

TEMEC121

Int. a Plasma para Tratamento de Materiais

COLISÕES

Iésus Sousa

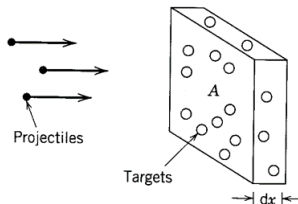
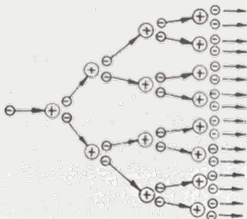
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica



10 de setembro de 2019

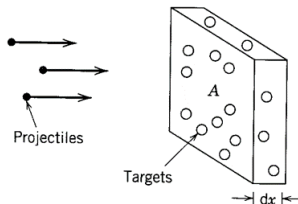
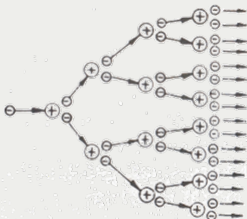
Objetivo

- Entender a importância dos processos de colisão no plasma.
- Sem colisões não existe plasma.

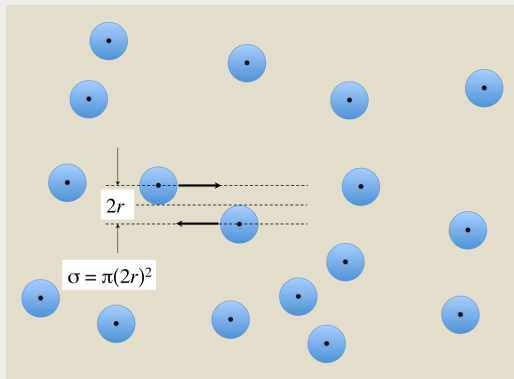


Objetivo

- Entender a importância dos processos de colisão no plasma.
- Sem colisões não existe plasma.

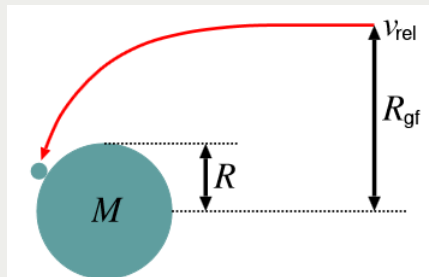


Seção de Choque



Seção de choque para esferas sólidas de raio r : $\sigma = \pi(2r)^2$.

Seção de Choque

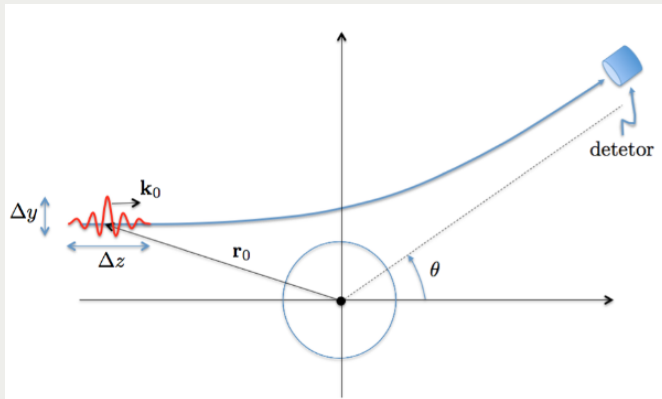


A seção de choque nem sempre é constante, pode depender das velocidades (energias) das partículas.

TABLE 3.1. Scaling of Cross Section σ , Interaction Frequency ν , and Rate Constant K , With Relative Velocity v_R , for Various Scattering Potentials U

Process	$U(r)$	σ	ν or K
Coulomb	$1/r$	$1/v_R^4$	$1/v_R^3$
Permanent dipole	$1/r^2$	$1/v_R^2$	$1/v_R$
Induced dipole	$1/r^4$	$1/v_R$	const
Hard sphere	$1/r^i, i \rightarrow \infty$	const	v_R

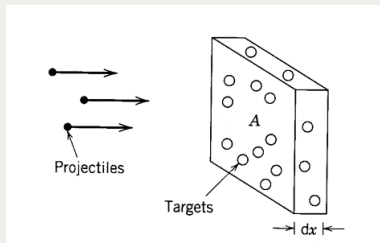
Seção de Choque



O sistema real é descrito pela mecânica quântica: existem efeitos que não podem ser descritos pela mecânica clássica.

