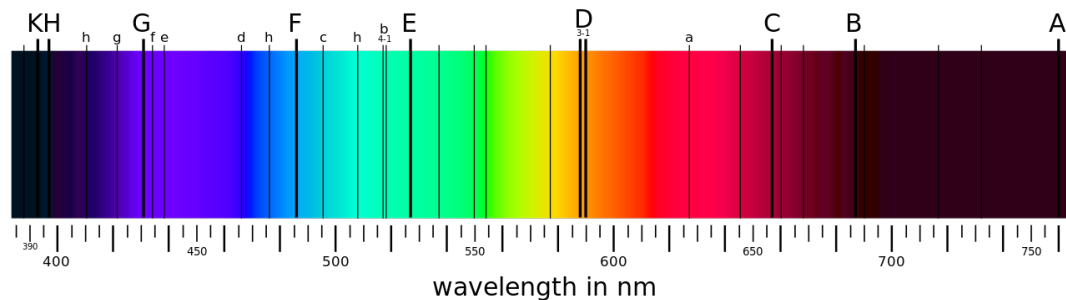


## ESPECTROSCOPIA

Curiosidade sobre a origem das cores desde a antiguidade:  
Por que o céu é azul, as folhas são verdes ...

1666-1672 Newton realiza experimentos em ótica. Luz separada por um prisma.

1814 Joseph von Fraunhofer – inventa o espectroscópio e observa linhas de absorção do sol  
<https://www.youtube.com/watch?v=tt-2ookc604>

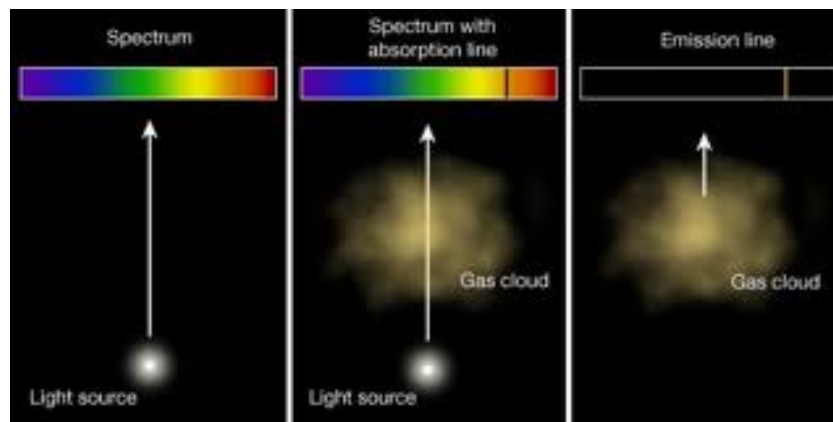




1853 Anders Jonas Ångström- Físico sueco. Postula que um gás incandescente emite luz na mesma frequência que absorve. 1862 Estudo da composição do sol: sol contém H e outros elementos. Estuda espectro da aurora boreal



1860 Bunsen e Kirchhoff - Cada elemento na forma gasosa emite espectro característico- descobriram novos elementos Cs e Rb



Leis de Kirchhoff da Espectroscopia

1) Um corpo sólido quente produz luz com um espectro contínuo.

Kirchhoff chamou de radiação de corpo negro

2) Um gás quente produz luz com linhas espectrais em comprimentos de onda discretos

3) Um corpo sólido quente cercado por um gás frio produz luz contínua com intervalos escuros



1885 Johann Jakob Balmer, matemático suíço, encontra fórmula matemática do espectro do H. Fórmula correta em 1 parte em 40.000

$$\lambda = \text{cte} \frac{m^2}{m^2 - n^2}, \quad \begin{array}{l} m = 3, 4, 5 \\ n = 2 \end{array}$$

$$\text{cte} = 3645,6 \text{ \AA}$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$



