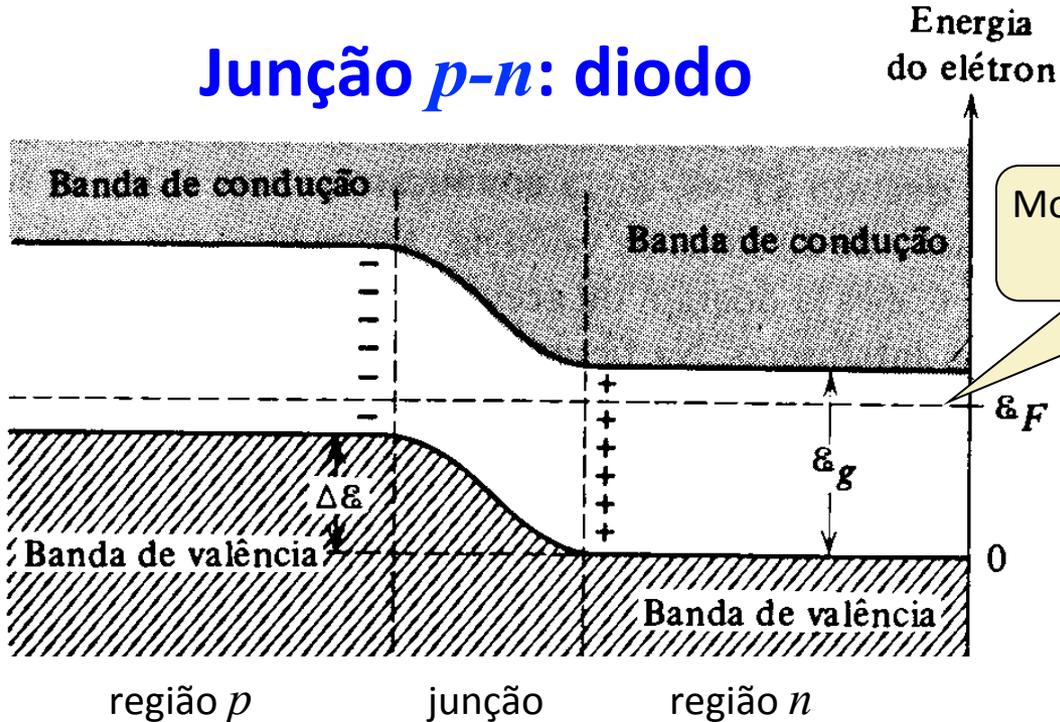
Níveis aceitadores



Banda de valência completa

Densidades típicas de dopantes (*n* ou *p*): 10^{13} a 10^{19} cm^{-3} .

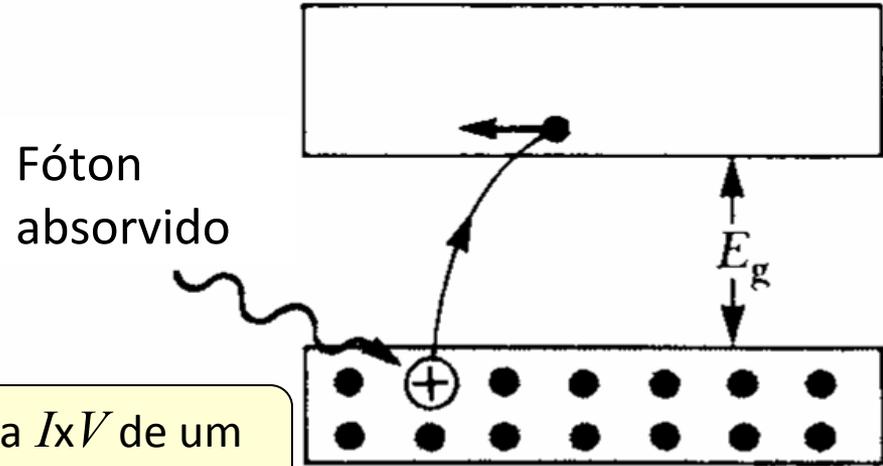
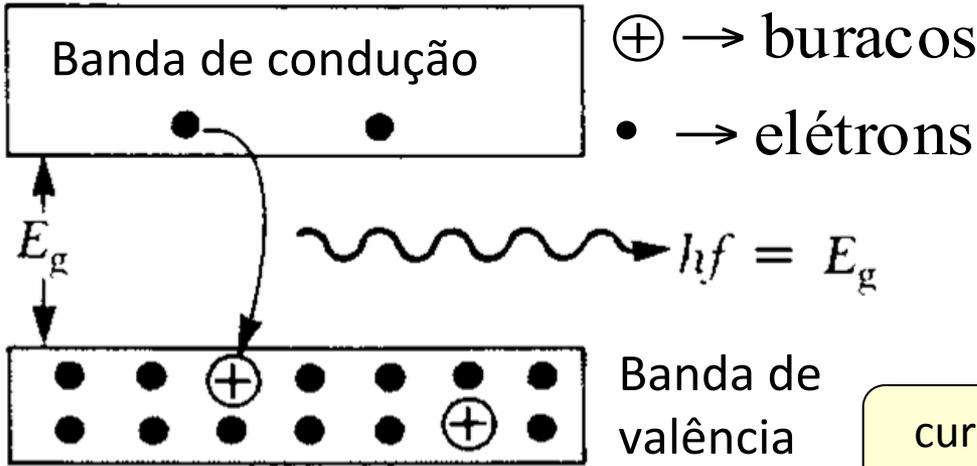
Junção p-n: diodo



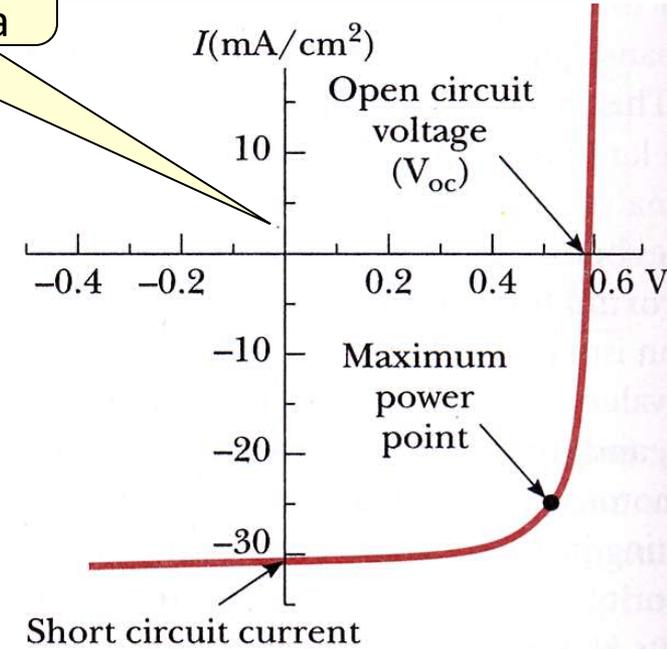
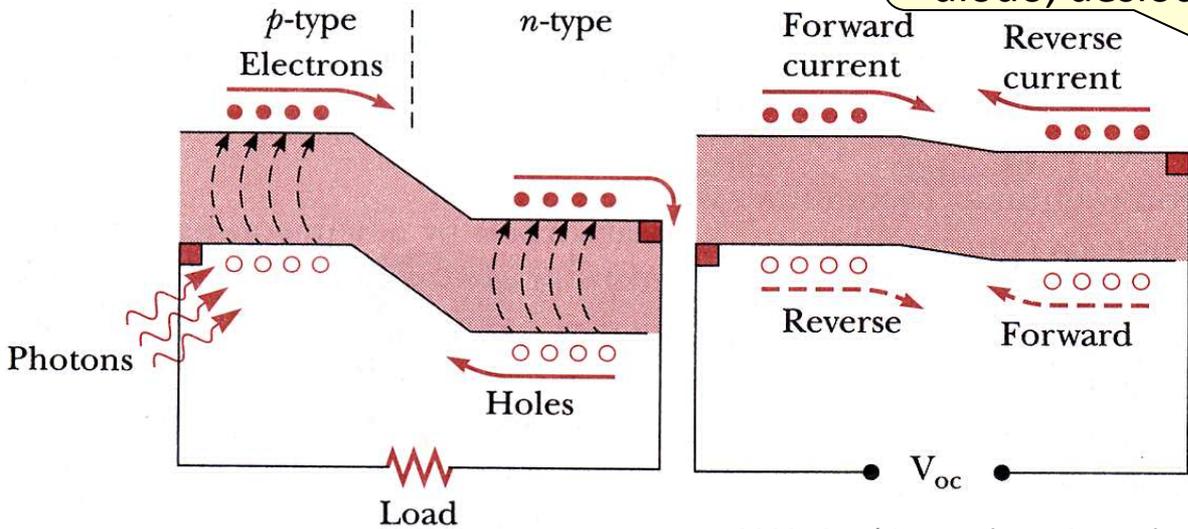
ddp direta V_b : $N_e e^{-(\Delta E - eV_b)/kT} = (N_e e^{-\Delta E/kT}) e^{eV_b/kT} \Rightarrow$
 $\Rightarrow I = I_0 e^{eV_b/kT} \therefore I_{total} = I_0 (e^{eV_b/kT} - 1)$

Absorção e emissão de luz

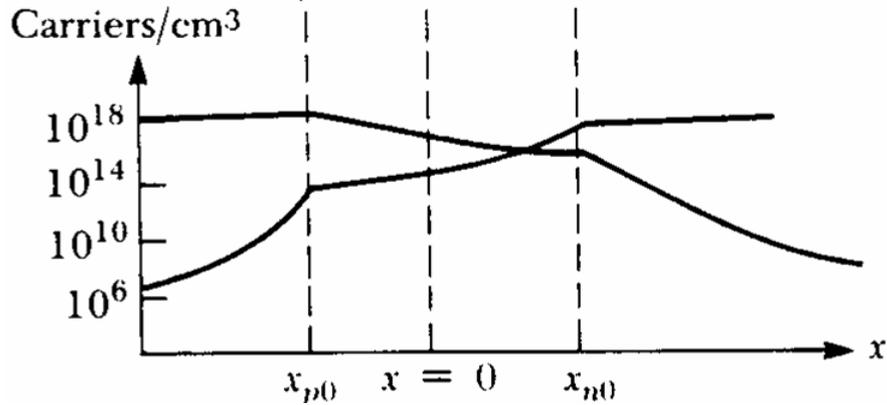
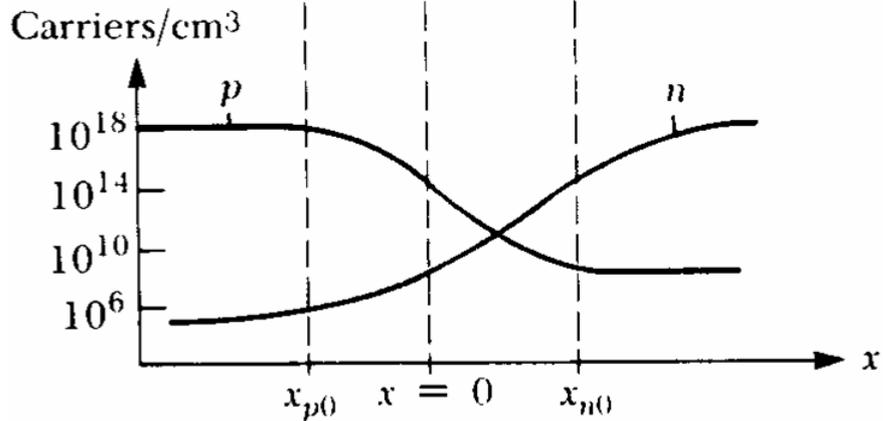
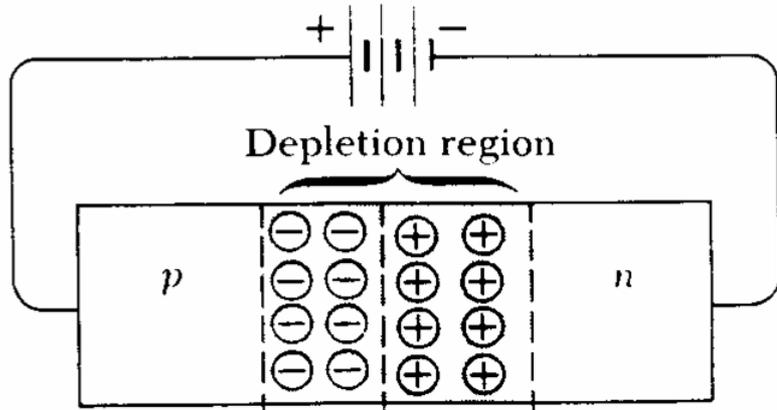
Absorção e emissão de luz por semicondutores são processos análogos àqueles que ocorrem em átomos isolados, com a diferença de que níveis atômicos são substituídos por bandas.