Parâmetros relevantes

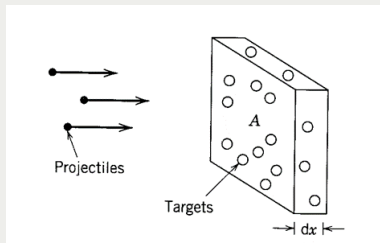
- $dn = -\sigma n n_g dx$
- Fluxo incidente:
 $d(nv) = d\Gamma = -\sigma \Gamma n_g dx$
- $\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dn}{n} = -\sigma n_g dx$
- $\Gamma(x) = \Gamma_0 e^{-\sigma n_g x} = \Gamma_0 e^{-x/\hat{\lambda}}$



- $\hat{\lambda} = \frac{1}{\sigma n_g}$
- $\tau = \frac{\hat{\lambda}}{v}$
- $\nu = \tau^{-1} = n_g \sigma v$

Parâmetros relevantes

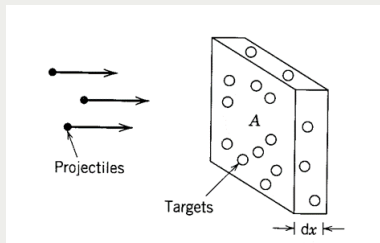
- $dn = -\sigma n n_g dx$
- Fluxo incidente:
 $d(nv) = d\Gamma = -\sigma \Gamma n_g dx$
- $\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dn}{n} = -\sigma n_g dx$
- $\Gamma(x) = \Gamma_0 e^{-\sigma n_g x} = \Gamma_0 e^{-x/\hat{\lambda}}$



- $\hat{\lambda} = \frac{1}{\sigma n_g}$
- $\tau = \frac{\hat{\lambda}}{v}$
- $\nu = \tau^{-1} = n_g \sigma v$

Parâmetros relevantes

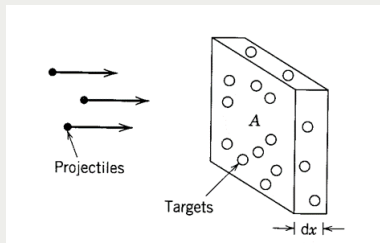
- $dn = -\sigma n n_g dx$
- Fluxo incidente:
 $d(nv) = d\Gamma = -\sigma \Gamma n_g dx$
- $\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dn}{n} = -\sigma n_g dx$
- $\Gamma(x) = \Gamma_0 e^{-\sigma n_g x} = \Gamma_0 e^{-x/\hat{\lambda}}$



- $\hat{\lambda} = \frac{1}{\sigma n_g}$
- $\tau = \frac{\hat{\lambda}}{v}$
- $\nu = \tau^{-1} = n_g \sigma v$

Parâmetros relevantes

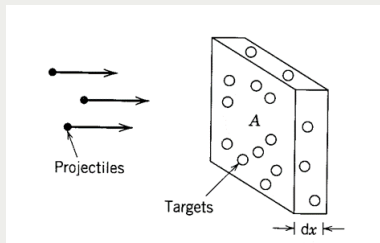
- $dn = -\sigma n n_g dx$
- Fluxo incidente:
 $d(nv) = d\Gamma = -\sigma \Gamma n_g dx$
- $\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dn}{n} = -\sigma n_g dx$
- $\Gamma(x) = \Gamma_0 e^{-\sigma n_g x} = \Gamma_0 e^{-x/\hat{\lambda}}$



- $\hat{\lambda} = \frac{1}{\sigma n_g}$
- $\tau = \frac{\hat{\lambda}}{v}$
- $\nu = \tau^{-1} = n_g \sigma v$

