

Université L'arbi Ben Mhidi OEB

Année universitaire 2025/2026

Examen : Physique atomique

Durée : 1h30

3^{ème} Année physique Fondamentale

Calculatrice autorisée pendant la durée de l'épreuve. Tout document interdit

Données : $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3,000 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $R_H = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$,
 $m_e = 9.1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $eV = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Exercice 1 :

- 1) Rappeler la définition d'un ion hydrogénoïde ?
- 2) Les ions Li^+ et Be^{3+} sont-ils des hydrogénoïdes ?
- 3) Définir l'énergie d'ionisation ; La calculer pour l'ion Be^{3+} . A quelle longueur d'onde cela correspond-il ?
- 4) Un photon de longueur d'onde $\lambda = 25,64 \text{ nm}$ peut-il être absorbé par un électron se trouvant initialement sur le niveau $n = 2$ de Be^{3+} ? si oui, dans quel état se trouve alors l'ion Be^{3+} ?
- 5) Quelle est l'orbitale atomique associée aux nombres quantiques $n = 2$, $l = 2$ et $m = 0$?
- 6) Un électron ayant les nombres quantiques $n = 4$ et $m = 2$ est forcément un électron d ? vrai ou faux

Exercice 2 : Atomes à plusieurs électrons

On s'intéresse à la configuration C : $5f^2$

- 1) Calculer la dégénérescence de C.
- 2) Les termes spectraux de C.
- 3) Les niveaux d'énergie de C.
- 4) A partir de vos calculs, déterminer le niveau de Hund de C.
- 5) Pouvez-vous prévoir le niveau de Hund de la configuration C' : $5f^{12}$, justifier votre procédure de déduction.

Exercice 3 :

I. Effet Zeeman

On considère la transition $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$ relative à la raie rouge du cadmium d'écart énergétique ΔE . Cette transition est soumise à un champ magnétique faible B selon la direction de l'axe z.

- 1) Calculer les facteurs de Landé $g(^1D_2)$ et $g(^1P_1)$.
- 2) Remplir le tableau ci-dessous en calculant la dégénérescence de chaque niveau, les valeurs possibles du moment magnétique électronique total M_J pour chaque niveau et les énergies Zeeman notées E_z .