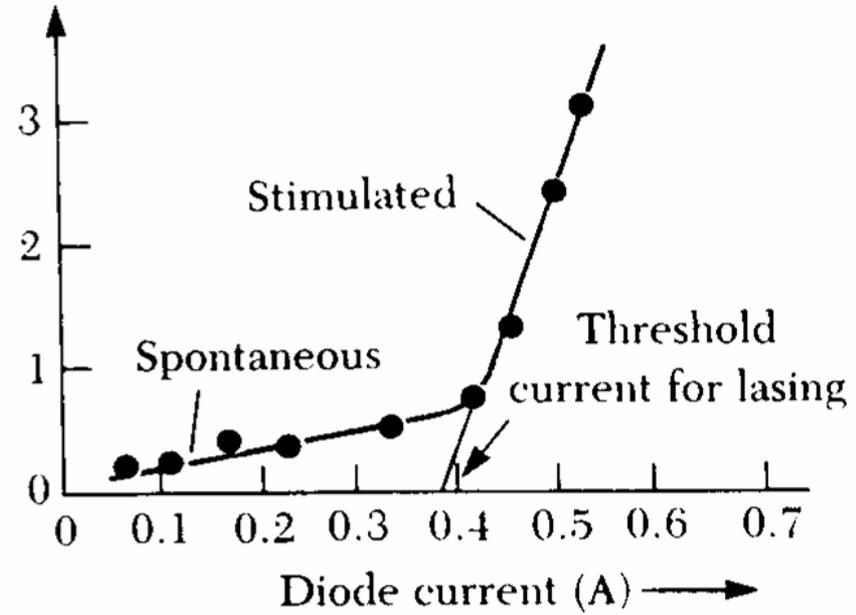
curva $I \times V$ de um diodo, deslocada



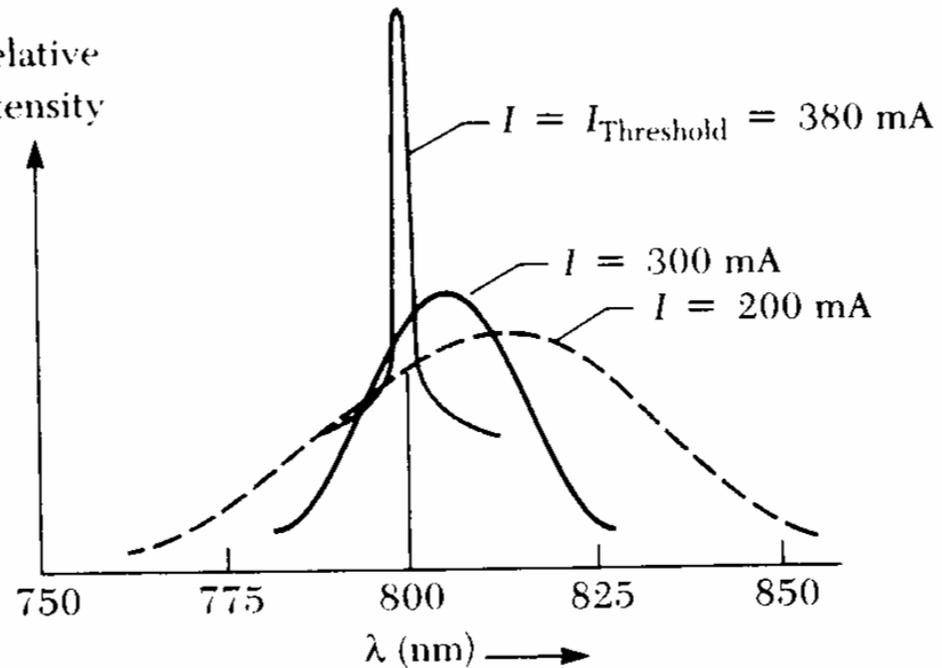
Laser de estado sólido



Light output (mW)



Relative intensity



Carga, massa e spin do núcleo

Núcleo: conjunto ligado de prótons e nêutrons.

Nuclídeo: configuração particular de um núcleo.

Algumas características: $E_{\text{lig}} \sim \text{MeV}$; $\rho_{\text{N}} \sim 10^{21} \text{ g/cm}^3 \sim 10^{21} \rho_{\text{Átomo}}$

${}^A_Z X$ designa o nuclídeo de um elemento X, com A nucleons, sendo Z prótons e $(A - Z) = N$ nêutrons.

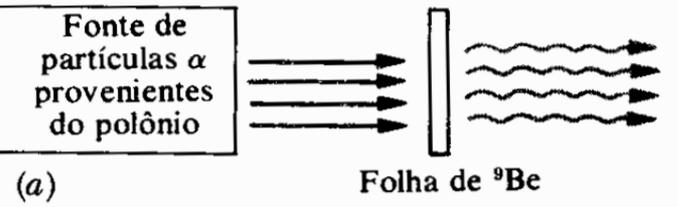
Nuclídeos com mesmo Z mas $N \neq \Rightarrow$ isótopos.

mesmo A mas $Z \neq \Rightarrow$ isóbaros.

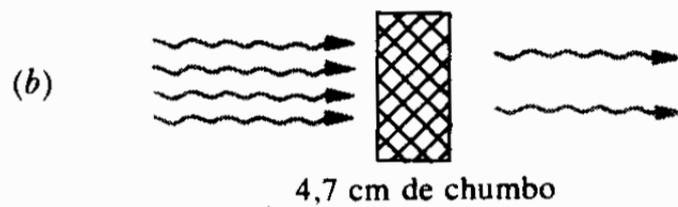
mesmo N mas $Z \neq \Rightarrow$ isótonos.

Rutherford, 1920: propõe a existência de uma partícula neutra, com massa parecida com a do próton, o nêutron.

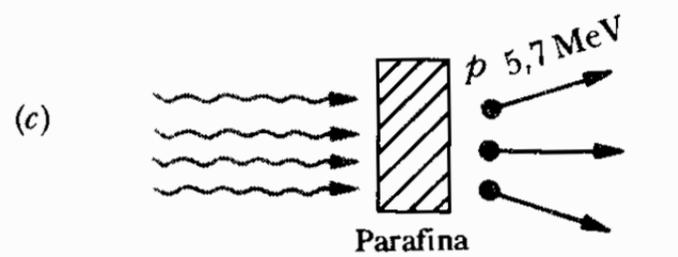
Quadro com as experiências de Bothe e Becker, Curie e Joliot e Chadwick.



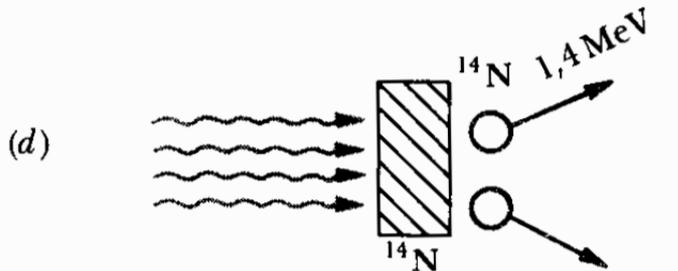
(a) Uma partícula α atingindo uma folha de ${}^9\text{Be}$ produz uma radiação desconhecida.



(b) A intensidade da radiação desconhecida é reduzida a 1/2 pelo uso de 4,7 cm de chumbo. Se a radiação é radiação γ , sua energia deve ser de aproximadamente 15 MeV.



(c) Muitos prótons são produzidos pela radiação desconhecida incidente em parafina. Se a radiação é γ , a energia deve ser aproximadamente de 50 MeV para produzir prótons com energia de 5,7 MeV pelo espalhamento Compton. Se a radiação consiste em partículas sem carga com a mesma massa do próton (nêutrons), a energia do nêutron deve ser somente 5,7 MeV para poder produzir, por colisão, prótons com 5,7 MeV.



(d) A radiação desconhecida incidente sobre o gás nitrogênio produz átomos de recuo de ${}^{14}\text{N}$ com energia de 1,4 MeV, o que implica raios γ com 90 MeV ou nêutrons com 5,7 MeV.

Propriedades dos núclídeos

Medindo-se a diferença de energia, pode-se determinar R .

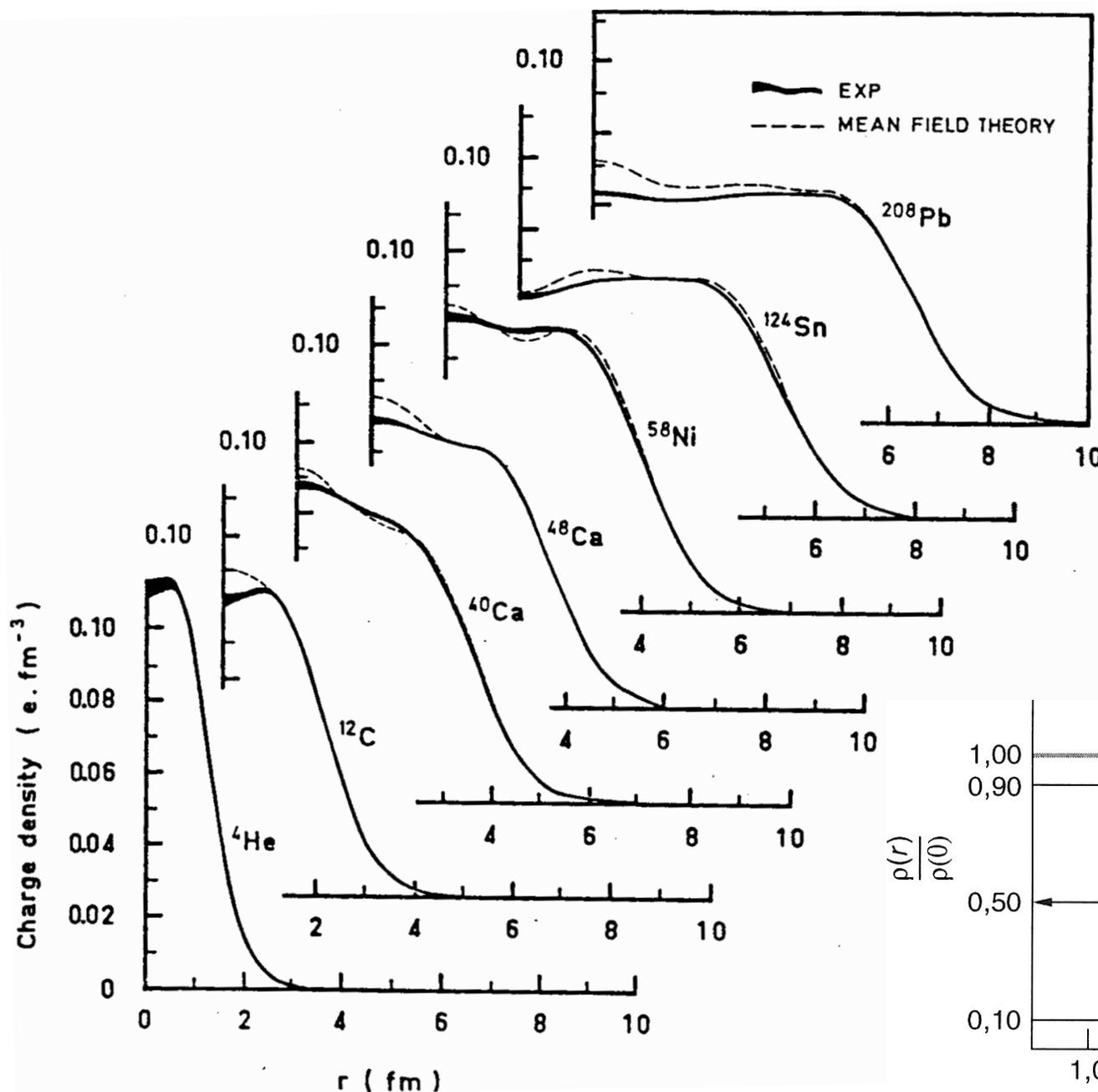
Resultados obtidos para 18 pares de núclídeos espelho indicam que o raio nuclear obedece à seguinte relação:

$$R = R_0 A^{1/3}, \text{ com } R_0 = 1,2(2) \text{ fm.}$$

Nota-se que os raios nucleares mudam pouco com o aumento do número de nucleons. Vejamos os casos do ${}^4\text{He}$ e do ${}^{238}\text{U}$:

$$R_{\text{He}} = 1,2(4)^{1/3} = 1,9 \text{ fm;}$$

$$R_{\text{U}} = 1,2(238)^{1/3} = 7,4 \text{ fm.}$$

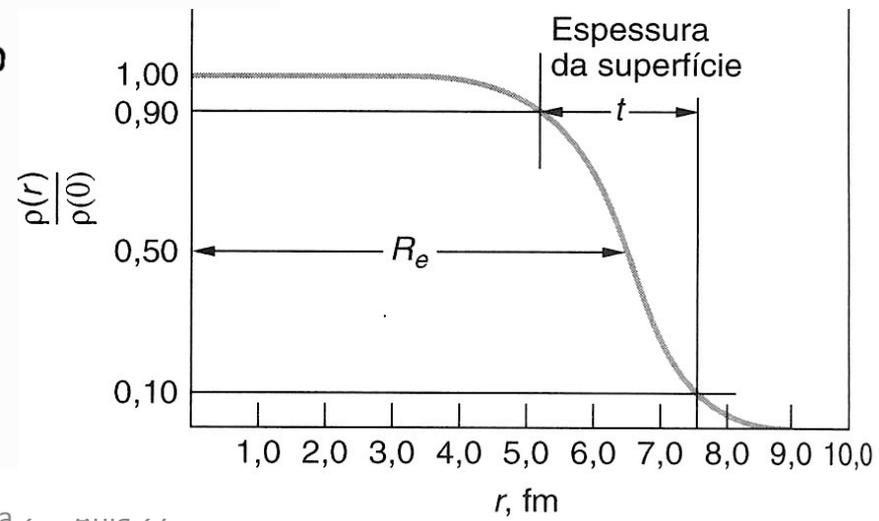


$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r - R}{d}\right)}$$

$$R = 1,07(2)A^{1/3} \text{ fm}$$

$$\Delta\rho = 0,9\rho_0 \text{ a } 0,1\rho_0 \Rightarrow$$

$$t = 4,39d = 2,4(3) \text{ fm}$$



Determinação da massa nuclear

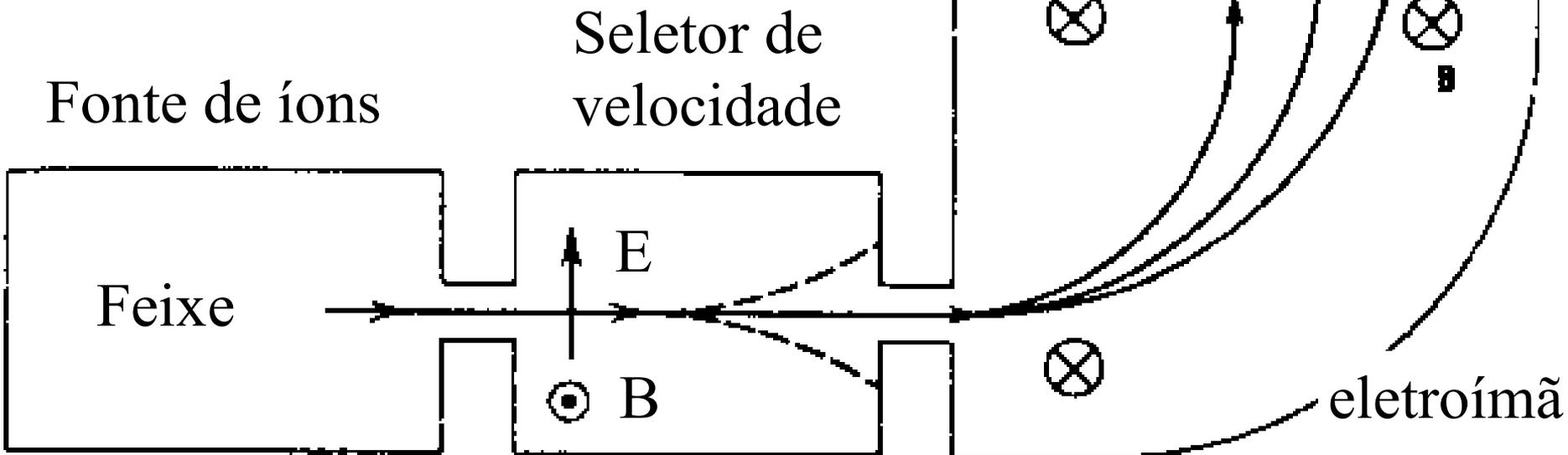
$$E_{\text{lig}} = \Delta Mc^2 = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - M_{\text{núcl}} c^2$$

