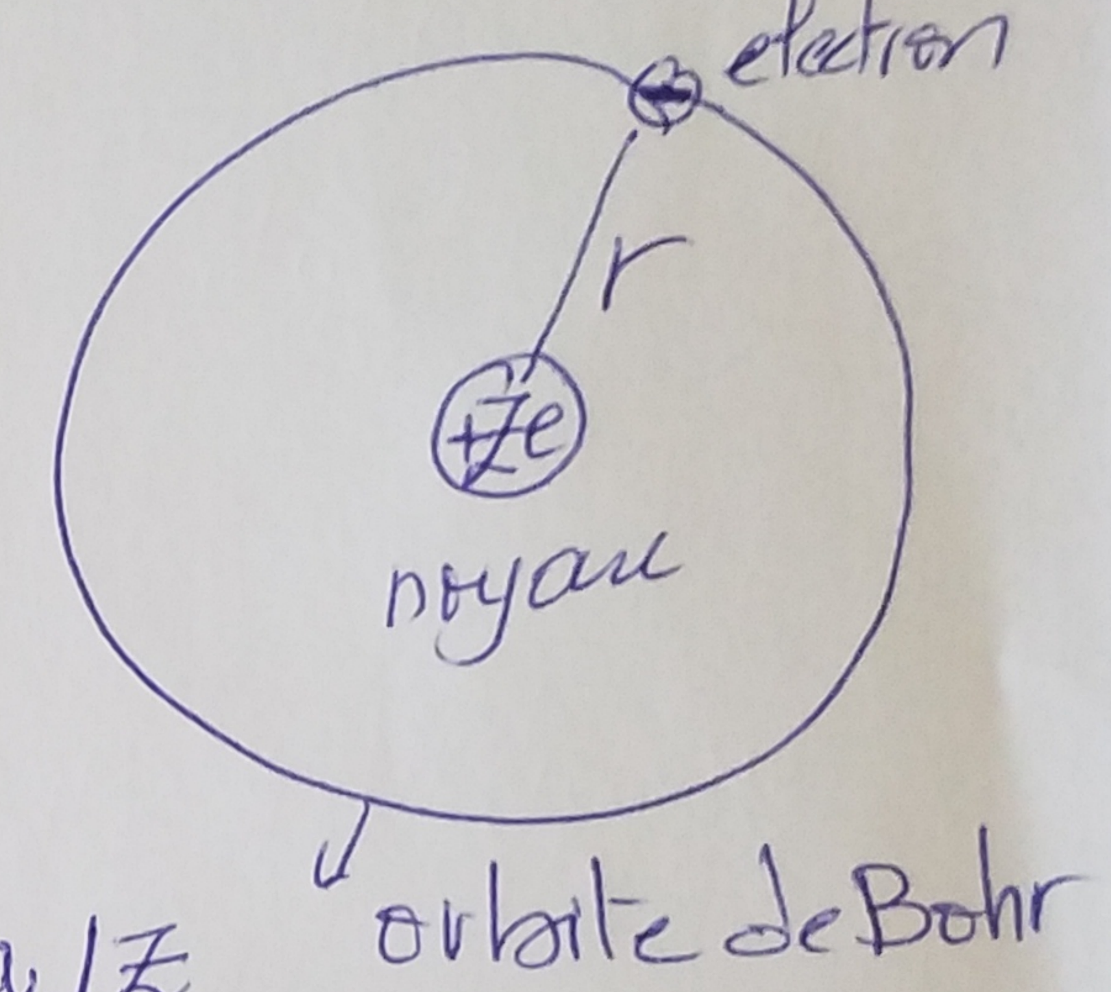
L. MAGHLAOUI

Atome d'hydrogénoïdes : atome de noyau chargé +Ze auquel il ne reste qu'un électron. Un atome d'hydrogénoïdes est donc symbolisé par :

$${}^{Z}_{A}X^{(Z-1)+}$$

L'Hamiltonienne ne diffère de celui de l'atome hydrogène par le terme d'énergie potentielle qui est multiplié par le numéro atomique Z.

