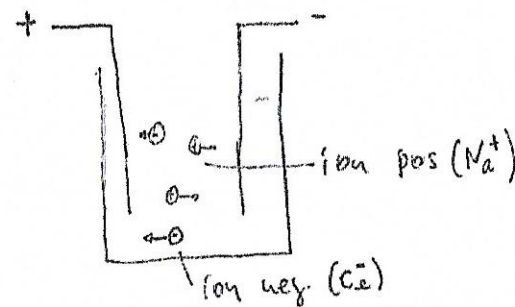


Estrutura da Matéria

- atomistas gregos - Demócrito
- átomo químico - Dalton
- moléculas - Avogadro
- carga elementar - Faraday

Eletrólise: dissociação de substâncias em íons



- fenômenos ondulatórios $\Rightarrow$ luz
- concepção eletromagnética da luz
- relatividade restrita

Experimento de Faraday (1831-1834)

$$\left(\frac{Q}{M}\right)_{Cl_2} \sim 2,8 \times 10^3 \text{ C/g} \quad \left(\frac{Q}{M}\right)_{H^+} \sim 10^5 \text{ C/g} \quad (\text{depende dos íons})$$

massa da substância
carga depositada

$$\frac{Q}{\text{mols} \times n} = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \quad (\text{Lei de Faraday - F}) \Rightarrow$$

valência (número de elétrons das substâncias)

$$\frac{Q}{N \cdot n} = \frac{F}{N_A} = e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

carga elementar
nº de íons
nº de Avogadro
(quantização da carga elétrica)
Stoney - 1874

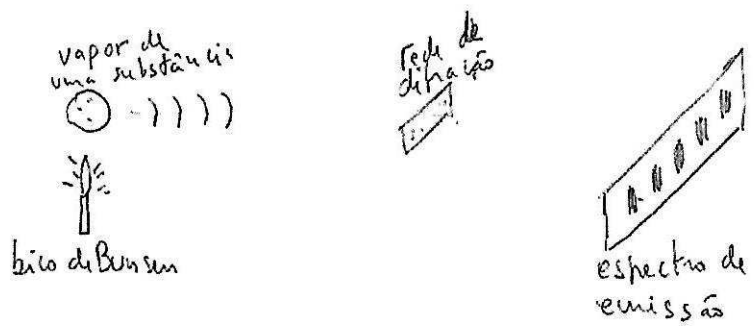
$$Q = N q_{\text{ion}} \Rightarrow \frac{q_{\text{ion}}}{n} = e \text{ (carga elementar) - quantização da carga}$$

Millikan - 1909
(carga do elétron)

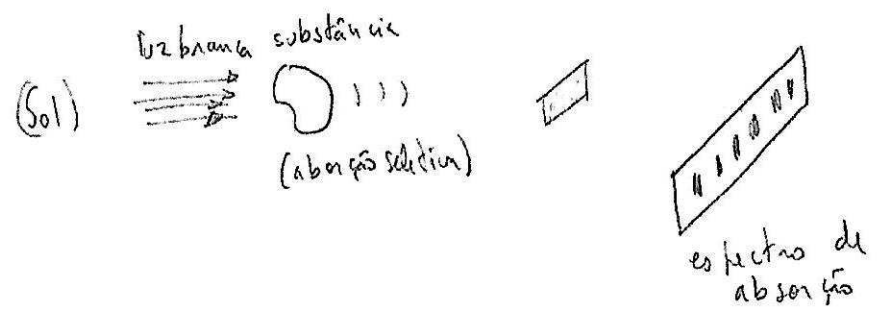
$$\left(\frac{Q}{M}\right) = \frac{q_{\text{ion}}}{m_{\text{ion}}} = \frac{n e}{m_{\text{ion}}} \Rightarrow m_{\text{ion}} = \frac{n e}{(Q/M)}$$

$$m_{H^+} \sim \frac{1,6 \times 10^{-19}}{10^5} \sim 1,6 \times 10^{-24} \text{ g} \quad (\text{massa do próton})$$