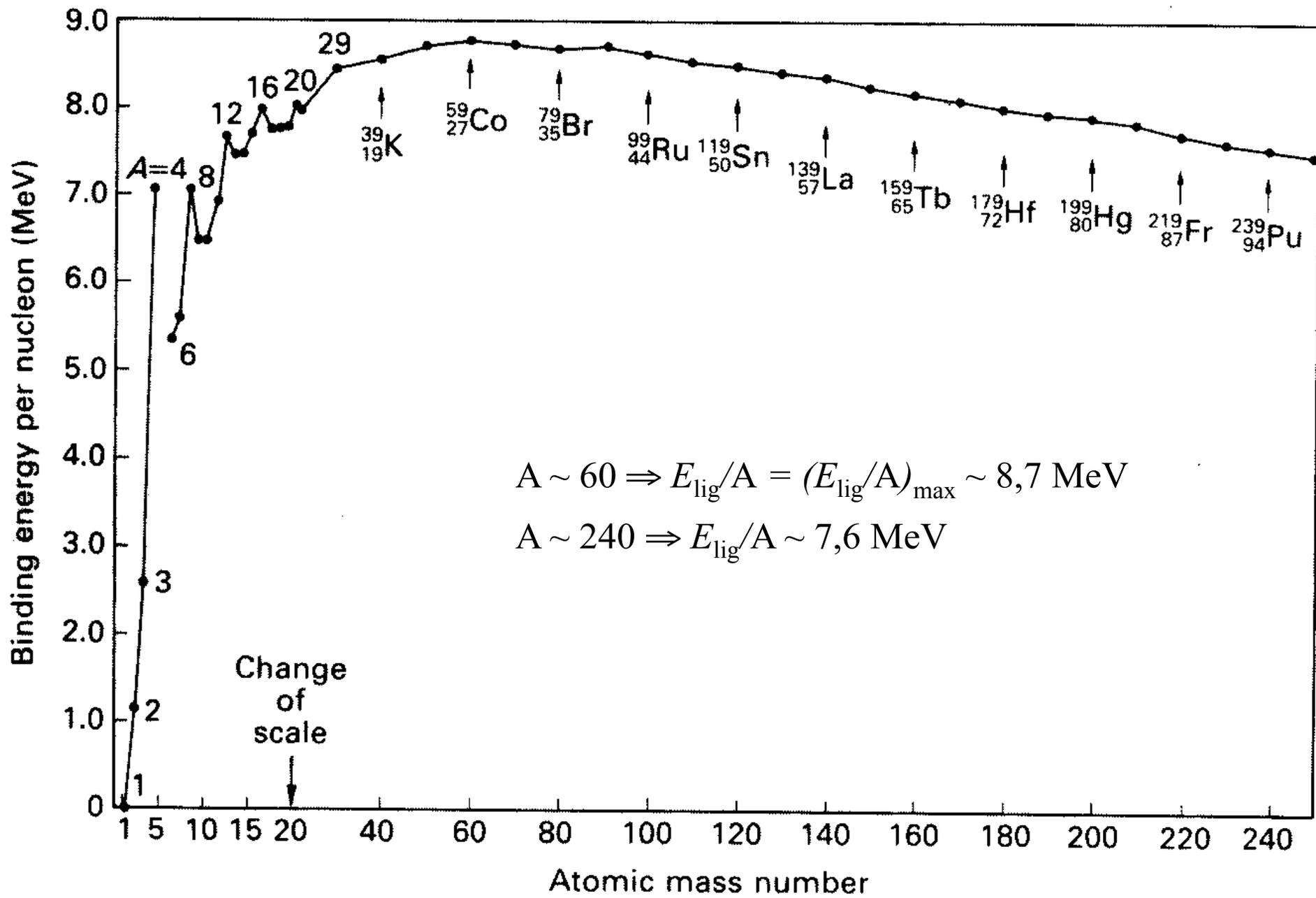
$$E_{\text{lig}} = \Delta Mc^2 = ZM_{\text{H}} c^2 + Nm_n c^2 - M_{\text{átomo}} c^2$$

Desprezando a energia de ligação dos e^- .

detectores

Espectrômetro de massa





Ficamos então, com a expressão para a energia de ligação:

$$E_{\text{lig}} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C Z^2/A^{1/3} - a_A (A - 2Z)^2/A \pm \delta(Z,A) , \text{ com:}$$

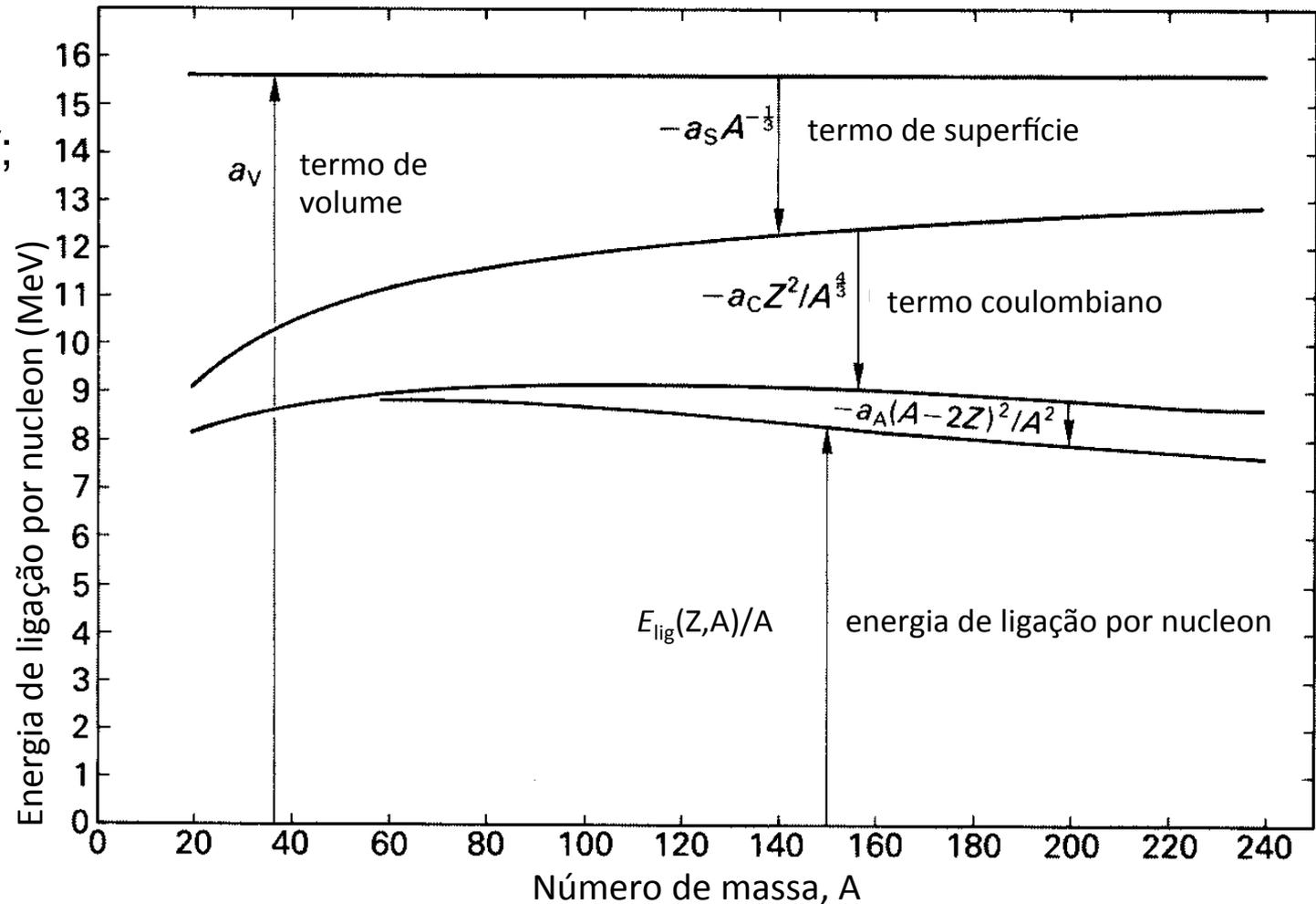
$$a_V = 15,56 \text{ MeV;}$$

$$a_S = 17,23 \text{ MeV;}$$

$$a_C = 0,697 \text{ MeV;}$$

$$a_A = 23,285 \text{ MeV;}$$

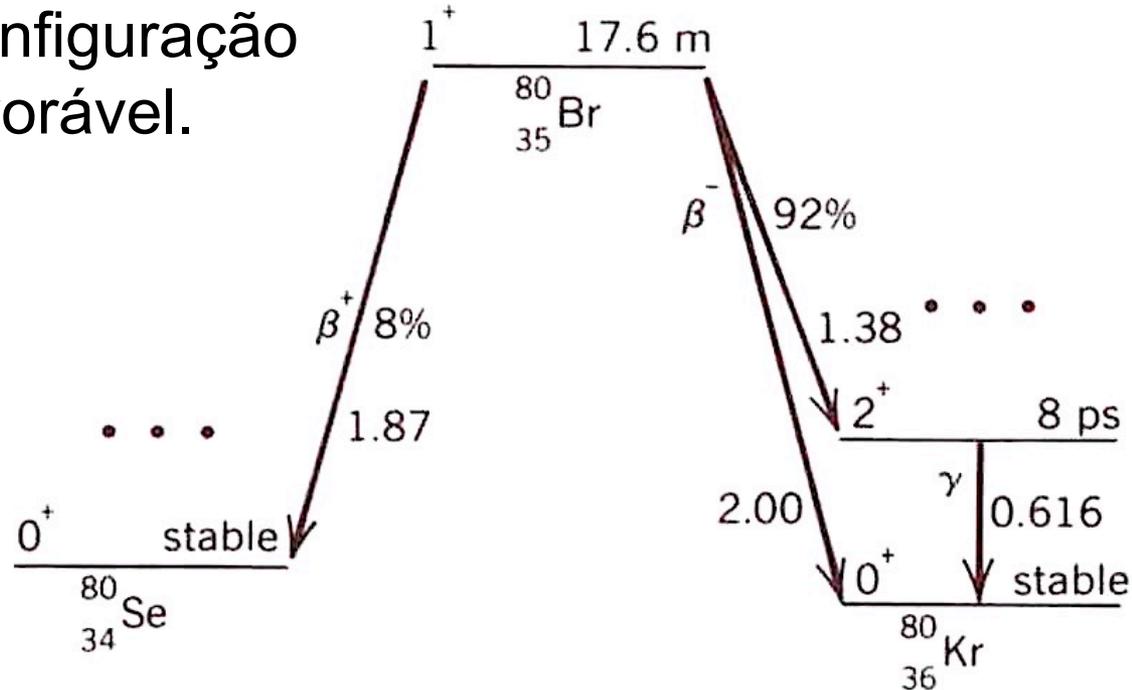
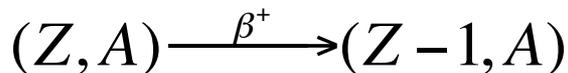
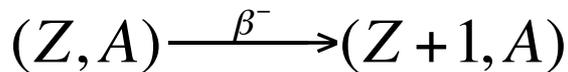
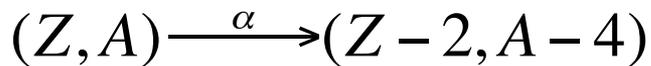
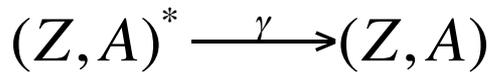
$$a_P = 12 \text{ MeV.}$$



Decaimento radioativo

Processo pelo qual um nuclídeo instável transforma-se em outro, tendendo a uma configuração energeticamente mais favorável.