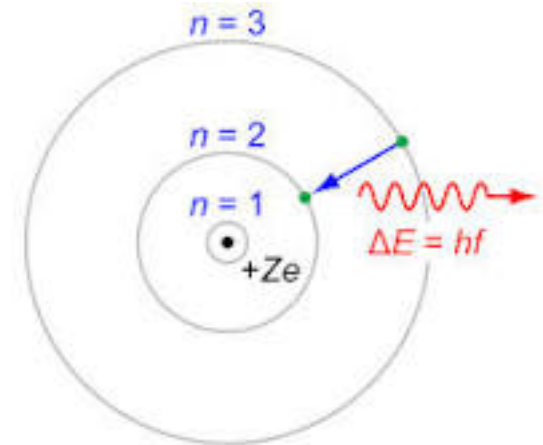
1888 Johannes Robert Rydberg, generaliza fórmula de Balmer

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{4}{\text{cte}} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad \begin{array}{l} n_1 = 2 \\ n_2 > n_1 \end{array}$$



1913 Niels Bohr- desenvolve modelo atômico. Postula que o momento angular da órbita é quantizado em unidades de  $\hbar$  e deriva a fórmula de Rydberg

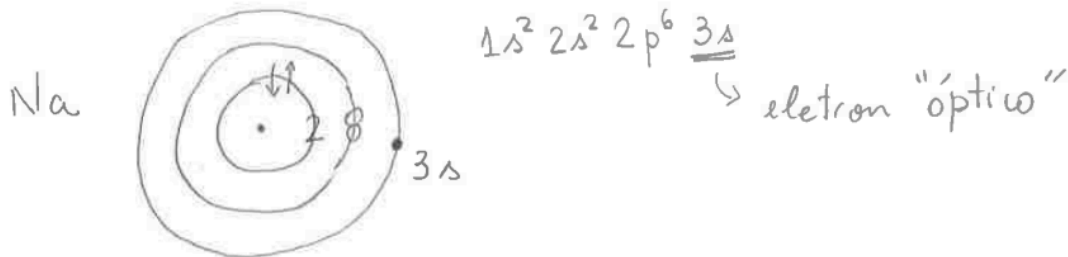
$$E = E_i - E_f = R_E \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$



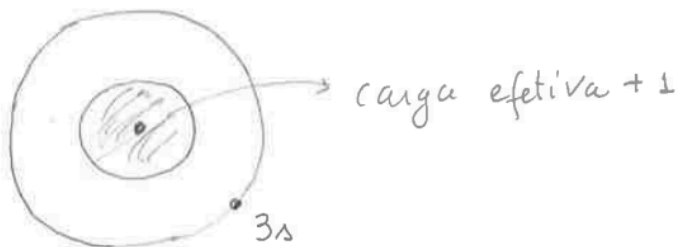
# ÁTOMOS HIDROGENÓIDES Li, Na, K, Rb, Cs, Fr

Correção de Rydberg (Defeitos Quânticos)

VISÃO SEMICLÁSSICA



III



Níveis de energia e portanto espectro deveria ser igual ao do H. Mas experimentalmente esses valores apareceram deslocados!

Modelo de Bohr é modificado com substituição de orbitas por orbitais dados pela equação de Schrödinger (1926)

Orbitais - elétrons descritos por nuvem de probabilidade



→ último elétron visita interior da eletrosfera e blindagem do núcleo não é perfeita i.e., o elétron sente uma carga nuclear efetiva maior. Isso afeta os níveis de energia e portanto a posição das linhas



orbital s ( $l=0$ ) → visita mais o centro

p ( $l=1$ ) → " menos " "