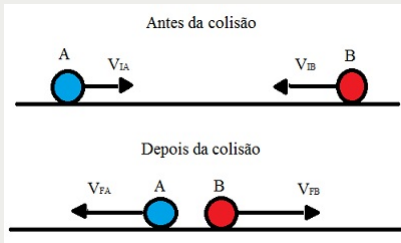
Parâmetros relevantes

- $dn = -\sigma n n_g dx$
- Fluxo incidente:
 $d(nv) = d\Gamma = -\sigma \Gamma n_g dx$
- $\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dn}{n} = -\sigma n_g dx$
- $\Gamma(x) = \Gamma_0 e^{-\sigma n_g x} = \Gamma_0 e^{-x/\hat{\lambda}}$



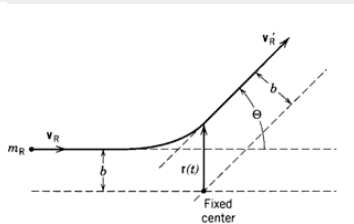
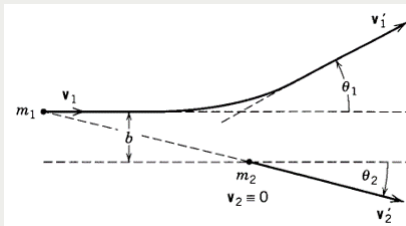
- $\hat{\lambda} = \frac{1}{\sigma n_g}$
- $\tau = \frac{\hat{\lambda}}{v}$
- $\nu = \tau^{-1} = n_g \sigma v$

Colisões Elásticas



- Conservação de energia.
- Conservação de momento linear (quantidade de movimento)
- Colisões elásticas ocorrem em um plasma?
- Colisões elásticas podem levar à formação de um plasma?

Função Transferência de Energia



Conservação de momento:

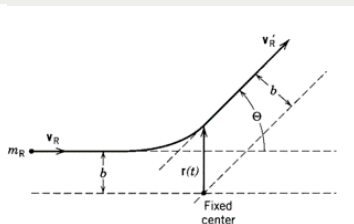
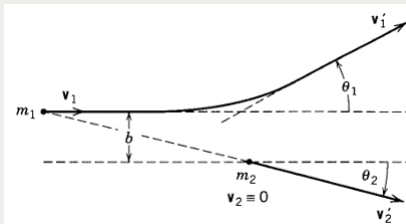
$$m_1 v_1 = m_1 v_1' \cos(\theta_1) + m_2 v_2' \cos(\theta_2)$$

$$0 = m_1 v_1' \sin(\theta_1) + m_2 v_2' \sin(\theta_2)$$

Conservação de energia:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

Função Transferência de Energia

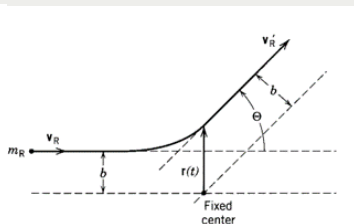
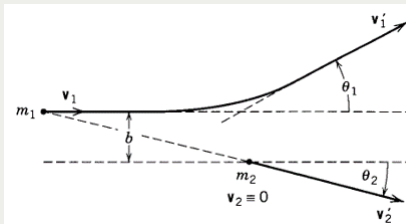


$$\blacksquare \quad \frac{m_1 v_2'^2/2}{m_1 v_1^2/2} = \zeta_L = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} \cos^2 \theta_2$$

$$\blacksquare \quad \zeta_L = \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} (1 - \cos \Theta)$$

■ $m_e \ll M_a$, o que implica tipicamente $T_e \gg T_i$.

Função Transferência de Energia

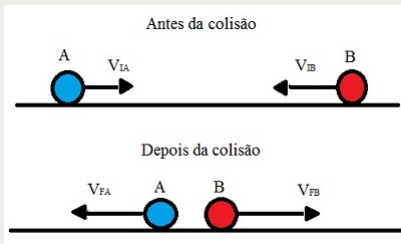


$$\blacksquare \frac{m_1 v_2'^2/2}{m_1 v_1^2/2} = \zeta_L = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} \cos^2 \theta_2$$

$$\blacksquare \zeta_L = \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} (1 - \cos \Theta)$$

■ $m_e \ll M_a$, o que implica tipicamente $T_e \gg T_i$.