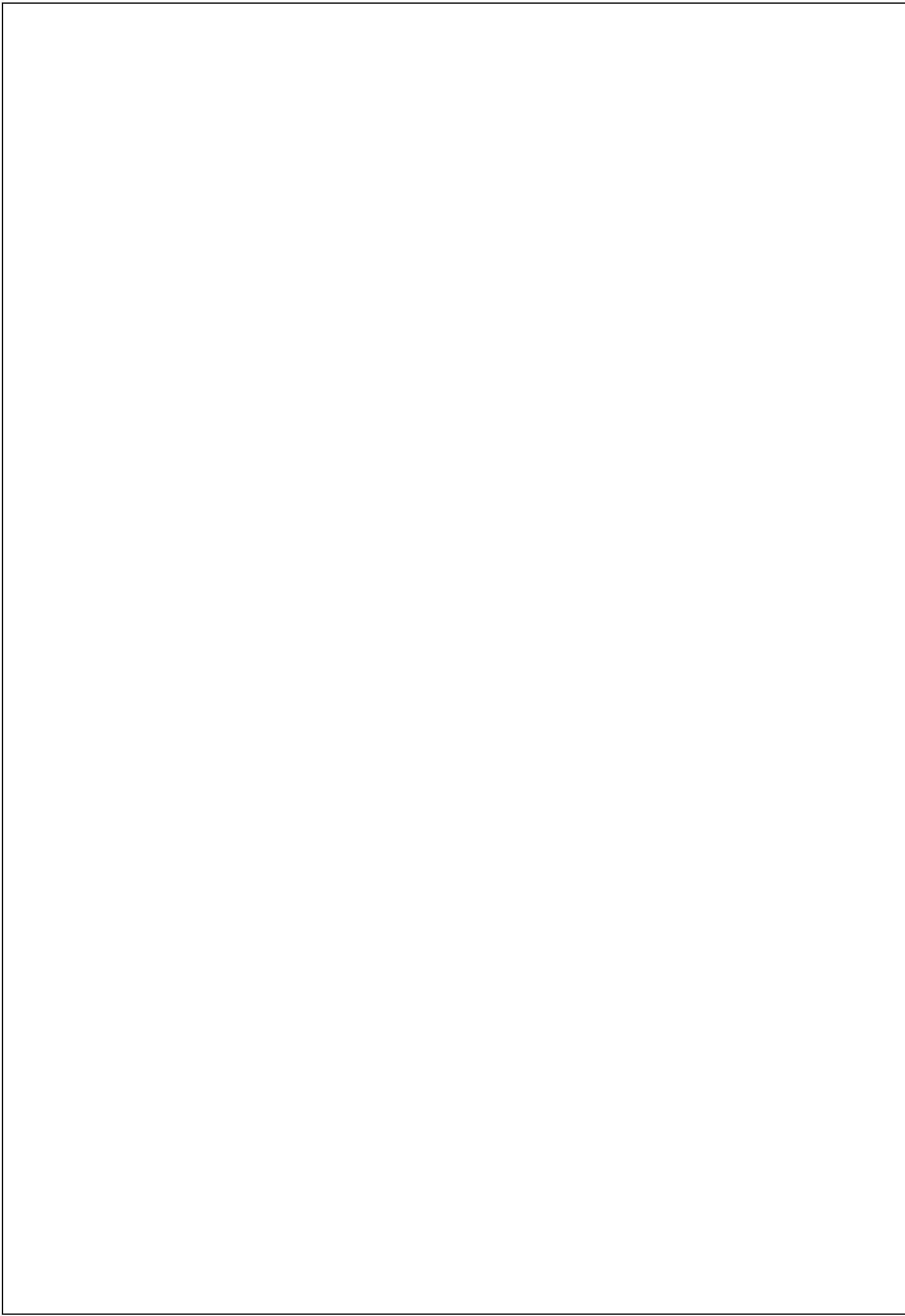
Niveau d'énergie	dégénérescence	M_J	E_z
1D_2			
1P_1			

- 3) Schématiser le diagramme énergétique et déterminer le nombre de raies du type π , σ^+ et σ^- (les règles de sélection sont $\Delta M_J = 0, \pm 1$).

II. Constantes d'écran modèle de Slater

- a. Etablir la configuration électronique du béryllium ($Z = 4$)
- b. En utilisant les règles de Slater, calculer la charge nucléaire Z effective ressentie par un électron de la couche (2s) d'un atome de béryllium.

- 3) En déduire l'énergie d'un électron de la couche (2s) du béryllium.
-



Exercice 1 : (6.5 points)

1/ un ion hydrogénoïde est un monoatomique qui possède 1 seul électron.

2/ Li^+ n'est pas un hydrogénoïde car il possède 2 électrons.

Be^{3+} est un hydrogénoïde car il possède 1 électrons.

3/ L'énergie d'ionisation est l'énergie minimale qu'il faut fournir pour arracher 1 électron à un l'hydrogénoïde dans son état fondamental. Elle est positive.

Pour Be^{3+} :

$$E_n = \frac{Z^2 E_1}{n^2} \text{ avec } E_1 = -13,6 eV$$

$$E_1 = \frac{(4)^2(-13,6)}{1^2} = -217,6 eV = -3,49 \cdot 10^{-17} J$$

$$E_{ion} = E_{\infty} - E_1 = 0 + 3,49 \cdot 10^{-17} = 3,49 \cdot 10^{-17} J$$

$$E_{ion(n=1)} = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_{ion(n=1)}} = 5,7 nm$$

4 / Formule de Ritz-Balmer

$$\frac{1}{\lambda} = R_H Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ avec } n = 2 \rightarrow m = 6$$

l'ion Be^{3+} se trouve à l'état $m = 6$

5/ Impossible car $l \leq n - 1$

6/ Faux, il s'agit d'un électron f

Exercice 2 : (6 points)

On considère la configuration nf^2 .