$$H = \frac{P^2}{2m} - \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$



On peut montrer que les solutions sont obtenues à partir de celle de l'atome d'hydrogène en remplaçant $r_1 = a_0$ par a_0/Z, on obtient

$$r_n = \underbrace{\frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{me^2}}_{a_0 = r_1} \frac{1}{Z} n^2 = \frac{a_0}{Z} n^2$$

et l'énergie pour l'atome hydrogénoïdes

$$E_n = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r_n} = -\frac{Zme^4}{2(4\pi\varepsilon_0)^2\hbar^2}\frac{1}{n^2}$$

où

$$E_n = -\frac{Z \times 13{,}6}{n^2}$$

• L'energie d'ionisation : est l'energie qu'il faut fournir à l'atome pour séparer completement l'électron du noyau.

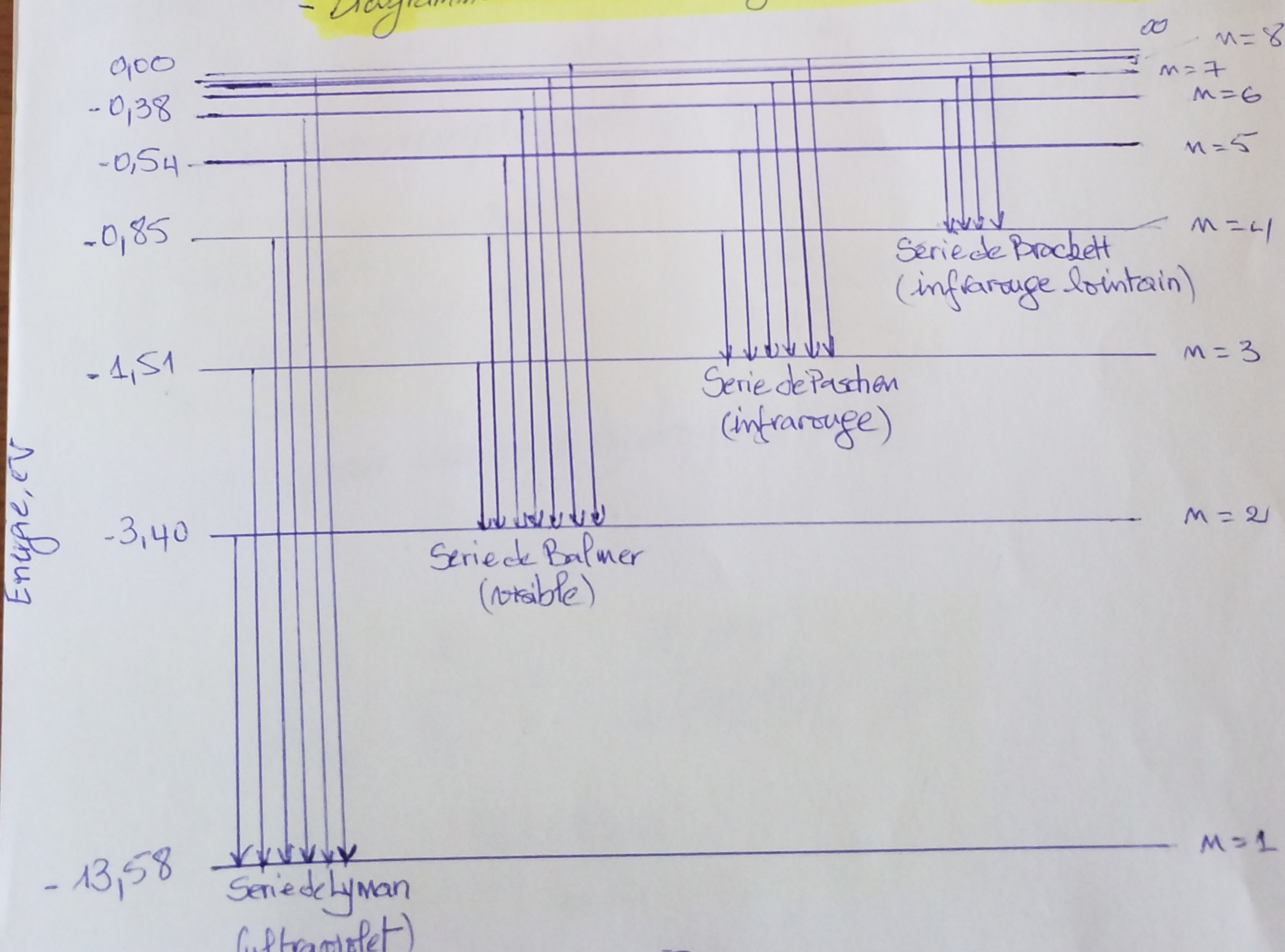
$n = \infty \Rightarrow r = \infty$ $\qquad E_{\infty} - E_1 = h\nu = h R_H c \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty} \right)$