Colisões Inelásticas



- Conservação de energia.
- Não há conservação de momento: $E_{ci} > E_{cf}$.
- Colisões inelásticas ocorrem em um plasma?
- Colisões inelásticas podem levar à formação de um plasma?

Estrutura atômica

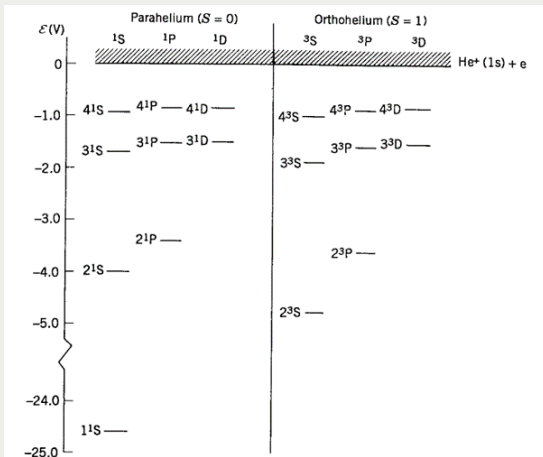
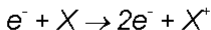
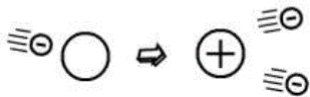


FIGURE 3.12. The energy levels of the helium atom, showing the division into singlet and triplet states and the metastable levels 2^1S and 2^3S (after Bransden and Joachain, 1983).

Colisões Inelásticas

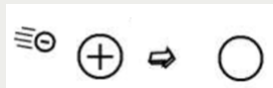
Ionização

(responsável pela formação do plasma)



Por que o processo reverso (recombinação) não acontece tão facilmente?

Processo impossível:



$$mv = (m + M)u$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(m + M)u^2 - U_i$$

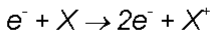
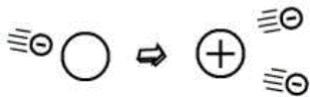
$$\frac{1}{2}m\left(\frac{m+M}{m}\right)^2 u^2 = \frac{1}{2}(m + M)u^2 - U_i$$

$$u^2 = -\frac{2U_im}{(m+M)M} \Rightarrow \text{velocidade complexa, processo impossível}$$

Colisões Inelásticas

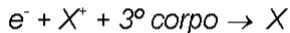
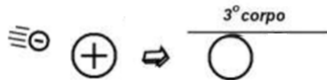
Ionização

(responsável pela formação do plasma)



Por que o processo reverso (recombinação) não acontece tão facilmente?

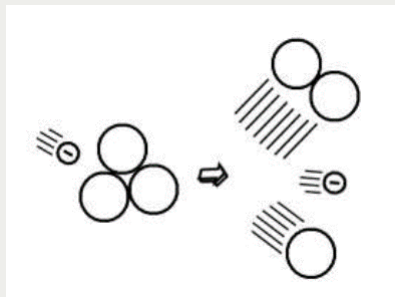
Recombinação a três corpos:



Terceiro corpo pode ser a parede ou qualquer espécie do plasma, inclusive um elétron

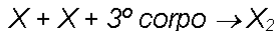
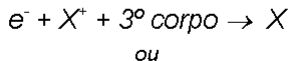
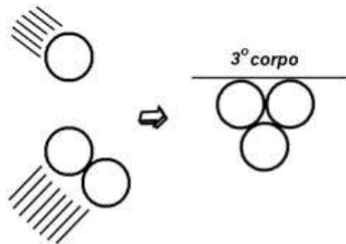
Colisões Inelásticas

Dissociação



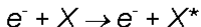
Por que o processo reverso (recombinação) não acontece tão facilmente?