Espectros copia



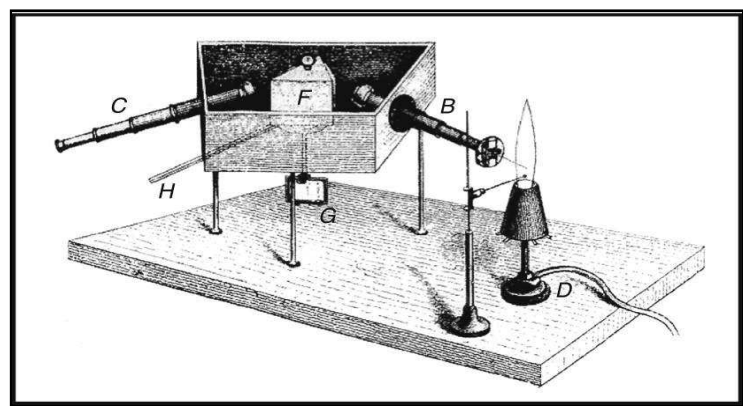
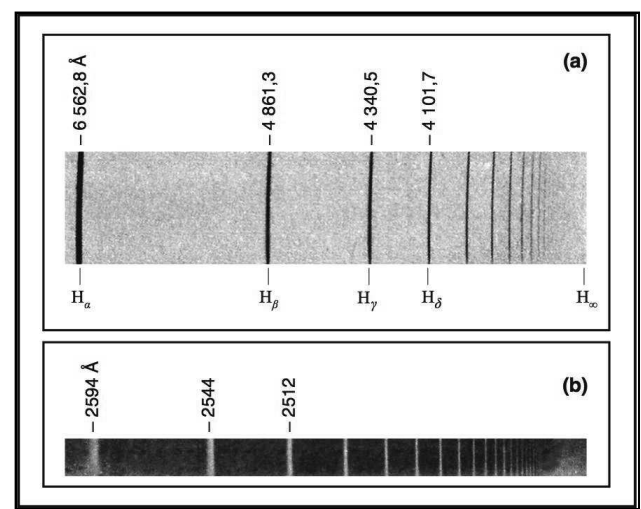
espectro de linhas (gases monoatômicos) ou de bandas (metais - sólidos) característicos de cada elemento



- descobertas de vários elementos (Rb, In, Ta, Ce, He)
- composição da atmosfera solar

ressonância entre a radiação e os átomos $\Rightarrow$ átomos são sistemas compostos

(possuem estrutura capaz de movimentos internos de vibração - osciladores)

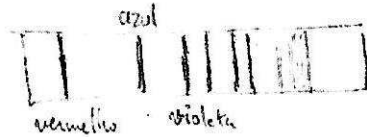


Espectro do hidrogênio

(3)

Angstrom (1853) $\Rightarrow$ Balmer (1885)

$$\lambda = 3645,6 \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (n = 3, 4, 5, \dots)$$



$$1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$$

$\text{\AA}$ (Angstrom)

Rydberg (1888) $\Rightarrow$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$R_H \approx 10^5 \text{ cm}^{-1} \quad (\text{cte de Rydberg})$$

Ritz

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad n > m$$



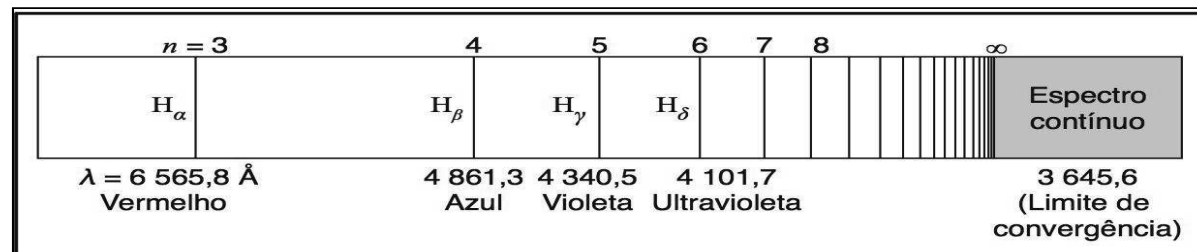
$$\nu_{nm} = cR \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$= \nu_{ne} - \nu_{em} \quad (\text{Princípio de Ritz})$$

qualquer linha resulta da combinação de termos espectrais

Série	Região do espectro	m	n	Ano
Lyman	Ultravioleta	1	2, 3, ...	1906-14
Balmer	Ultravioleta e visível	2	3, 4, ...	1885
Paschen	Infravermelho	3	4, 5, ...	1908
Brackett	Infravermelho	4	5, 6, ...	1922
Pfund	Infravermelho	5	6, 7, ...	1924