Tipos de decaimento:

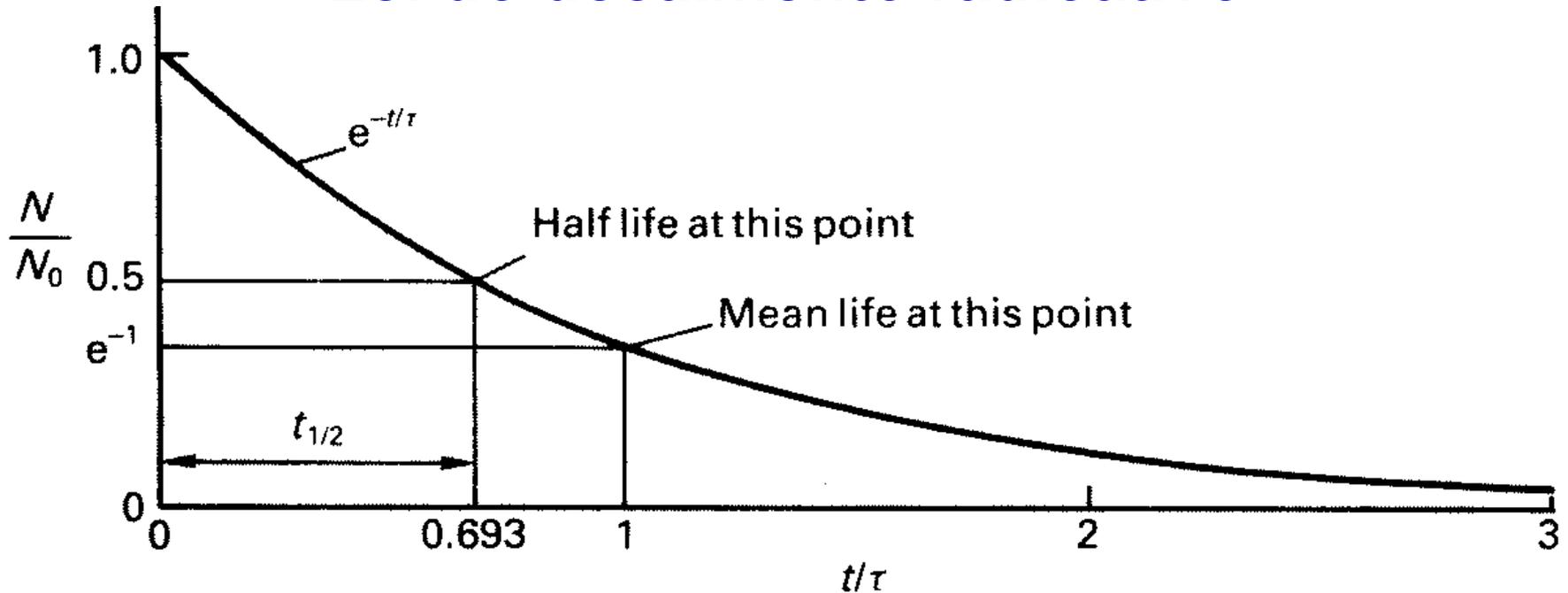


Taxa de transição (λ): probabilidade, por unidade de tempo, de X fazer a transição para Y . População de X : $N(0)$ em $t = 0$. Em t sobrevivem $N(t)$. Vida-média: $\tau = \lambda^{-1}$

$$dN(t) = -\lambda N(t)dt \Rightarrow \frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda dt \xrightarrow{\int} \ln N(t) = -\lambda t + C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N(t) = Ke^{-\lambda t} \Rightarrow N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

Lei do decaimento radioativo



$$\text{Intensidade: } I(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = N(0)\lambda e^{-\lambda t}$$

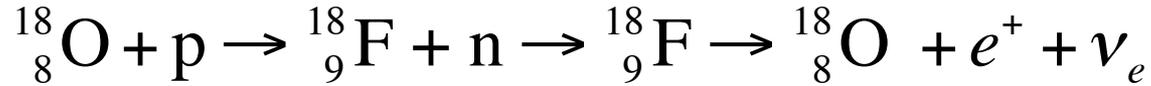
(independente da origem de t)

$$\text{Vida-média: } \tau = \lambda^{-1} \Rightarrow N(\tau) = N(0)/e$$

$$\text{Meia-vida: } T_{1/2} = \tau \ln 2 = \ln 2 / \lambda \Rightarrow N(T_{1/2}) = N(0)/2$$

Produção de material radioativo

Irradiação de uma amostra em reator ou acelerador. Se R é a taxa com que o elemento é produzido, então, por exemplo:

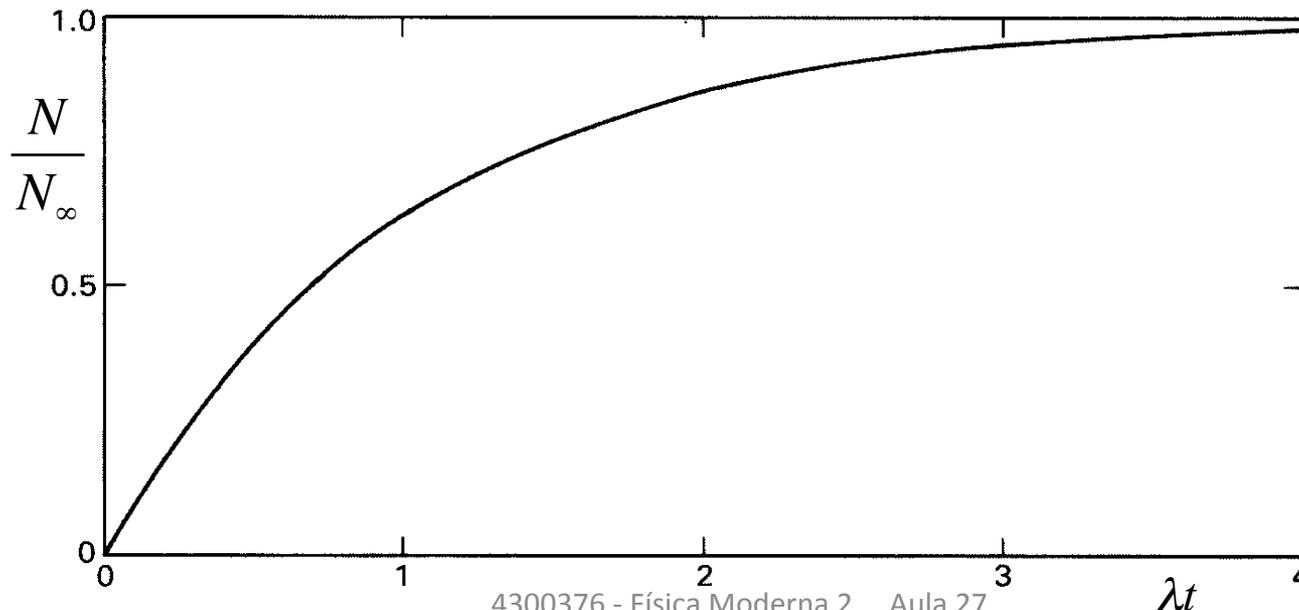


$$\frac{dN}{dt} = R - \lambda N. \text{ Se } N(t=0) = 0, \text{ então:}$$

$$N(t) = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

Meia-vida ${}^{18}\text{F}$: 109,8 min

${}^{18}\text{O}$: 0,2 % do O natural



Colisões e seções de choque

Seção de choque \rightarrow área

Unidades usuais: barn, $1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 10^2 \text{ fm}^2$

$1 \text{ mb} = 10^{-27} \text{ cm}^2 = 10^{-1} \text{ fm}^2$

Densidade superficial do alvo: T (g/cm^2)

[densidade (g/cm^3) x espessura (cm)]

$$N_{\text{reações}} (s^{-1}) = \frac{N_A T (\text{g}/\text{cm}^2)}{M_A (\text{g})} \sigma (\text{cm}^2) N_I (s^{-1})$$

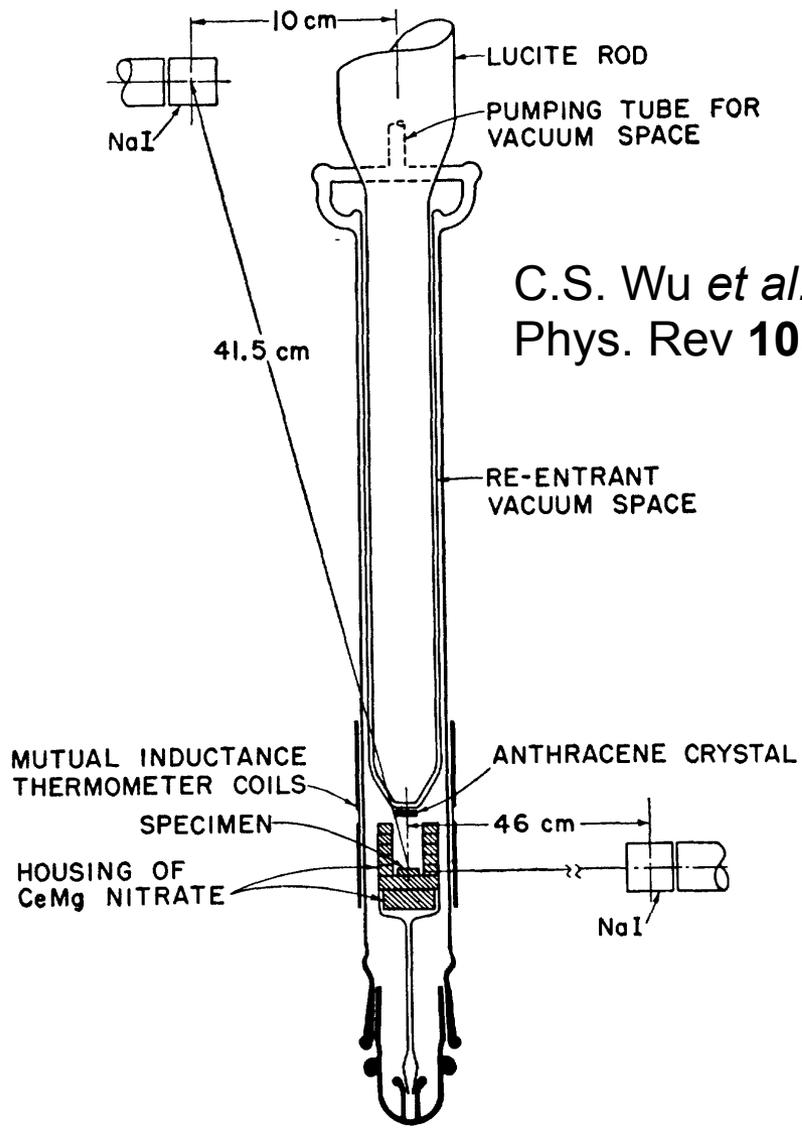
Com:

$N_A \rightarrow$ número de Avogadro;

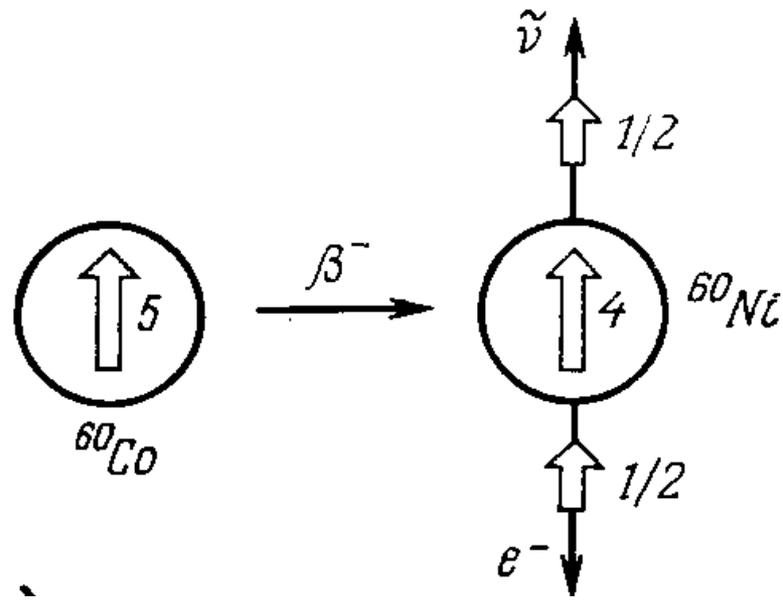
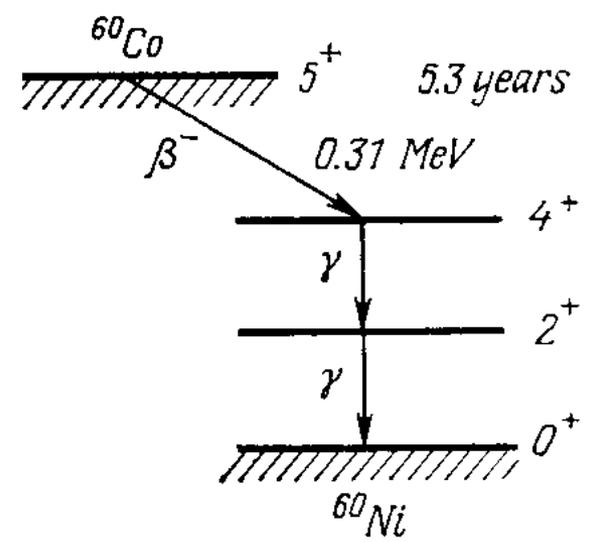
$N_I \rightarrow$ número de partículas incidentes por unidade de tempo;

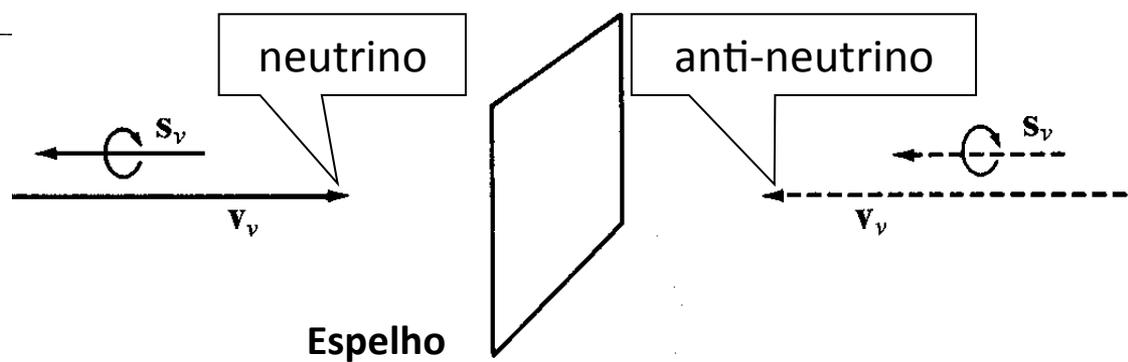
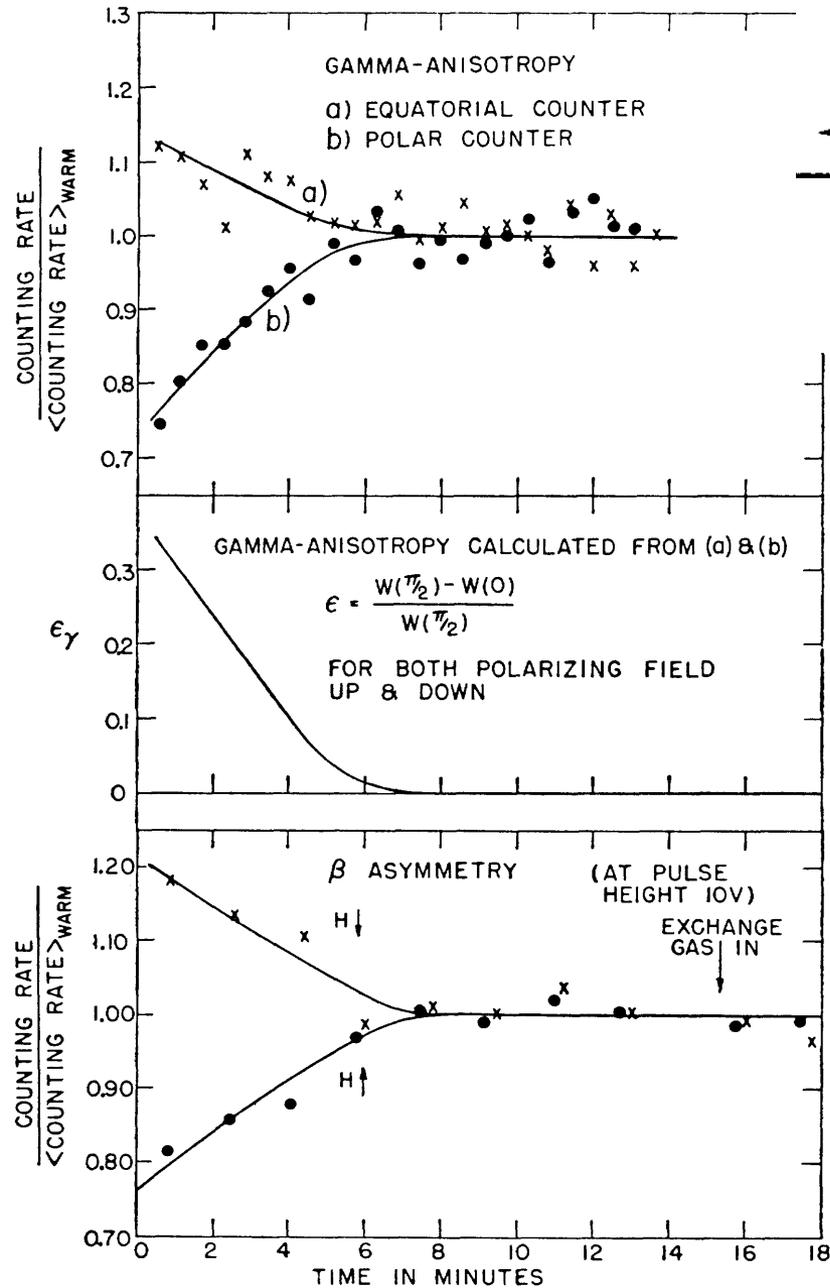
$M_A \rightarrow$ massa atômica do alvo.