d ( $l=2$ ) → quase não visita o centro →  $d \approx 0$

Hidrogênio

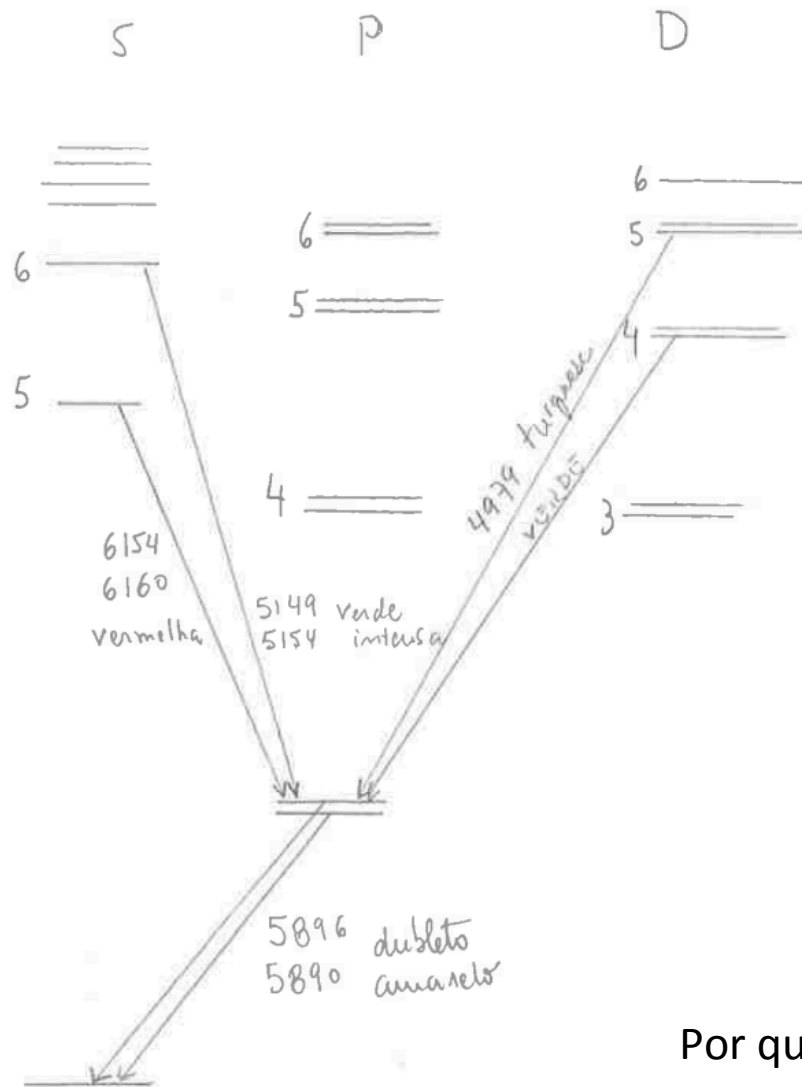
$$E \propto -\frac{1}{n^2}$$

Na

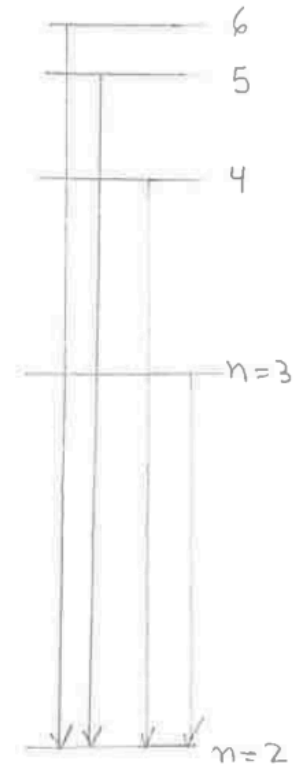
$$E \propto -\frac{1}{(n+\mu)^2}$$

↳ correção de Rydberg

# SÓDIO (Na)



# Hidrogênio



# SÉRIE DE BALMER

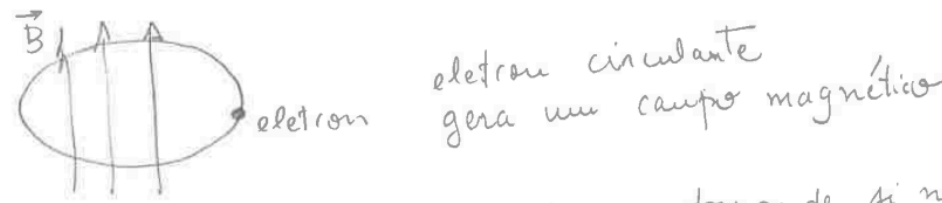
Por que não vai de s->s ou p->p?