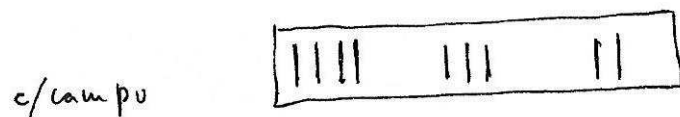
Discretização da radiação emitida ou absorvida pelo hidrogênio e outros gases reforça a ideia de átomos osciladores compostos de cargas positivas e negativas.



Efeito Zeeman (1897)

(4)

- desdobramento das linhas espectrais em um campo magnético
- uso de redes de difração com maior poder de resolução (600 linhas/mm)
- campos magnéticos mais intensos (10^4 G - bobina de Ruhmkorff)



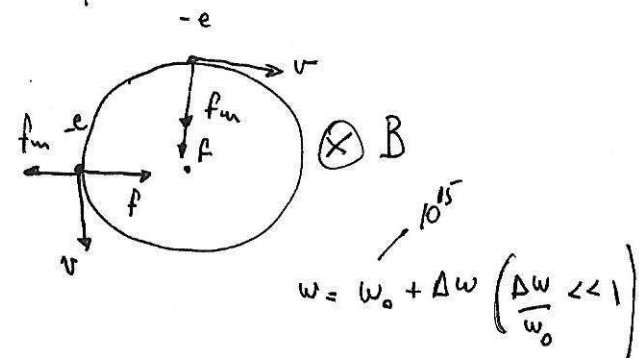
desdobramento em 2, 3 (normal) ou mais linhas (anômalo)

Lorentz (1897) - considera que os átomos (osciladores) contêm partículas c/ carga negativa (elétrons), que sob a ação de um campo magnético obedece à eq. de mov. de Newton

oscilador (equivalente a 2 mov. circulares) $\rightarrow$

$$ma = \underbrace{f(n)}_{\substack{\text{freq} \\ \text{elástica}}} \pm \underbrace{evB}_{\text{força de Lorentz}}$$

ω_n^2 (mov. circ.)



$$\begin{cases} B=0 \Rightarrow m\omega_0^2 r = f(n) \\ B \neq 0 \Rightarrow m\omega^2 r = f(n) \pm e\omega n B \end{cases}$$

$$\Rightarrow m \underbrace{(\omega^2 - \omega_0^2)}_{\substack{(\omega - \omega_0)(\omega + \omega_0) \\ \Delta\omega \quad 2\omega}} = \pm e\omega B \Rightarrow \Delta\omega = \pm \left(\frac{e}{2m} \right) B$$

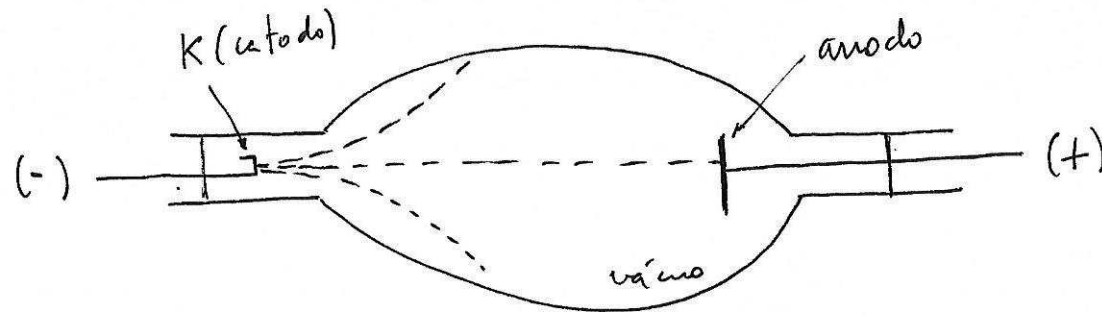
$P/B = 1T = 10^4$ G $\Rightarrow \Delta\omega \sim 10^{11}$ Hz