Wu e colaboradores (1957): assimetria dos e^- emitidos no decaimento do $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni}$ ($Z_{\text{Co}} = 27, Z_{\text{Ni}} = 28 \Rightarrow n \rightarrow p$).

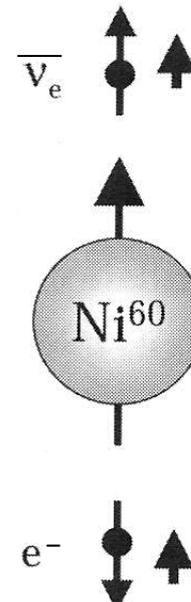


C.S. Wu *et al.*,
Phys. Rev **105**(1957)1413

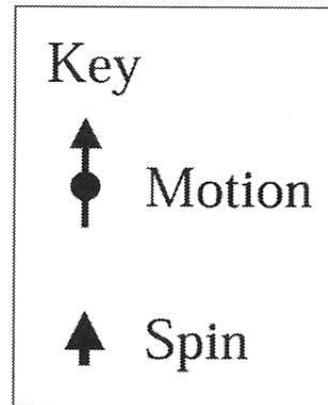




Raro



Comum



$$P_{\text{errada}} \cong \frac{1 - \beta}{1 + \beta}, \text{ com } \beta = \frac{v}{c}$$

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.

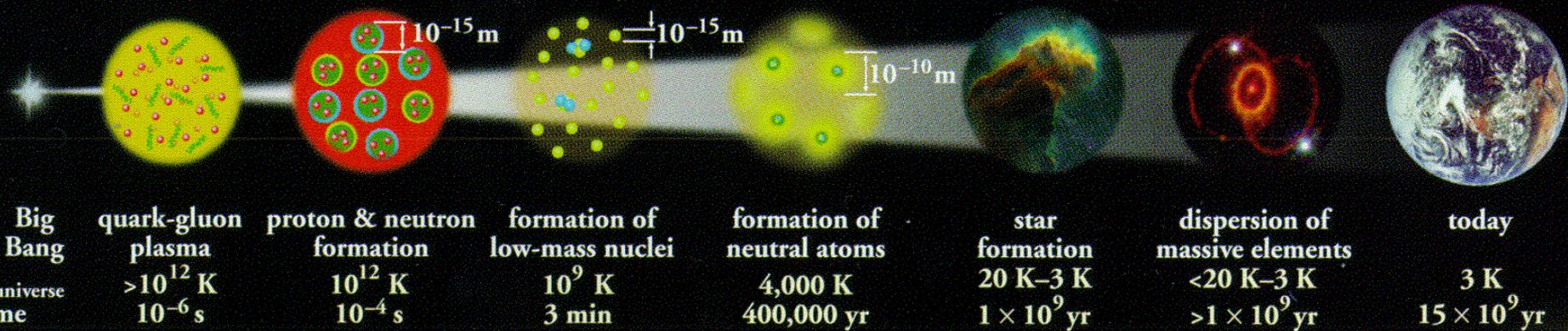
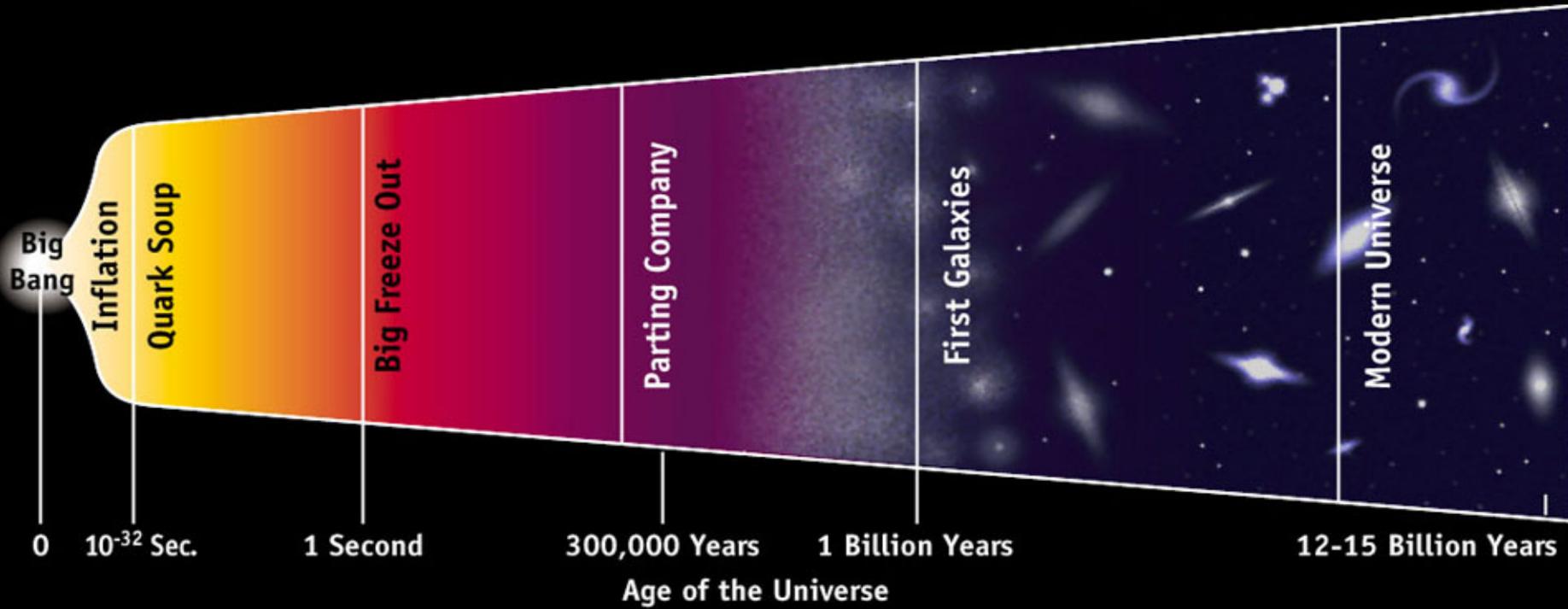
Diferença pode ser compreendida pela queima de H nas estrelas, como vamos ver adiante.

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.

Cosmologia

Radius of the Visible Universe →



Nucleossíntese

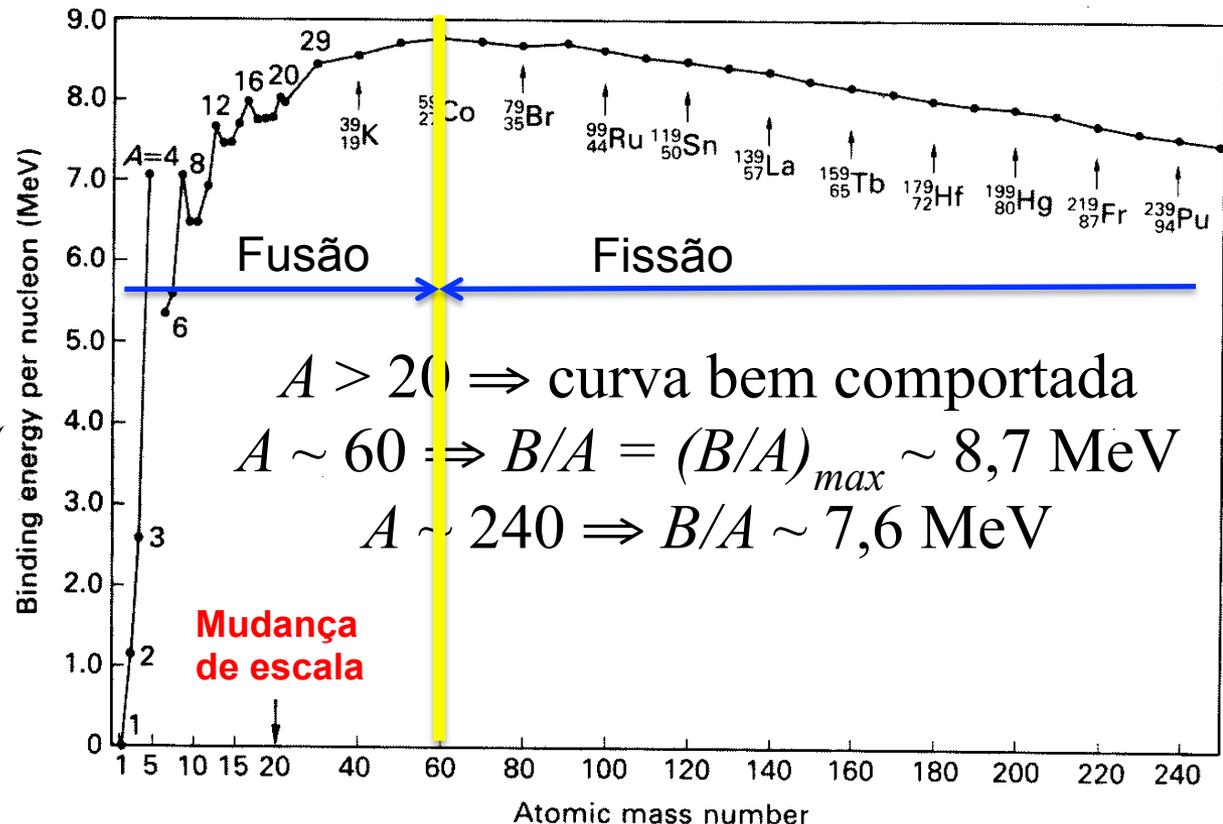
Big Bang prevê 76% de H, 24% de He e traços do resto.

Elementos mais pesados → formados em estrelas.

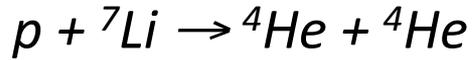
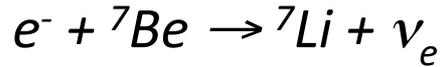
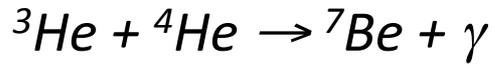
Energia de ligação nuclear

Núcleo com Z prótons e N nêutrons estável ⇒

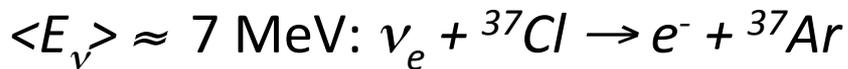
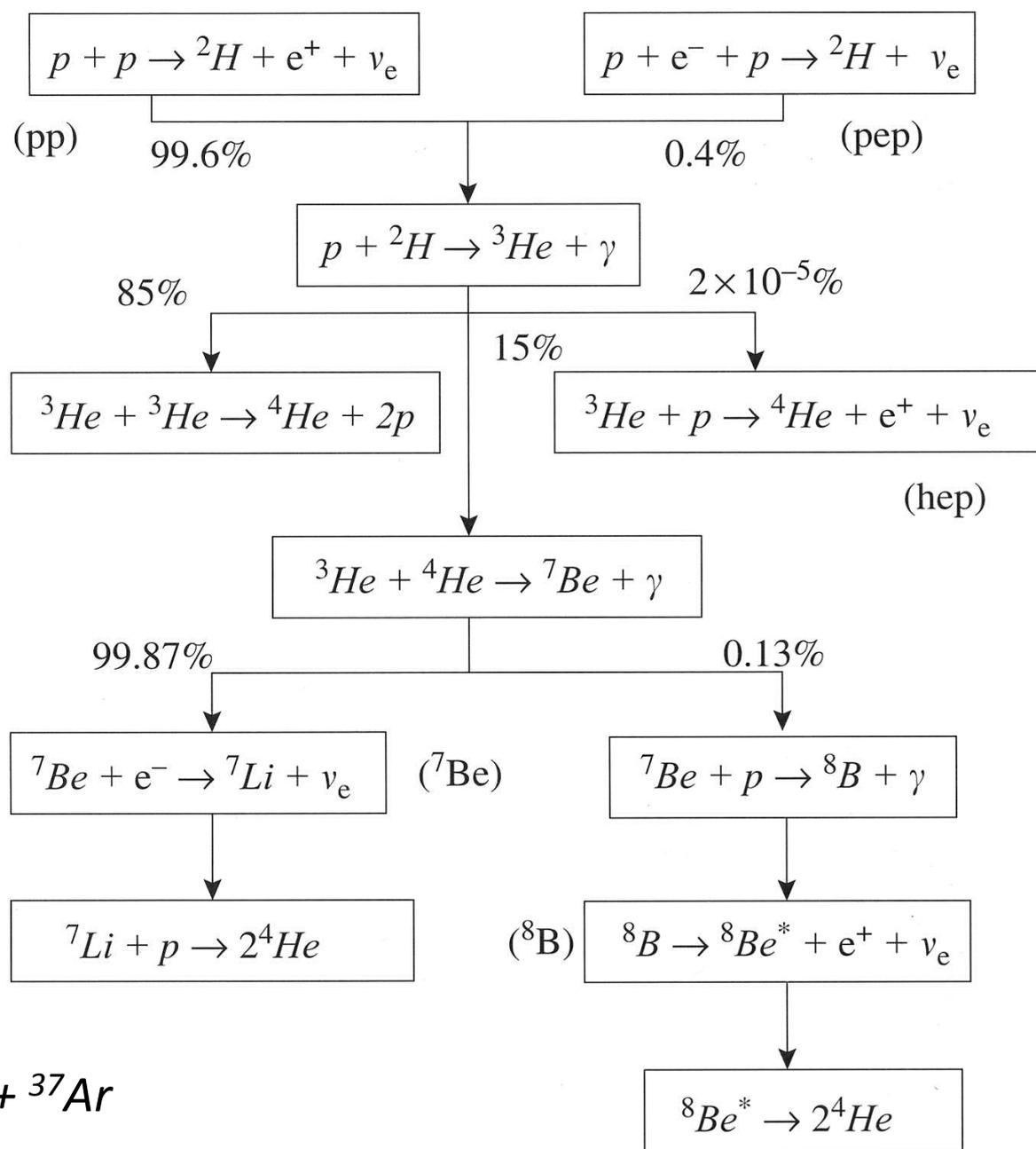
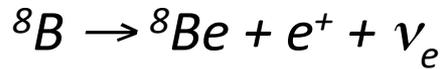
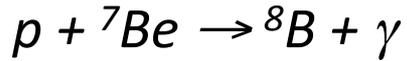
$M(Z,A)c^2 = ZM_p c^2 + NM_n c^2 - B$, com $B > 0$ → energia de ligação do núcleo