L'atome possède des électrons équivalents, c'est-à-dire appartenant à la même sous-couche et ayant les mêmes nombres quantiques n et l .

a) La dégénérescence représente le nombre d'états différents correspondants aux 2 électrons.

$$g = \frac{y!}{x!(y-x)!} = \frac{14!}{2!12!} = 91 \text{ états}$$

b) Les termes spectraux sont : ^{2S+1}L avec $|l_1 - l_2| \leq L \leq l_1 + l_2$ et $|s_1 - s_2| \leq S \leq s_1 + s_2$.

On trouve $S=0,1$ et $L=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ Comme les électrons sont équivalents, on tient compte que des termes tels que $L+S=\text{pairs}$.

$$^1S, ^3P, ^1D, ^3F, ^3G, ^3H, ^1I$$

c) Les niveaux d'énergies sont : $^{2S+1}L_J$ avec $|L-S| \leq J \leq |L+S|$.

$$^1S_0, ^3P_{0,1,2}, ^1D_2, ^3F_{2,3,4}, ^3G_4, ^3H_{4,5,6}, ^1I_6$$

Niveau de Hund nf^2 est moins qu'à moitié remplie $2 < \frac{14}{2}$ donc on prend :

$S_{\max}$, $L_{\max}$ est le $J_{\min}$, le niveau de Hund est 3H_4

Correction de l'examen : physique atomique 2025-2026

d) nf^2 est la sous couche complémentaire de $nf^{12} \rightarrow$ même dégénérescence et par la suite les mêmes états spectraux et les mêmes niveaux d'énergies mais pas le niveau de Hund car $12 > \frac{14}{2}$ donc on prend le $J_{\max}$: 3H_6

Exercice 3 :

I. Effet Zeeman (5.5 points)

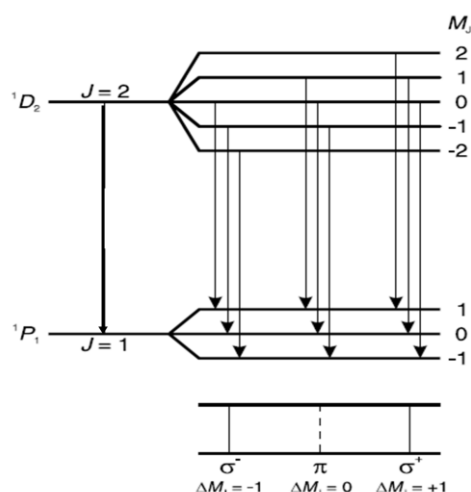
$$1/g = \left(\frac{3}{2} + \frac{s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \right)$$

$$g(^1D_2) = g(^1P_1) = 1$$

2/la dégénérescence est égale à $2J+1$; $-J \leq M_J \leq +J$ et $E_z = \mu_B B_z g M_J$

Niveau d'énergie	dégénérescence	M_J	E_z
1D_2	5	+2 +1 0 -1 -2	$+2 \mu_B B_z$ $+ \mu_B B_z$ 0 $- \mu_B B_z$ $-2 \mu_B B_z$
1P_1	3	+1 ; 0 ; -1	$+ \mu_B B_z$; 0 ; $- \mu_B B_z$

3/



Le diagramme montre 3 raies π , 3 raies σ^+ et 3 raies σ^- donc 9 raies au total.

II. Constante d'écran : (2 points)

1. la configuration de Be^4 : $1S^2 2S^2$

Correction de l'examen : physique atomique 2025-2026

2. La charge effective $Z^* \rightarrow Z^* = Z - \sigma$

Pour l'électron de la couche 2S $\sigma = 1 * 0.35 = 0.35$

Pour les deux électrons de la couche 1S $\sigma = 2 * 0.85 = 1.70$

$$\sigma_T = 0.35 + 1.70 = 2.05 \Rightarrow Z^* = 4 - 2.05 = 1.95$$

3. L'énergie d'un électron de la couche (2S):

$$E_n = \frac{(Z^*)^2 E_1}{n^2} = \frac{(1.95)^2 (-13.6)}{2^4} = -12.9285 \text{ eV}$$

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--	--	--	--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--	--	--	--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--