$\left(\frac{e}{m} \right)_{\text{Zeeman}} \sim 1.76 \times 10^{11}$ C/kg

γ (razão giromagnética)

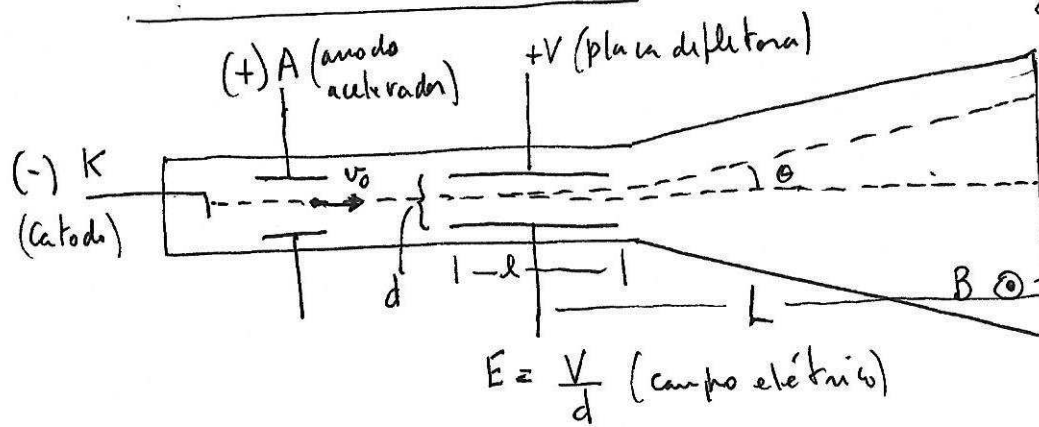
Raios catódicos - Geissler (1859) - 10^{-2} mmHg (técnicas de vácuo)

(6)



- deflexão por campos magnéticos e elétricos
- carga negativa
- mesma carga de corp. do íon de hidrogênio (?)

Experimento de Thomson (1897)



deflexão eletrostática

$B=0 \implies$

$B \neq 0$ (eq.) $\implies$

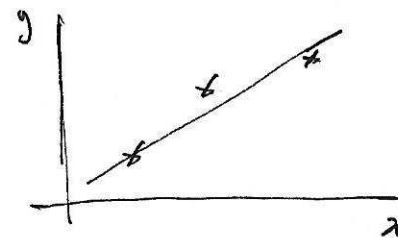
$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = e \frac{E}{m} t \end{cases} \implies v_y(t=l/v_0) = \frac{e}{m} \frac{E}{v_0} l$$

$$\begin{cases} E = v_0 B \implies v_0 = \frac{E}{B} \end{cases} \begin{matrix} \sim 3 \times 10^4 \text{ V/m} \\ \sim 3 \times 10^7 \text{ m/s} \\ B \sim 10^{-3} \text{ T} \end{matrix}$$

(condição de equilíbrio)

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{e E l}{m v_0^2} = \frac{y}{L} \implies g = \left(\frac{e}{m} \right) \left(\frac{l L B^2}{E} \right) \quad (\text{reta de ajuste})$$

$$\left(\frac{e}{m} \right)_{\text{Thomson}} \sim 10^{11} \text{ C/kg}$$



veloc. grande (0.1c) rejeita a ideia de que $m_e \ll m_{H^+}$

Hipóteses e conclusões de Thomson (a descoberta do elétron)

(7)

$$\left(\frac{e}{m}\right)_{\text{raios catódicos}} \sim 10^{11} \text{ C/kg} >> \left(\frac{e}{m}\right)_{\text{H}^+} \sim 10^8 \text{ C/kg} \Rightarrow \begin{cases} q_e \gg q_{\text{H}^+} \\ \text{ou} \\ m_e \ll m_{\text{H}^+} \end{cases} \quad \left(\frac{e}{m}\right)_{\text{raios catódicos}} \sim 2000 \left(\frac{e}{m}\right)_{\text{H}^+}$$