$$E_{\infty} - E_1 = h R_H c$$

Dans le cas de l'hydrogène, cette energie est 13,58 eV.

• Diagramme des niveaux d'energie : les niveaux possibles sont représentés par des lignes horizontales et les transitions par des flèches verticales.

- Diagramme des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène -



L. MAGHLAOUI

Si l'électron passe de l'état stationnaire m à l'état stationnaire n $\Rightarrow \Delta E = h\nu = E_n - E_m$

$$h\nu = \frac{m e^4}{2(4\pi\varepsilon_0)^2 \hbar^2}\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right) \quad (n>m)$$

$$\Rightarrow \boxed{\nu_{m,n} = \frac{m e^4}{h 2(4\pi\varepsilon_0)^2 \hbar^2}\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)} \Big/ \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

d'autre part, on a la relation empirique (Ritz)

$$\boxed{\nu_{mn} = c R_H \left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)}$$

$$\Rightarrow \quad c R_{H(th)} = \frac{m e^4 (2\pi)^2}{2 h^3 (4\pi\varepsilon_0)^2} \Rightarrow R_H = \frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c}$$

A.N: $R_{H(th)} \simeq 109737 \text{ cm}^{-1}$, $R_{H(exp)} \simeq 1{,}097.10^{7} \text{ m}^{-1}$

L'accord quantitatif est bon. On peut faire un terme correctif $\Rightarrow$ l'accord est encore meilleur.

- Energie d'excitation et d'ionisation
- L'énergie d'excitation : est l'énergie nécessaire pour faire passer l'atome de l'état fondamental n = 1 au premier état excité n = 2 : $E_2 - E_1 = 10{,}19 \text{ eV}$

L. MAGHLAOUI

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{m e^2} n^2$$

Il est clair que r_n dépend de la valeur du nombre positif n appelé nombre quantique principal.

Pour $n = 1$, $\Rightarrow r_1 = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{m e^2} = 0{,}53\ \text{Å}$ represente le premier rayon de Bohr pour l'atome d'hydrogène qu'on note $a_0 = 0{,}53\ \text{Å}$.

• L'energie de l'atome hydrogène E_n :

L'électron étant sur l'orbite n. L'energie totale E_n est la somme de l'energie potentielle E_p et de l'energie cinétique E_c, on a

• $E_p = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ (F_e est conservative, donc dérive d'une énergie potentielle $\Rightarrow F_e = -\frac{dE_p}{dr} / E_p(\infty) = 0$)

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \xrightarrow{\text{En utilisant l'eq (2)}} \bullet\ E_c = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