Porque níveis s não aparecem duplicados?

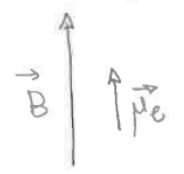
# Interação SPIN-ÓRBITA - estrutura fina



Visão SEMICLÁSSICA



Mas eletron também "gira" em torno de si mesmo (SPIN) e gera um campo magnético  $\vec{\mu}_e$

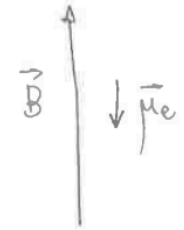


energia de interação =  $-\vec{\mu}_e \cdot \vec{B}$  ver Feynman lectures on Physics

$\vec{B} \propto \vec{L} \rightarrow \propto \vec{L} \cdot \vec{S} \rightarrow$  acoplamento spin-órbita

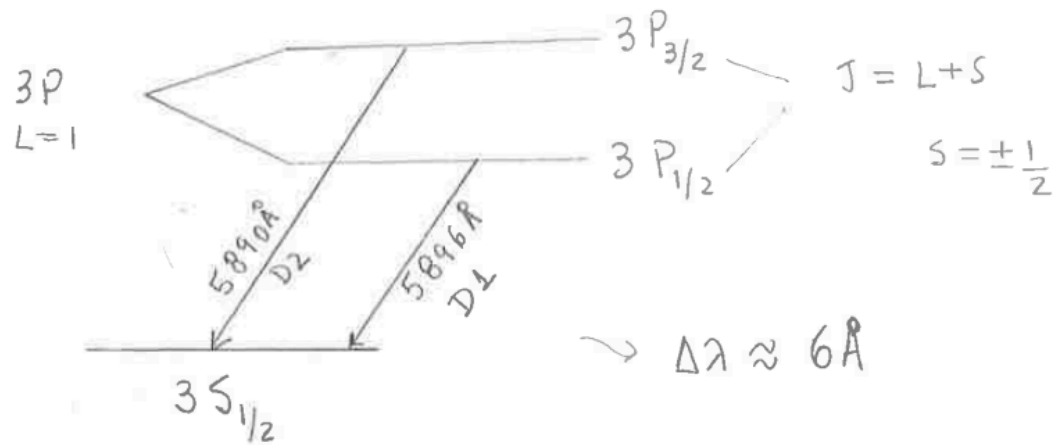
$\mu_e \propto \vec{S}$

ou





Spin-órbita  $\propto Z^4$



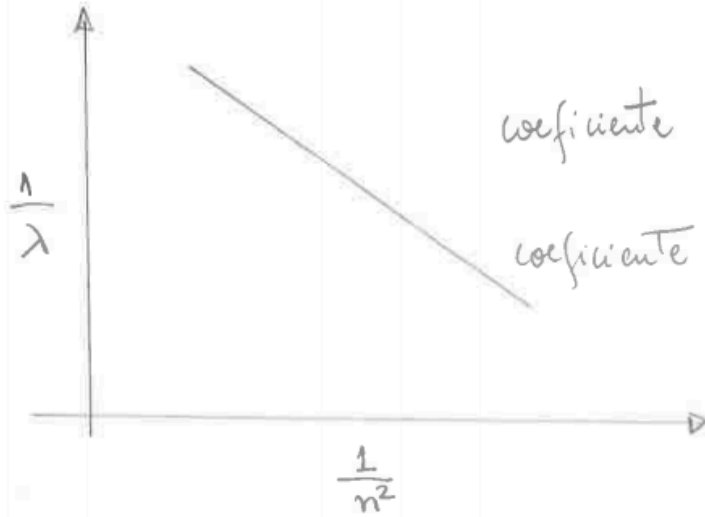
Porque não vemos no H?  
duplete

# CURVA DE CALIBRAÇÃO DO Hg

Hg



H



coeficiente linear  $\frac{R_H}{2^2}$

coeficiente angular  $-R_H$

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

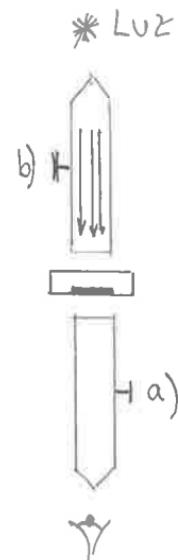
## DOIS Experimentos

- 1) Obter comprimentos de onda das linhas do H e Na com Kit Pasco espectroscópio de transmissão, usando Hg como calibração (aprox. 2:30h)
- 2) Repetir 1) usando o espectrômetro de reflexão com motor de passo (+- 2:30h).

# EXPERIMENTO 1 - KIT PASCO- ESPECROSCÓPIO DE TRANSMISSÃO

## 1) Alinhamento

- a) Focalizar no infinito com a) -ver figura ao lado
- b) Acender lâmpada do Hg e controle a intensidade com a fenda. Focalizar com b) a linha vertical centrado com cruzeta. Assim o feixe incidirá paralelo na rede de difração.
- c) Zerar nônio e travá-lo.
- d) Alinhar “mesinha” suporte da rede de difração, olhando por cima, parafusos mais próximos da ocular. Travar mesinha.
- e) Colocar rede de difração 600linhas/mm.
- f) Medir ângulos de posição das linhas movendo ocular para a direita



