أجب على جميع الأسئلة الآتية:

السؤال الأول: (23 درجة)

يظهر في طيف الهيدروجين الذري خطاً طيفياً يعود لسلسلة ليمان عند طول الموجة $1025.74\,\text{A}^\circ$. إذا علمت أن $R_H = 109677\,\text{cm}^{-1}$، أوجد: 1- العدد الكوانتي الرئيسي الموافق للسوية التي يحصل منها هذا الانتقال؛ 2- العدد الموجي وطول موجة الخط الذي يليه في السلسلة نفسها؛ 3- طاقة السويتين الثانية والثالثة مقدرةً بواحدات الإلكترون فولط؛ ونصف قطر المدار الدائري الثالث في ذرة الهيدروجين $H(Z=1)$، $a_0 = 0.529\,\text{A}^\circ$؛ 4- الجهد اللازم لإثارة خط بالمر الأول في الهيدروجين؛ 5- الجهد اللازم لتأيين ذرة الهيدروجين من السوية $n=3$؛ 6- طاقة تأين الذرة من الحالة الأساسية مقدَّرةً بوحدات eV.

الحل: 1- تخضع خطوط الهيدروجين جميعاً لعلاقة رايدبرغ التالية:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$ **(2 Marks)**

نجد العدد الموجي للخط الطيفي:

$$\lambda = 1025.74\,\text{A}^\circ \Rightarrow \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1025.74 \times 10^{-8}} = 97490.6\,\text{cm}^{-1}$$ **(1 Mark)**

توافق سلسلة ليمان $n_1 = 1$:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H Z^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \Rightarrow 97490.6 = 109677(1)^2 \left(1 - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$97490.6 = 109677 - \frac{109677}{n_2^2} \Rightarrow 97490.6 - 109677 = -\frac{109677}{n_2^2}$$

$$\frac{109677}{n_2^2} = 12186.4 \Rightarrow n_2^2 = \frac{109677}{12186.4} \cong 9 \Rightarrow n_2 = 3$$ **(3 Marks)**

وهو الخط الثاني في سلسلة ليمان.

2- يمتلك الخط الذي يليه في سلسلة ليمان العدد $n_2 = 4$ ويحصل عند:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = 109677 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 102822.19\,\text{cm}^{-1}$$ **(2 Marks)**

$$\lambda = \frac{1}{102822.19} = 9.7255 \times 10^{-6}\,\text{cm} = 97.255\,\text{nm}$$ **(1 Mark)**

3- طاقة السويتين الثانية والثالثة:

CamScanner

$$E = -13.6\frac{Z^2}{n^2}(\text{eV})$$ **(4 Marks)**

$$E_2 = -13.6\frac{1^2}{2^2} = -3.4\,\text{eV}, E_1 = -13.6\frac{1^2}{3^2} = -1.51\,\text{eV}$$

نصف قطر المدار الدائري الثالث:

$$r_n = a_0\frac{n^2}{Z} \Rightarrow r_3 = 0.529\frac{3^2}{1} = 4.76\text{A}^\circ$$ **(3 Marks)**

4- الجهد اللازم لإثارة خط بالمر الأول هو نفسه الجهد اللازم لإثارة خط ليمان الثاني في الهيدروجين:

الجهد اللازم لإثارة الخط الثاني في سلسلة ليمان:

$$U\,(\text{V}) = \frac{12375}{\lambda_{L_\beta}(\text{A}^\circ)} = \frac{12375}{1025.74} = 12.06\,\text{V}$$ **(3 Marks)**

5- جهد تأين الهيدروجين من السوية $n = 3$ يساوي عددياً طاقة السوية نفسها مقدّرةً بالإلكترون فولط:

$$E_n = -13.6Z^2/n^2 = -13.6(1)^2/(3)^2 = 1.51\text{eV} \Rightarrow U_3 = 1.51\text{V}$$ **(2 Marks)**