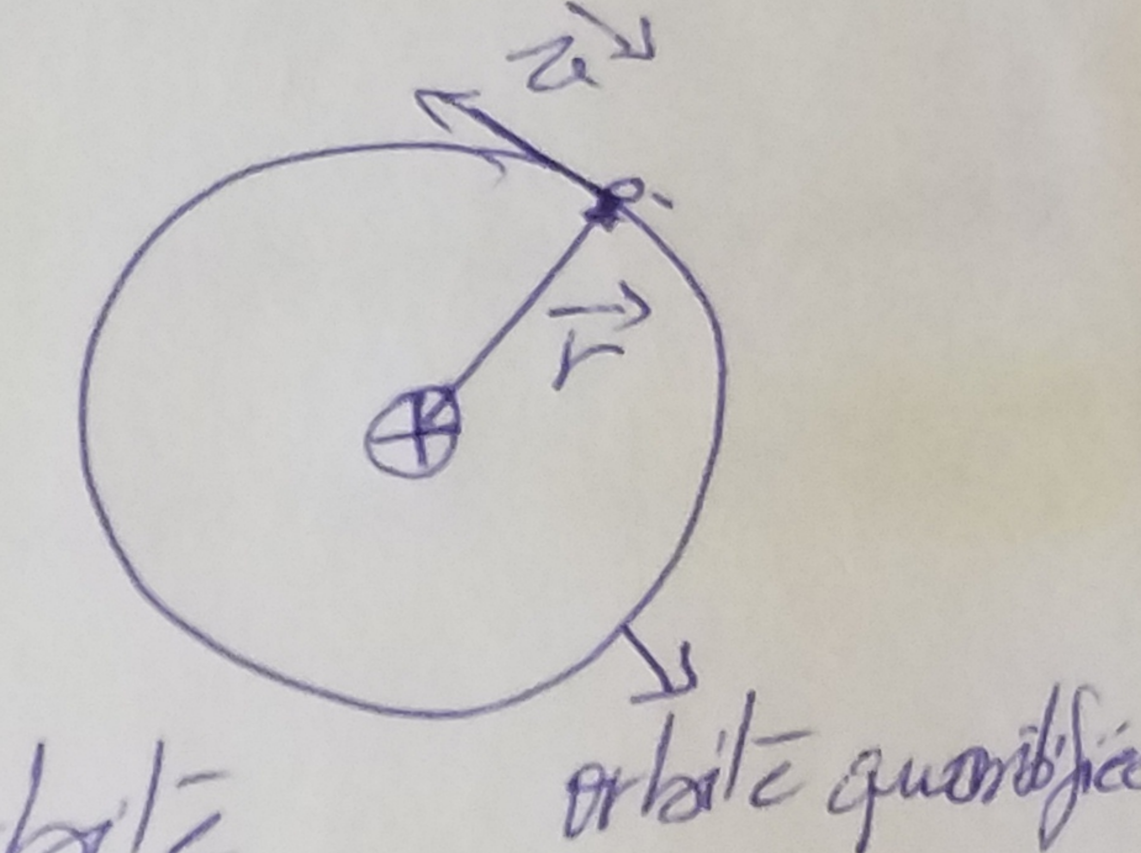
D'après l'energie E_p et E_c, l'energie totale de l'électron sur l'orbite dépend uniquement de n. Elle est donc quantifiée et ne peut prendre que quelques valeurs particulières en accord avec l'expression :

$$E_n = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0} \frac{1}{r_n} = -\frac{m e^4}{2(4\pi\varepsilon_0)^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

Pour $n = 1$, $E_1 = -13{,}6\ eV$ représente l'energie de l'etat fondamental de l'atome d'hydrogène,

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{13{,}6}{n^2}$$

• **Le rayon de Bohr** : Bohr adopta tout d'abord l'hypothèse des orbites circulaires. Il admit que la quantité physique quantifiée est le moment cinétique.