2) Fazer curva de calibração com Hg - comprimento de onda tabelado  $\times \sin(\hat{\text{angulo}})$  para servir de “guia” use a fórmula  $\lambda = d \cdot \sin(\theta)$ ,  $d = 1/600$  mm.  
ATENÇÃO: após fazer as medidas com Hg não mexa no alinhamento

3) Determinar ângulos das quatro linhas visíveis do H. A linha 410nm só pode ser vista maximizando a entrada de luz. Usando a calibração do Hg determine os comprimentos de onda das quatro linhas visíveis do H. Faça um gráfico  $1/\lambda \times 1/n^2$  e determine a constante de Rydberg  $R_H$  a partir dos coeficientes angular e linear.

4) Repetir 3) determinando várias linhas do Na, começando pelo dubleto do amarelo (D1 e D2). Veja folha fornecida como guia das principais linhas.

## EXPERIMENTO 2 – ESPECTRÔMETRO DE REFLEXÃO

Experimento análogo ao experimento 1 só que em vez de ângulos medimos passos.

### 1) Inicialização

- a) Ligue o computador e acesse os programas da webcam e do controlador do motor de passo
- b) Mova o motor de passo todo para a esquerda e zere o contador do no. de voltas.
- c) Escolha uma referência na tela do computador.
- d) Comece observando as linhas mais intensas do Hg que estão aprox. no passo 9000. Pode-se focalizar puxando/empurrando a câmera levemente
- e) Controlar a intensidade de luz com a fenda na entrada ou aproximando a luz. Para linhas fracas deve-se maximizar a entrada de luz.

Nota: Efeito de folga do motor de passo-> Sempre faça as medidas após ter caminhado sempre no mesmo sentido. Se passar, volte um a pouco atrás e atinja a linha novamente.

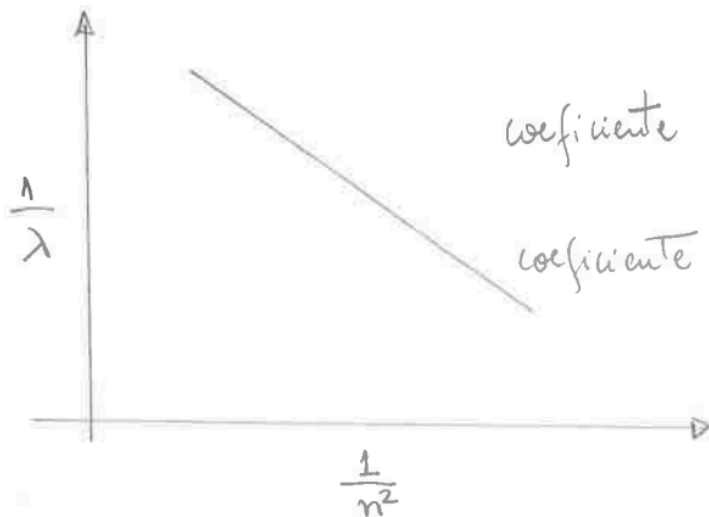
- ### 2) Fazer calibração com o gráfico do Hg $\lambda$ x passo usando uma curva até terceiro grau. Medir posição das linhas do H e Na em passos e determinar seus comprimentos de onda usando a calibração com Hg.