Recombinação a três corpos



Colisões Inelásticas

Excitação



Relaxação

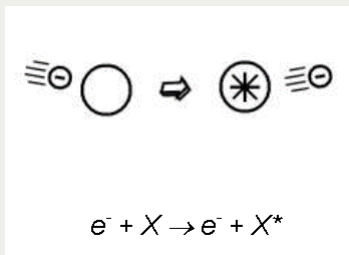


Tempo de vida de espécie emissivas da ordem de nanosegundos (pouca chance de interagir e de atingir elevadas concentrações)

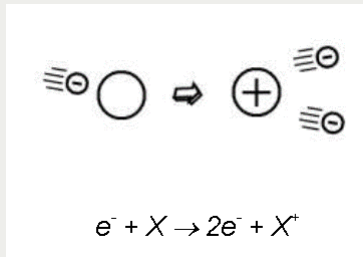
Se a emissão de fótons não for possível (níveis proibidos) o tempo de vida de espécie excitada será maior (espécie metaestável - tempo de vida pode atingir 1 segundo) -> necessidade do terceiro corpo para retornar ao estado fundamental (maior chance de interagir e de atingir elevadas concentrações)

Colisões Inelásticas

Ionização em dois estágios: 1º



2º



Normalmente importante em pressões maiores e para espécies de maior energia de ionização

Maior probabilidade para espécies excitadas metaestáveis

Seção de choque de diferentes processos

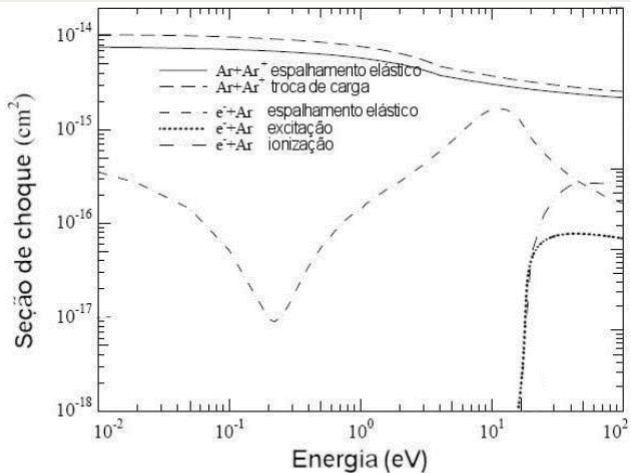


Figura 2 – Seção de choque de algumas partículas e seus efeitos num plasma DC de argônio.

Seção de choque e taxa de reação

A taxa de reação, $K(T_e)$, é a média da seção de choque de cada processo sobre uma distribuição maxwelliana: $K(T_e) = \langle \sigma v \rangle$.

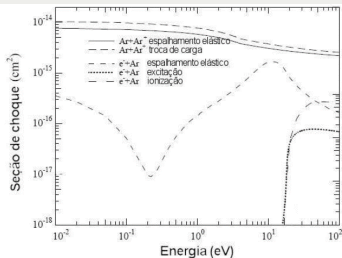
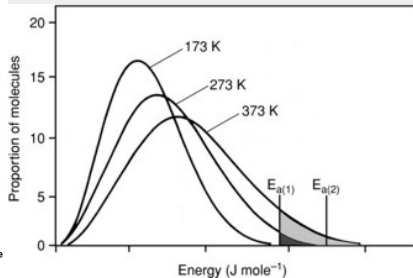


Figura 2 – Seção de choque de algumas partículas e seus efeitos num plasma DC de argônio.



Seção de choque e taxa de reação

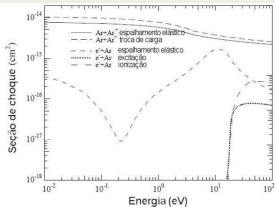
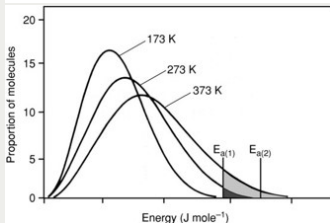
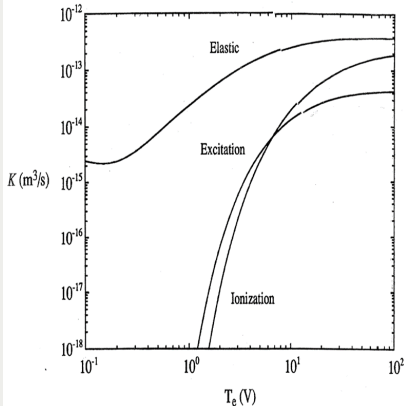


Figura 2 – Seção de choque de algumas partículas e seus efeitos num plasma DC de argônio.