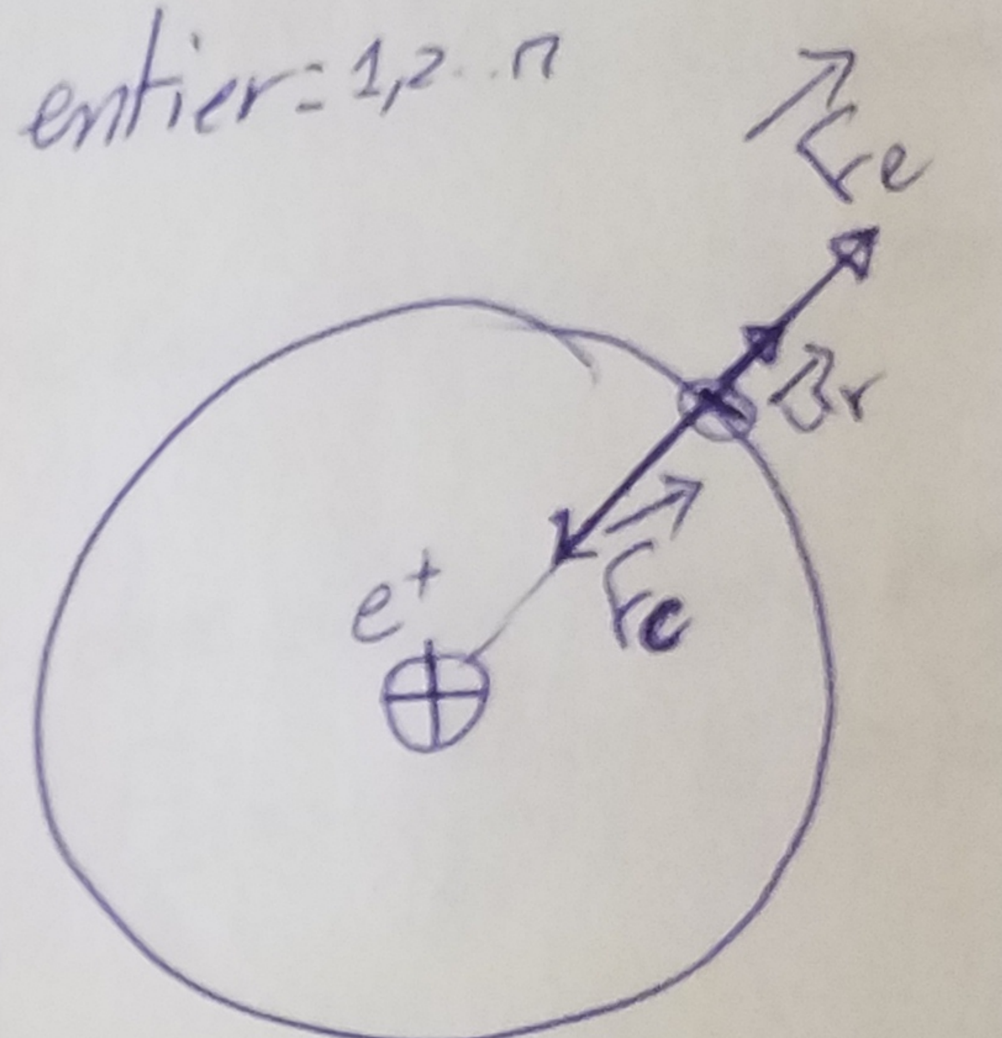


$$\|\vec{L}\| = \|\vec{r} \wedge m\vec{v}\| = n\hbar = n\frac{h}{2\pi}.$$

$\Rightarrow$ $L = mvr = n\hbar$ (1)

m: masse d'électron, r: le rayon de l'orbite

$\vec{v}$: vecteur vitesse de l'électron, n: nombre entier = 1, 2 .. n



Le mouvement circulaire uniforme de l'électron autour du noyau est caractérisé par l'équilibre entre la force électrostatique $\vec{F_e}$ et la force centrifuge $\vec{F_c}$:

$$\vec{F_e} = +\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}\vec{u_r}, \quad \vec{F_c} = -m\frac{v^2}{r}\vec{u_r}$$