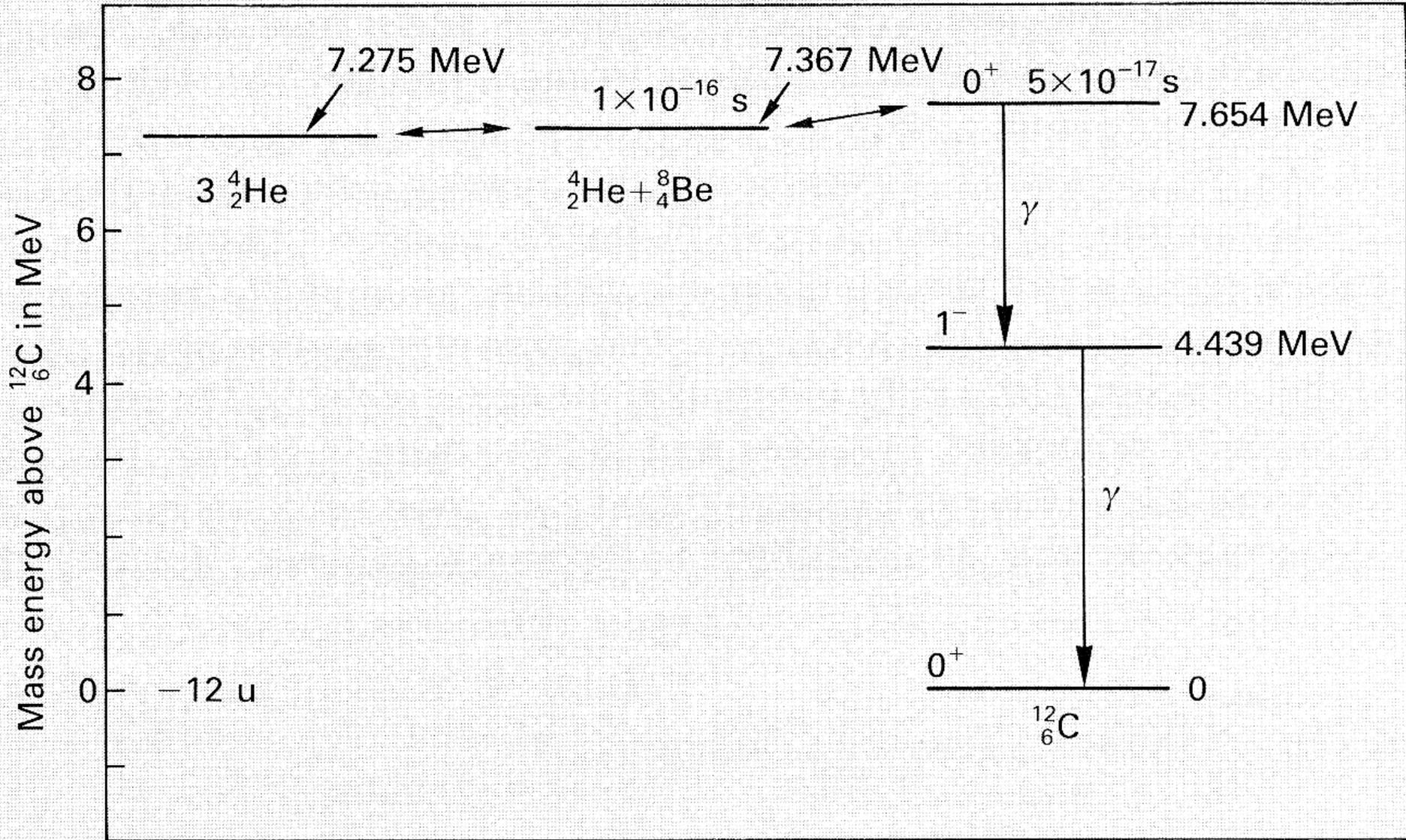


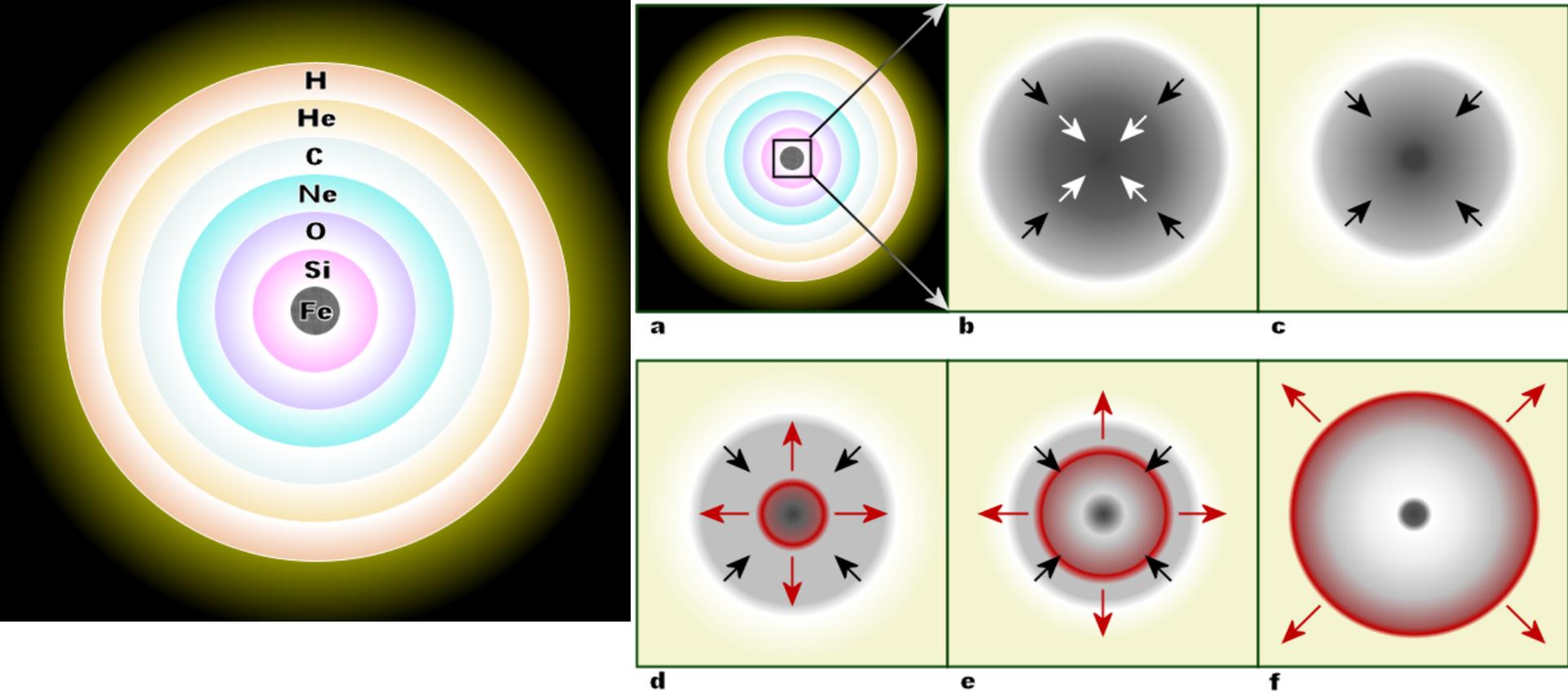
PP2:



PP3:







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.

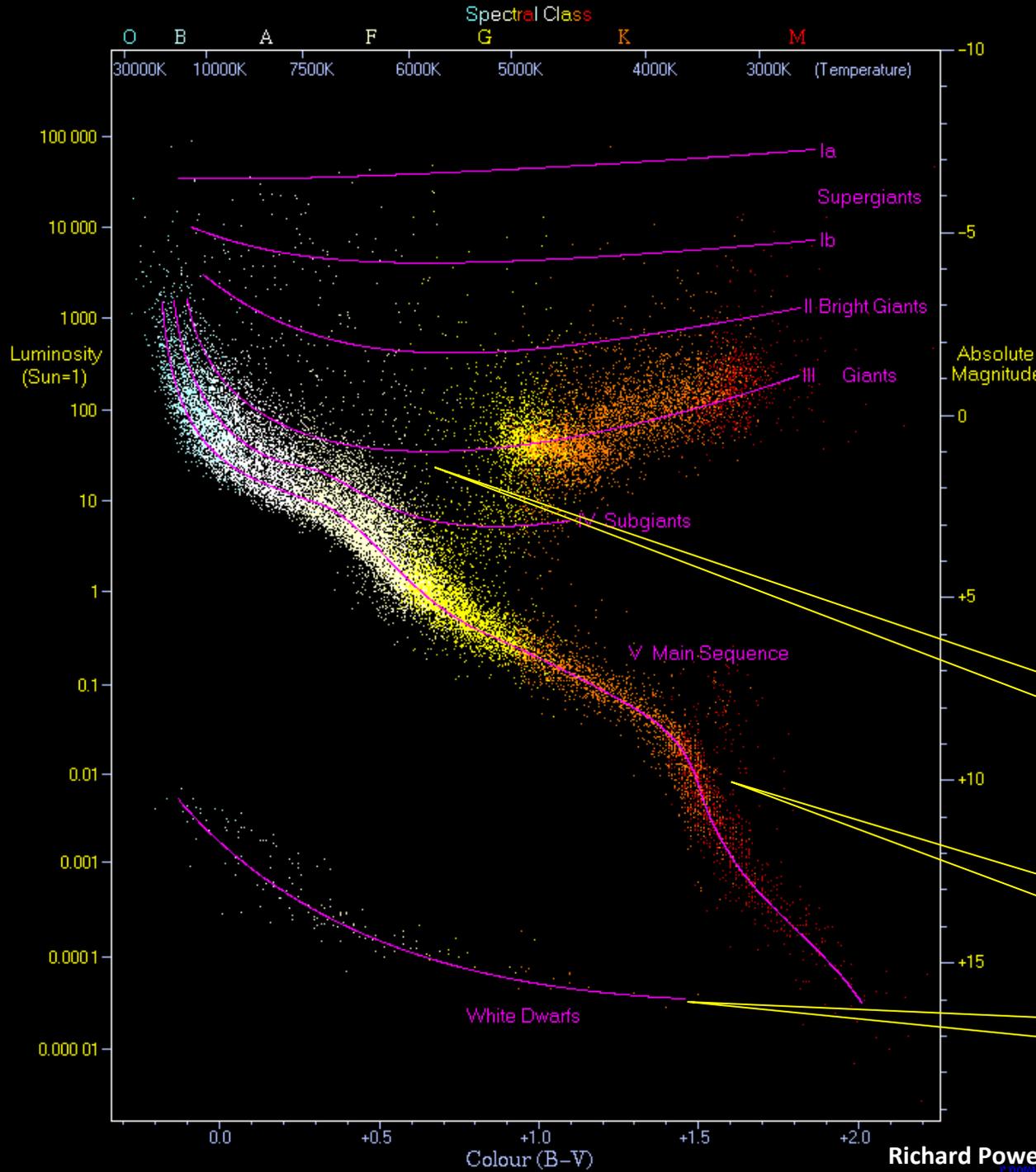
(d) O material mais externo cai sobre o caroço, é refletido e forma uma onda de choque que se move para fora (em vermelho).

(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
 $M < 1,4 M_{\odot}$

Cosmologia

1922 – Alexander Friedmann, baseado na TRG e no Princípio Cosmológico, propõe um conjunto de equações que descrevem a evolução do universo. A solução dessas equações sugere que o universo tenha se originado de um “ponto” muito quente e denso e tenha se expandido desde então.