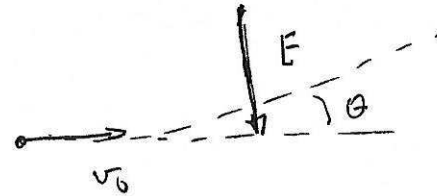
- $m_e \ll m_{\text{H}^+}$
- carga de mesmo valor que a carga elementar de eletrólise?
- primeira partícula elementar → elétron
- átomos neutros $\Rightarrow$ constituintes dos átomos, junto a cargas positivas (modelo atômico de Thomson)

Experimentos de Kaufman (1901)

(8)

- elétrons (β) $\Rightarrow$ maiores velocidades ($v/c \sim 0.9c$)
(radioatividade)
- compatíveis com a Eletrodinâmica de Einstein

$$\begin{cases} p_x = \gamma(v_0) m v_0 & (\text{cte}) \\ p_y = e E t \Rightarrow p_y(t = l/v_0) = \frac{e E l}{v_0} \end{cases}$$



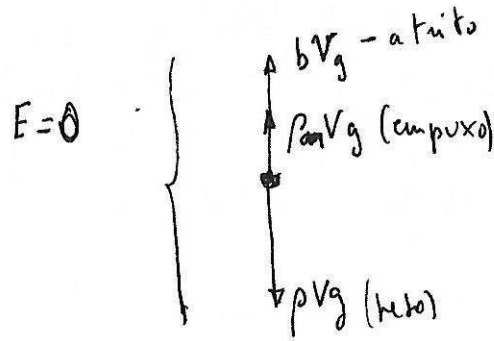
$$\tan \theta = \frac{p_y}{p_x} = \frac{e E l}{\gamma m v_0^2} = \frac{y}{L} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{y} \left(\frac{e}{m} \right) \left(\frac{l L B^2}{E} \right)$$

menor deflexão que
o experimento de Thomson

Experimento de Millikan (1911)

(9)

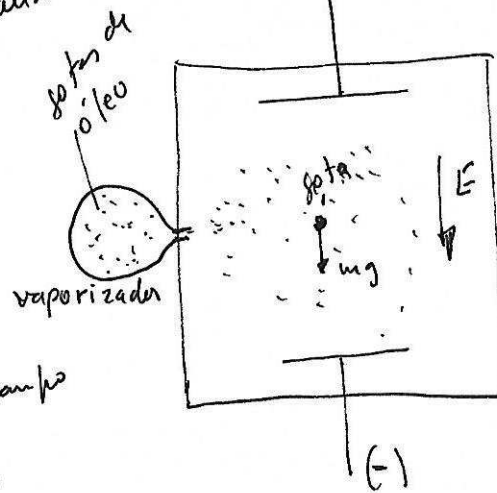
- medição da carga do elétron



$$\rho V_g = \rho_{ar} V_g + b v_g$$

$$v_g = \frac{2a^2(\rho - \rho_{ar})g}{9\eta}$$

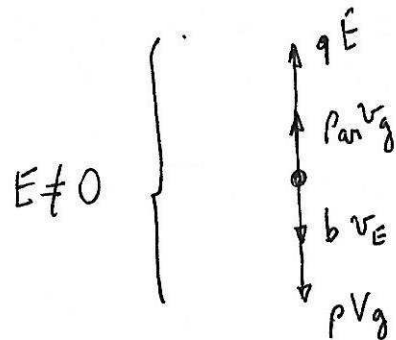
veloc. terminal na ausência de campo



a - raio da gota

$$V = \frac{4}{3} \pi a^3$$

$$b = 6\pi\eta a \rightarrow \text{coef. de viscosidade}$$



$$\rho V_g + b v_E = \rho_{ar} V_g + qE$$

$$b(v_g + v_E) = qE \Rightarrow q = \underbrace{\left(\frac{6\pi\eta a}{E} \right)}_{\text{medido na ausência do campo}} \underbrace{(v_E + v_g)}_{\text{medido várias vezes}}$$

resultado de Millikan : $q \approx n \times \underbrace{1.6 \times 10^{-19}}_{\text{carga elementar do elétron}} \text{ C}$

Combinando resultados :

$$m_{\text{elétron}} = \frac{(e)_{\text{Millikan}}}{(e/m)_{\text{Zeeman}}} \sim 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