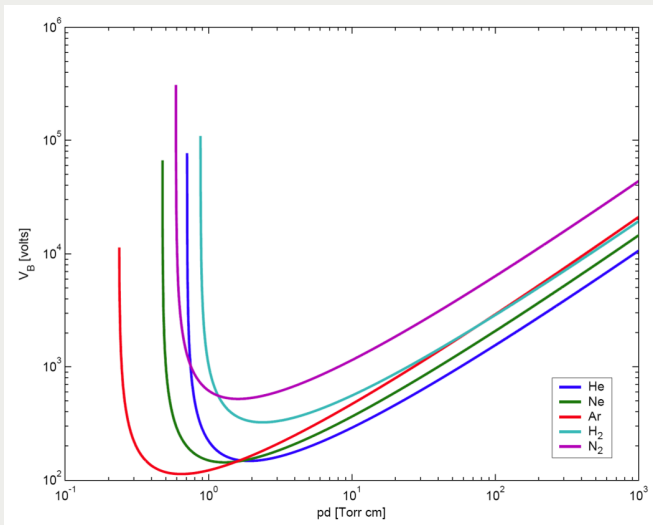
ELECTRON-ARGON RATE COEFFICIENTS



léus Sousa



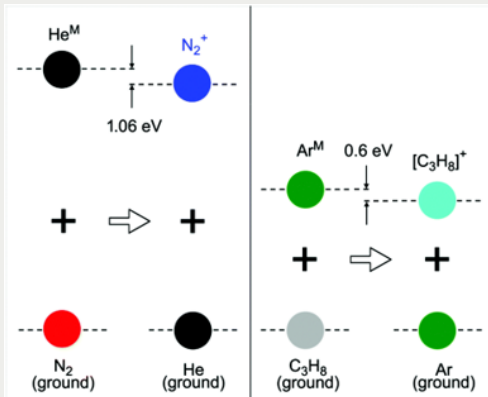
Uma das consequências



Colisões - outros processos

Colisões envolvendo íons (ionização, excitação) -> menos provável
(função transferência de energia)

Ionização e/ou excitação por espécies excitadas de maior energia
(normalmente metaestáveis)



Outros processos: Troca de carga

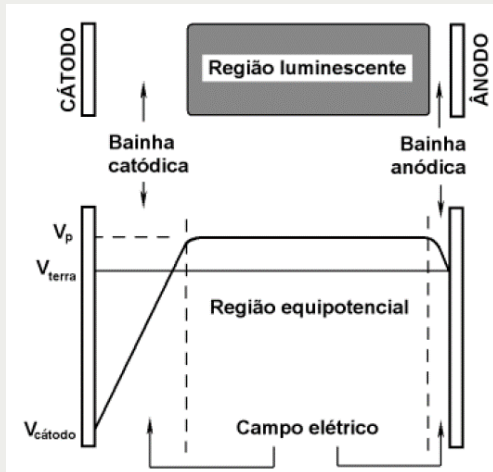
Troca de carga (simétrica - íon e espécie neutra do mesmo átomo)



Trocas de carga assimétricas podem ocorrer, mas são muito mais improváveis (problema de conservação de energia novamente) Ex.:

Em plasma Ar^+H_2 forma-se ArH^+ , que ao colidir com o cátodo tem maior energia que o Ar^+ , ArH^+ não faz troca de carga simétrica.

Onde ocorrem as colisões em uma descarga DC



Importante de lembrar

- Importância as colisões para o plasma (elásticas e inelásticas)
- Noção de seção de choque
- Função de transferências de energia
- Conhecer as principais colisões inelásticas e sua importância (consequência)
- Entender onde ocorre com maior frequência na descarga DC