Uma das equações:

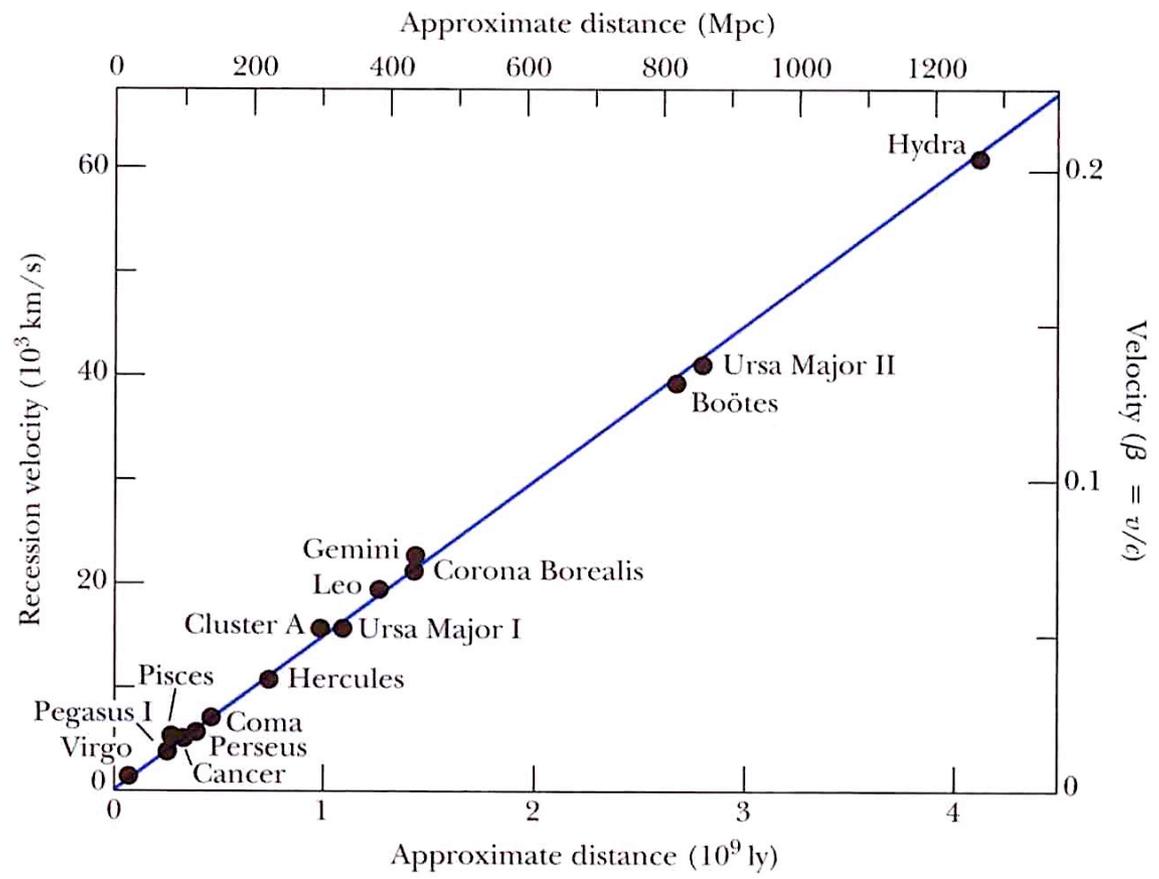
$$\left(\frac{1}{a} \frac{da}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi G \rho_m}{3} - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

relaciona um parâmetro de escala, a , com parâmetros do sistema: ρ_m é a densidade média de massa do universo, k o parâmetro de curvatura, G a constante de gravitação universal e Λ a constante cosmológica, introduzida por Einstein para conseguir um universo estático. Pode ser também compreendida como a energia do vácuo.

A lei de Hubble relaciona a velocidade de afastamento entre dois corpos no universo com a distância entre eles: $v = HR$. Sendo H o parâmetro de Hubble, que está relacionado a um parâmetro de escala:

$$H = \frac{1}{a} \frac{da}{dt}$$

O parâmetro de Hubble não é constante. O valor determinado nas observações atuais é denominado de constante de Hubble, H_0 .



Lembrando da equação de Friedmann:

$$\left(\frac{1}{a} \frac{da}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi G \rho_m}{3} - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

Podemos escrevê-la em termos do parâmetro de Hubble:

$$H^2 = \frac{8\pi G \rho_m}{3} - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

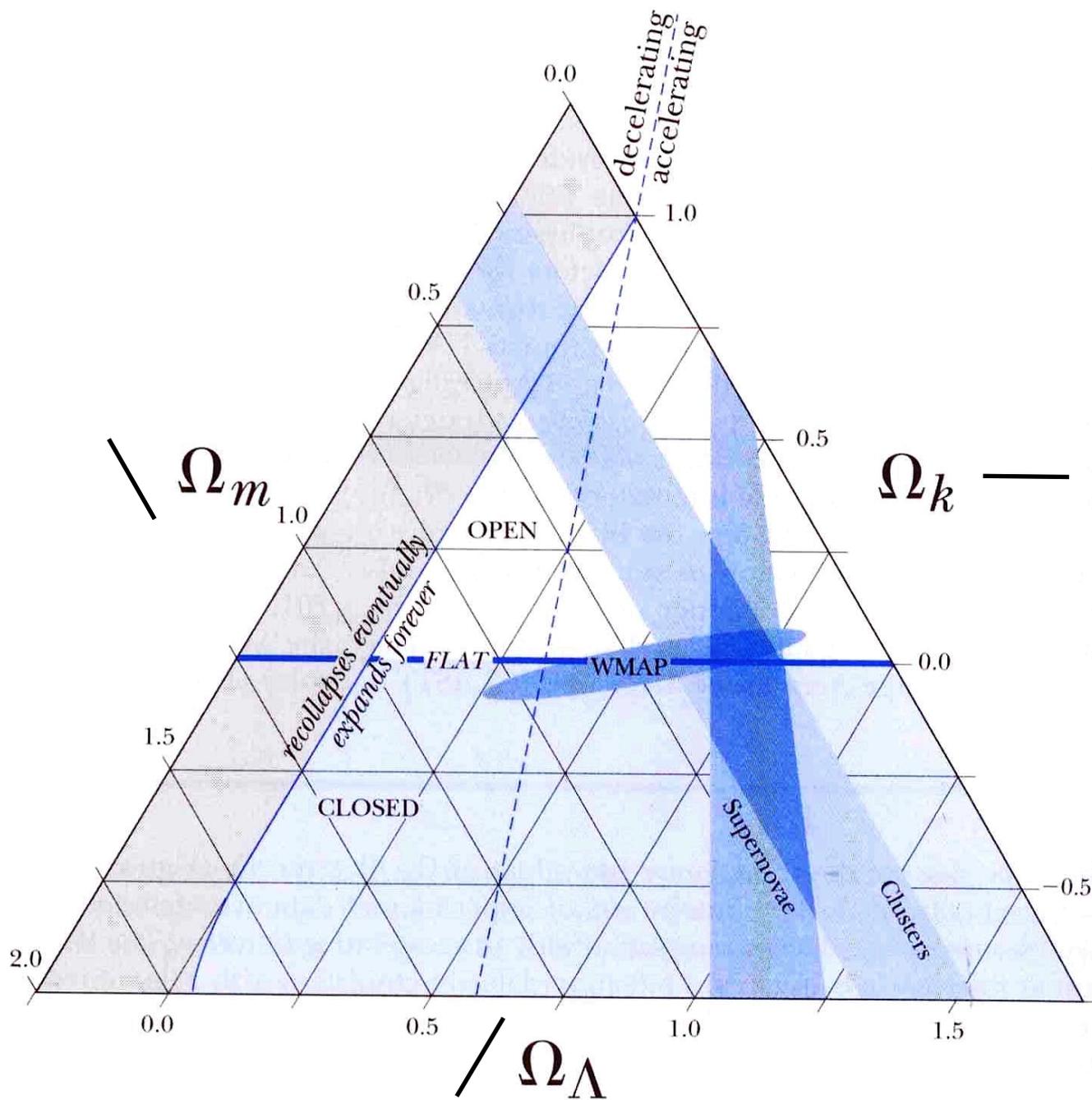
Podemos também dividir tudo por H^2 e ficamos com:

$$1 = \frac{8\pi G \rho_m}{3H^2} - \frac{k}{a^2 H^2} + \frac{\Lambda}{3H^2} = \Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda, \text{ sendo:}$$

$$\Omega_m = \frac{8\pi G \rho_m}{3H^2} \quad (\text{densidade de massa})$$

$$\Omega_k = -\frac{k}{a^2 H^2} \quad (\text{curvatura})$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\Lambda}{3H^2} \quad (\text{densidade de energia do vácuo})$$



A escala de distâncias

Paralaxe

$$d = \frac{1 \text{ U.A.}}{\text{tg } p}$$

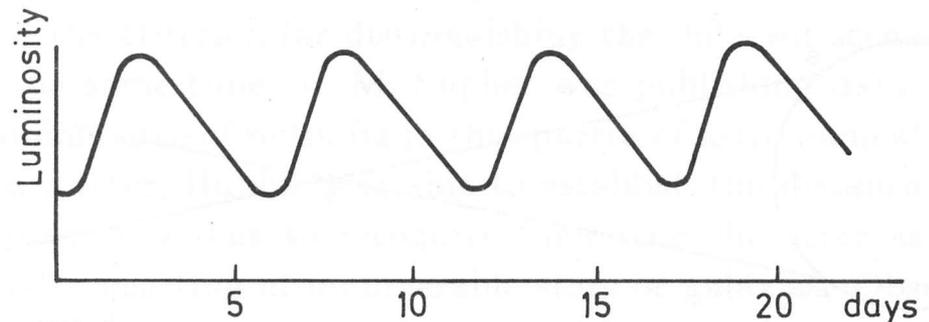
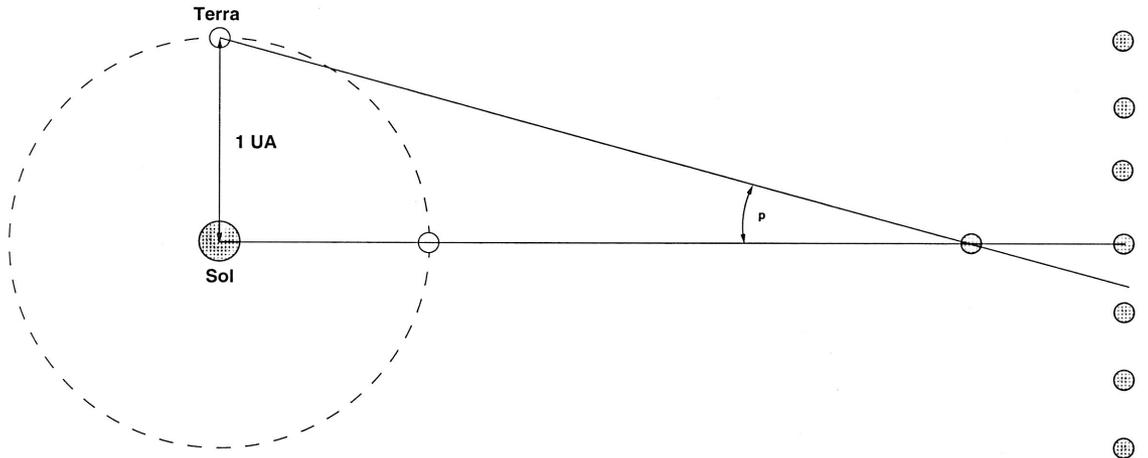
$$1 \text{ U.A.} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$$

Parsec: $1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$ (paralaxe de $1''$) $\sim 3,25$ anos-luz

Paralaxe: adequada para medir até $\sim 100 \text{ pc}$.

Para ir além precisamos de outros métodos. Henrietta Leavitt estudou um tipo de estrelas chamadas de cefeidas variáveis, cuja luminosidade varia periodicamente.

Em 1912, Leavitt mostrou uma relação entre a luminosidade intrínseca desse tipo de estrela e seu período de oscilação.



Cuidado com os desvios para o vermelho!

Temos 2 tipos: o gravitacional e o Doppler. No caso de Hubble estamos falando do desvio Doppler, que é devido à velocidade de afastamento da fonte emissora.

Devido à diferença de tempo entre os referenciais

$$\text{Doppler: } f_D = \frac{\gamma^{-1} f_0}{1 + v/c} = \frac{\sqrt{1 - v^2/c^2} f_0}{1 + v/c} = \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}} f_0$$

Fonte que se afasta do observador

Desvio para o vermelho **gravitacional**. Um fóton tem energia proporcional à sua frequência: $E = hf$. Mas sabemos que $E = mc^2$. Daí podemos concluir que o fóton tem uma massa equivalente a $m_\gamma = hf/c^2$.

Dessa forma, um fóton que deixe a superfície de um corpo de massa M e raio R perde energia para deixar o campo gravitacional.

$$U_m = -\frac{GMm}{R} \Rightarrow U_\gamma = -\frac{GMhf}{Rc^2}$$

Portanto um fóton de energia $E_0 = hf_0$ perde uma fração de sua energia ao deixar o corpo: $E_0 = E_\infty + U_\gamma \Rightarrow$ sua frequência deve ser reduzida.

$$E_\infty = hf_\infty = hf_0 - \frac{GMhf_0}{Rc^2} = hf_0 \left(1 - \frac{GM}{Rc^2} \right) \Rightarrow f_\infty = f_0 \left(1 - \frac{GM}{Rc^2} \right)$$

Na verdade essa conta não está correta, pois foi feita a partir da gravitação newtoniana. Quando se usa a TRG, a expressão é:

$$f_\infty = f_0 \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 R}}$$

Que, no caso de efeitos pequenos, $\frac{2GM}{c^2 R} \ll 1$, pode ser aproximada por:

$$f_\infty = f_0 \left(1 - \frac{GM}{c^2 R} \right)$$

Lembrando que $G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} = 6,707 \times 10^{-39} \hbar c (\text{GeV}/c^2)^{-2}$, podemos estabelecer valores numéricos para essas quantidades:

$$M_{Planck} = 2,18 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

$$E_{Planck} = c^2 M_{Planck} = 1,22 \times 10^{19} \text{ GeV}$$

$$L_{Planck} = 1,6 \times 10^{-35} \text{ m}$$

$$t_{Planck} = 5,4 \times 10^{-44} \text{ s.}$$

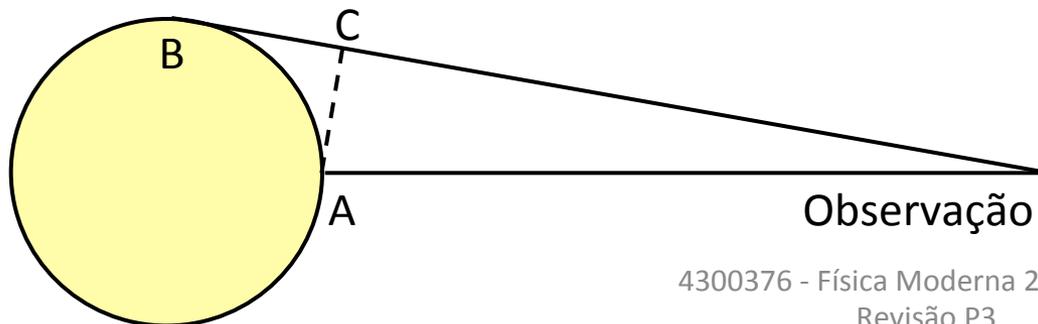
Pelo valor da massa de Planck, podemos concluir que as partículas elementares não podem ser mini buracos negros, pois suas massas são muito pequenas.