# CURVA DE CALIBRAÇÃO DO Hg

Hg



H

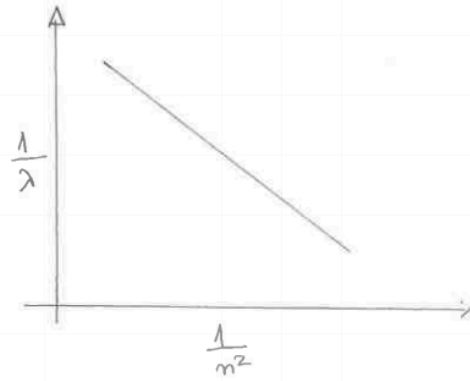


coeficiente linear  $\frac{R_H}{2^2}$

coeficiente angular  $-R_H$

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

Na  
Série  
Difusa

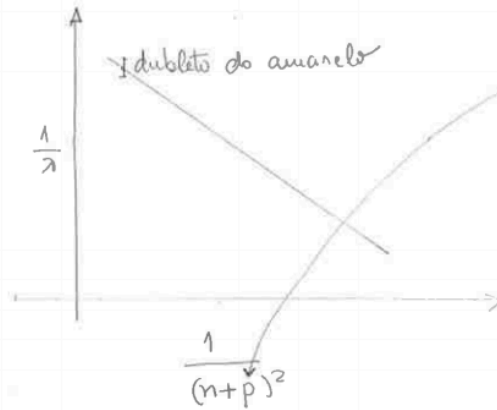


$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R_{Na}}{(3+p)^2} - \frac{R_{Na}}{(n+s)^2} \approx 0$$

coef angular  $R_{Na} \approx 1,11 \times 10^3 \text{ \AA}$

coef linear  $\frac{R_{Na}}{(3+p)^2} \rightarrow p \approx -0,87$

Série  
Principal

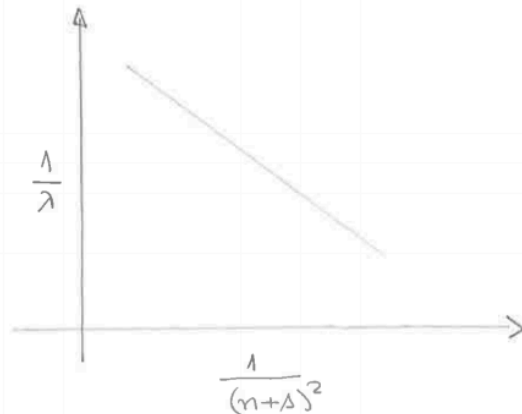


$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R_{Na}}{(3+s)^2} - \frac{R_{Na}}{(n+p)^2}$$

coef angular  $R_{Na}$

coef linear  $\rightarrow s \approx -1,36$

Série  
SHARP



$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R_{Na}}{(3+p)^2} - \frac{R_{Na}}{(n+s)^2}$$

$\rightarrow R_{Na}$

$\rightarrow p \approx -0,89$

Para ambos os experimentos determinar:

$R_H$ ,  $R_{Na}$ ,  $s$ ,  $p$

Potencial de ionização em Volts do H e Na  
ou Energia de ionização em eV do H e Na

Delta lambda ou Delta E para o dubleto do Na

Comparar experimentos e comparar resultados com literatura

Relatório em forma de artigo do Physical Review.

Trabalho individual: Numa folha A4 construa o diagrama dos níveis de energia do Na e H indicando transições observadas no laboratório. Escala 1eV = 2cm