$\Rightarrow$ D'après le premier postulat de Bohr, le système est en équilibre : $F_e = F_c \Leftrightarrow \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{\cancel{r^2}} = m\frac{v^2}{\cancel{r}}$ (2)

& D'après la quantification du moment cinétique orbital, on a

$mvr = n\hbar \Rightarrow v = \frac{n\hbar}{mr}$

En remplaçant l'expression de la vitesse dans l'équation (2), on obtient :

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{\cancel{r}} = \cancel{m}\cdot\frac{n^2\hbar^2}{m^{\cancel{2}}\,r^{\cancel{2}}}$$

L. MAGHLAOUI

↳ La Suite du chapitre 3

Atome d'hydrogéne et Atomes d'hydrogenoïdes

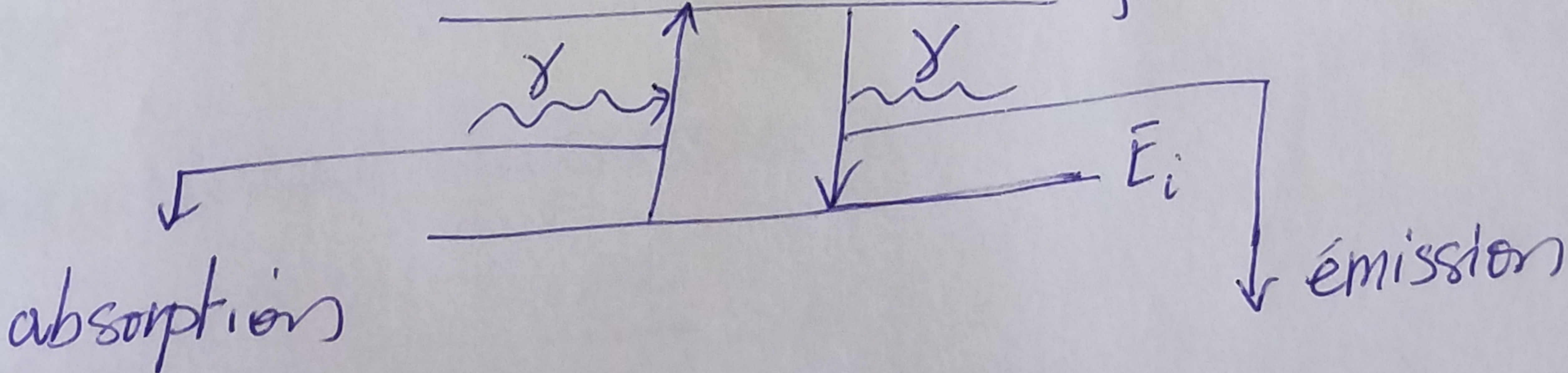
- **Modèle de Bohr (quantification de Bohr) (Atome d'hydrogene)**

Pour expliquer l'existance des spectres discontinue et contourner le probleme de la perte continuelle d'energie de l'electron accéléré. Niels Bohr, en 1913, a développé un modéle atomique basé sur les Postulats suivants:

1. **Postulat: des orbites**: Sans émission de rayonnement, les électrons ne peuvent graviter autour du noyau que sur certaines orbites permises. Ces orbites sont stables c'est à dire l'energie est constante tant que l'electron reste sur une orbite déterminée.

2. **Postulat: émissions et absorptions d'energie**: A chaque orbite permise correspondant ~~en~~ niveau énergétique déterminé. les transitions électroniques d'une orbite vers une autre se font sauts et sont accompagnées de l'émission où de l'absorption d'un photon d'energie:

$$\Delta E = |E_f - E_i| = h\nu$$



le 06/04/2020

Module : physique Atomique (L_2)

chapitre 3 :

Atome d'hydrogène et Atomes d'hydrogèroïdes

L. MAGHLAOUI

Sciences de la Matière

Faculté des Sciences exactes

Université de Constantine 1