Como não temos uma teoria quântica da gravitação, esses valores representam limites além dos quais não podemos afirmar nada.

Mas ainda dava para piorar: esses objetos apresentavam variações de luminosidade em períodos de dias ou semanas, indicando que seu tamanho era “pequeno”, da ordem de dias-luz, ou semanas-luz. Lembrem-se que galáxias são medidas em 10^5 anos-luz. Que mecanismo poderia ser responsável pela produção de tanta energia em um volume tão pequeno?

Mas antes vamos entender porque sabemos que os quasares são “pequenos”. Suponhamos que a luminosidade de um objeto que tenha um raio de 7 dias-luz aumente em 20 % em um dia e depois volte ao normal.

Suponhamos que um observador veja o aumento de luminosidade (da luz que saiu do ponto A) no dia 1 do mês. Como a luz vai demorar uma semana para ir de B para C, o aumento de luminosidade do ponto B só vai chegar ao observador no dia 8. Assim, o pulso de um dia fica espalhado por uma semana.



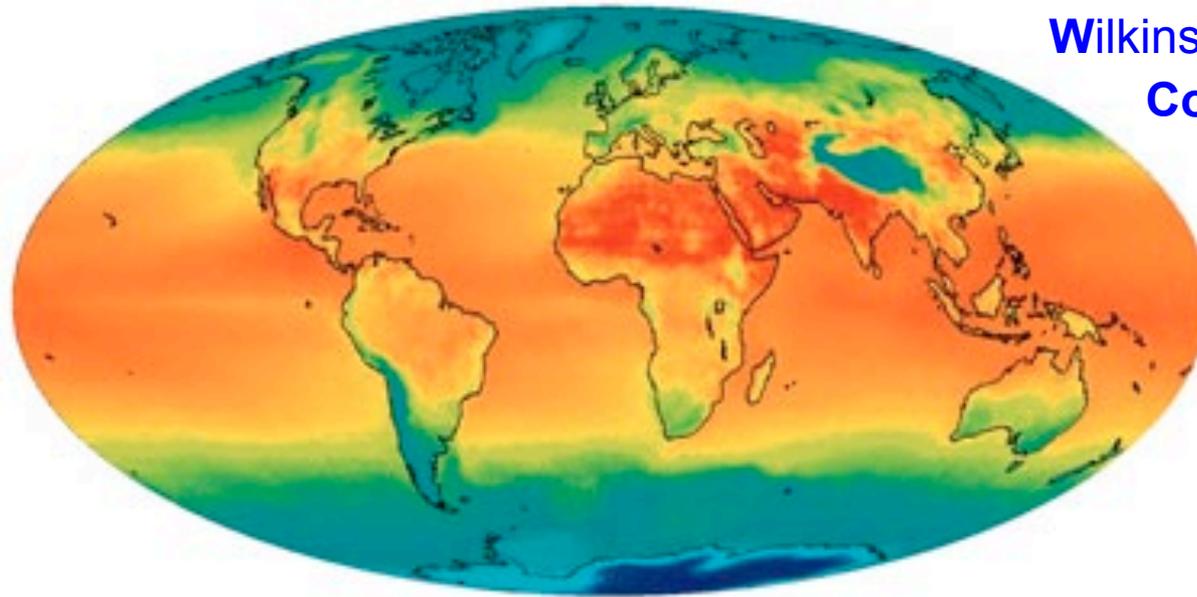
Medidas dos satélites COBE e WMAP

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

Cosmic Background Explorer

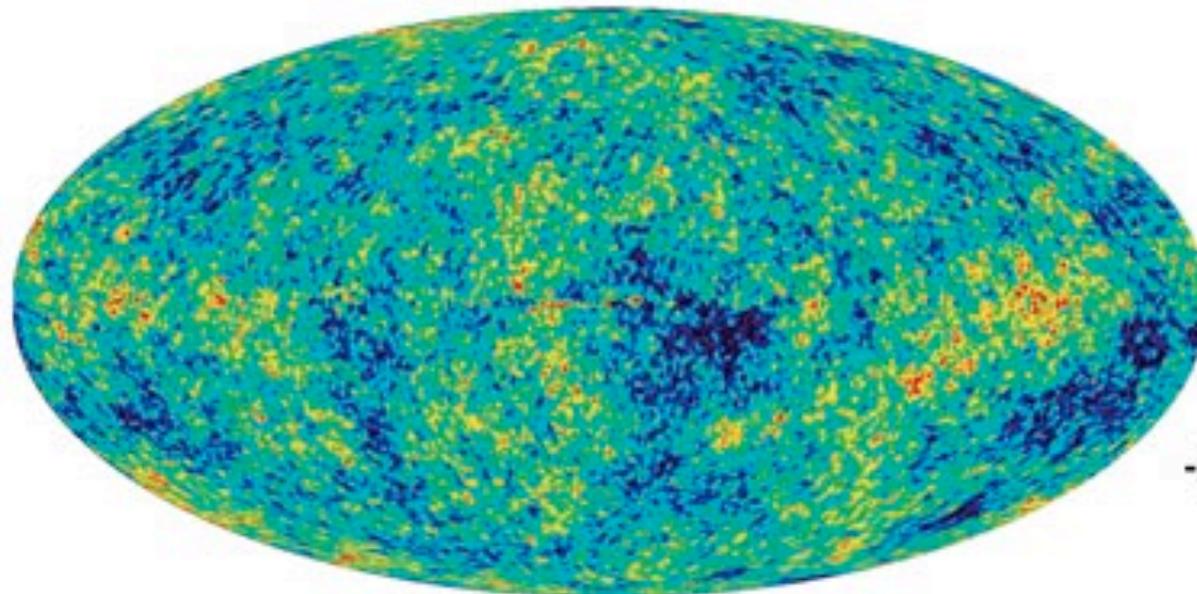
Earth

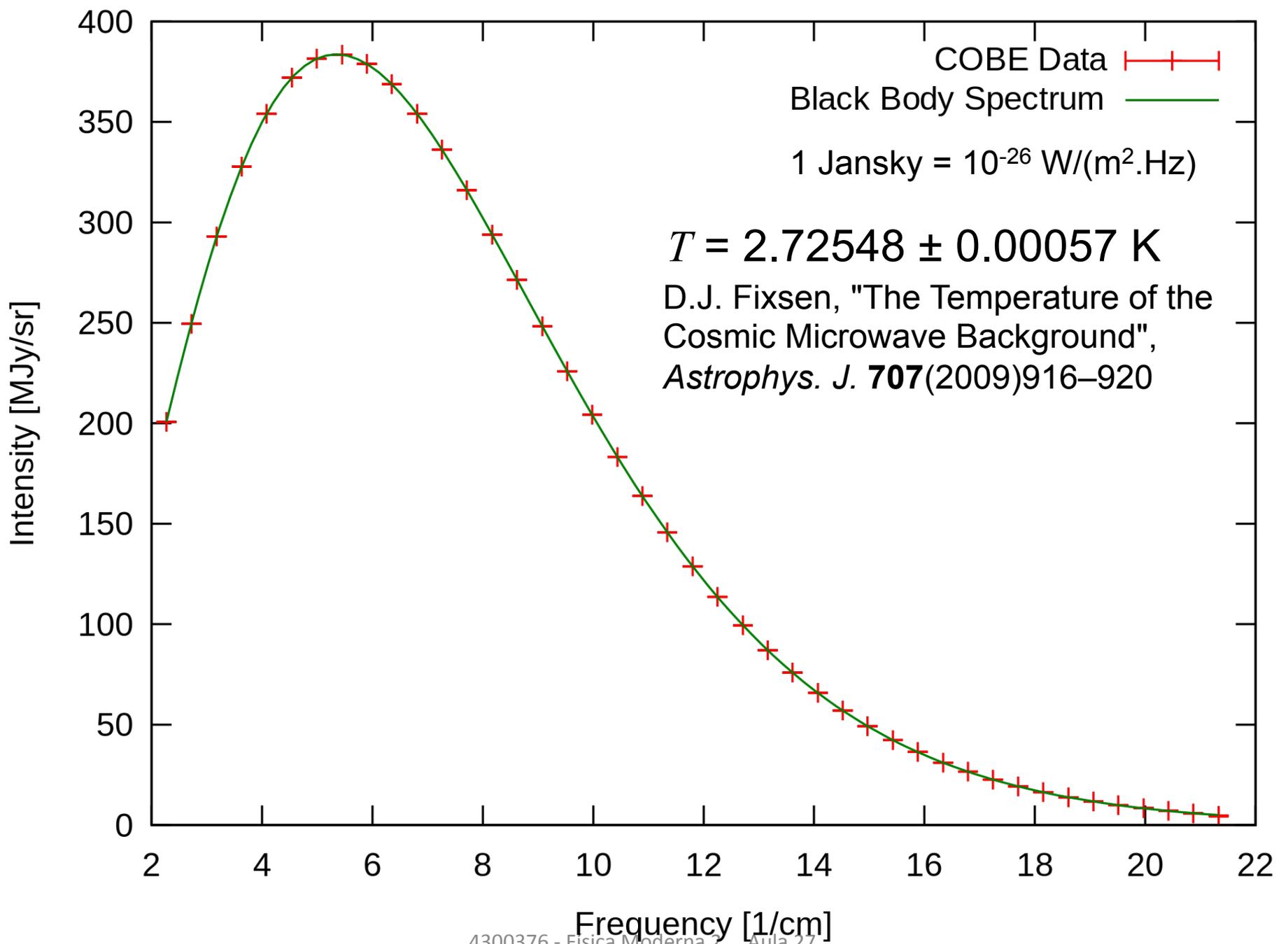
Temperatures



Microwave Sky

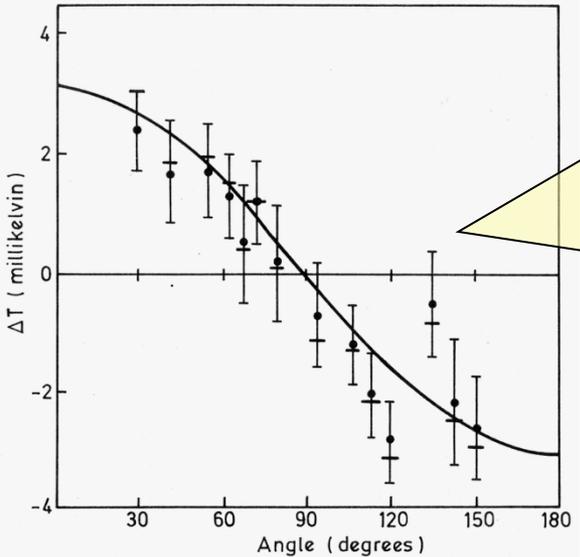
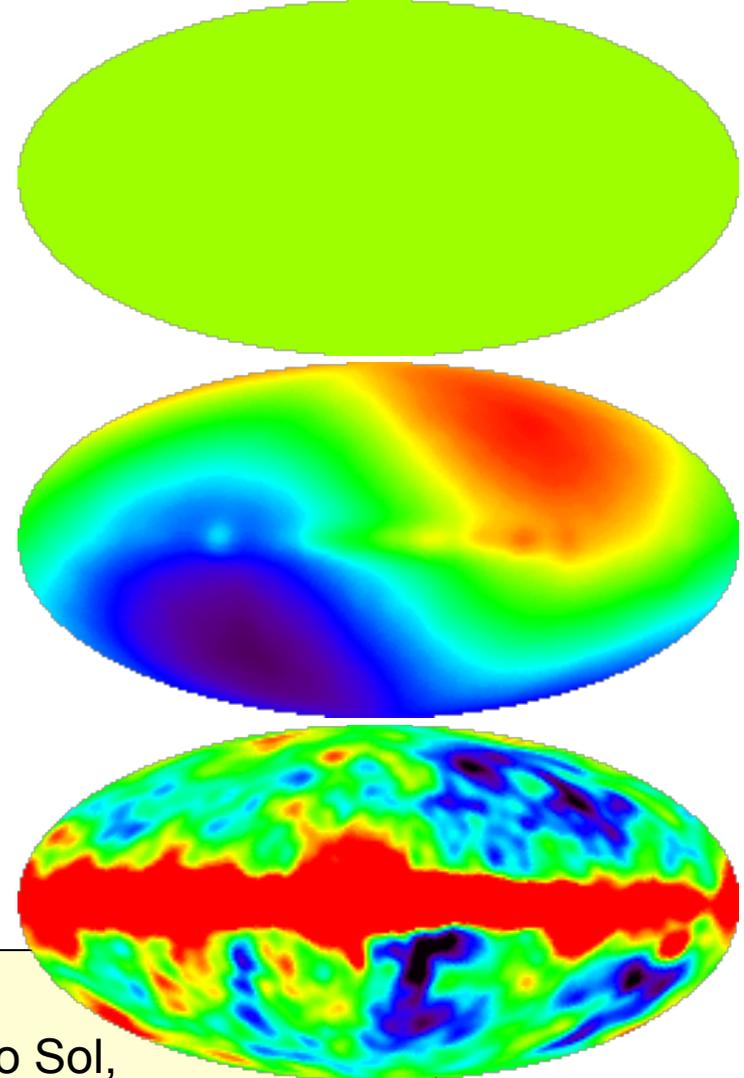
Temperatures





Medidas da distribuição de temperatura da radiação cósmica de fundo. Na figura de cima, escala de 0 (azul) a 4 (vermelho) K. Na do meio, a escala vai de 2,721 a 2,729 K. Nessa figura, o plano da Via Láctea corresponde ao plano médio da elipse. A figura tipo yin-yang é devida à anisotropia produzida pelo movimento da Terra.

A figura de baixo teve o efeito da anisotropia subtraído. Nesse caso, o vermelho representa regiões 0,2 mK mais quentes que as azuis.



Movimento da Terra: a Terra move-se em torno do Sol, que se move em torno da galáxia, que por sua vez move-se no seu aglomerado. No fim das contas a Terra move-se a ~400 km/s na direção da constelação do Leão.