6- طاقة التأين تساوي عددياً طاقة السوية الأولى مقدرةً بواحدات الإلكترون فولط، أي:

$$E_1 = -13.6\frac{Z^2}{n^2}\text{eV} \Rightarrow E = -13.6\frac{1^2}{1^2} = -13.6\text{eV} \Rightarrow E = 13.6\text{J}$$ **(2 Marks)**

CamScanner

السؤال الثاني: (28 درجة)

يمتلك الكالسيوم التشكيل الإلكتروني: $Ca:[Ar]4s^2$. أوجد: 1- الحد الذري للحالة الأساسية؛ 2- الحدود الناجمة عن إثارة واحد من الإلكترونات الخارجية إلى الطبقة الفرعية الفارغة $3d$؛ 3- الحدود الناجمة عن الإثارة ضمن الطبقة $n=4$؛ 4- ارسم مخطط سويات الطاقة، وحدّد الانتقالات المسموحة بين الحدود الذرية التي حصلت عليها، استناداً إلى قواعد الاصطفاء، دون الأخذ بالحسبان البنية الدقيقة.

الحل: 1- وفقاً لمبدأ باولي تمتلك إلكترونات الطبقة الفرعية $4s^2$ الأعداد الكوانتية المغنطيسية السبينية:

$M_{s_{max}}=0\Rightarrow S=0$ $\qquad$ $M_{s_{max}}=(+1/2)+(-1/2)=0$ $\qquad$ (3 Marks)

أما الأعداد الكوانتية المدارية فهي:

$M_{\ell_{max}}=0\Rightarrow L=0$ $\qquad$ $M_{m_{\ell max}}=0+0=0$ $\qquad$ (3 Marks)

$S=0,L=0\Rightarrow J=0,2S+1=1\Rightarrow {}^1S_0$ $\qquad$ (3 Marks)

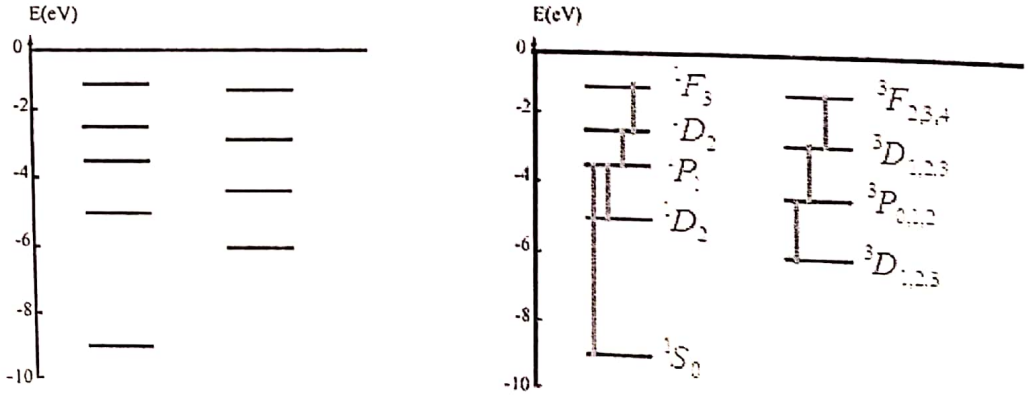
وهو الحد الذري في الحالة الأساسية.

2- و3- الحدود الناجمة عن إثارة واحد من الإلكترونات $4s^2$ إلى الطبقة $3d$ و الطبقة $n=4$: (8)

التشكيل	m_{s_1}	m_{s_2}	ℓ_1	ℓ_2	L	S	J	$2S+1$	الحد الذري
$4s\,3d$	$+1/2$	$-1/2$	0	2	2	0	2	1	${}^1D_2$
	$+1/2$	$+1/2$			2	1	1,2,3	3	${}^3D_{1,2,3}$
$4s\,4p$	$+1/2$	$-1/2$	0	1	1	0	1	1	${}^1P_1$
	$+1/2$	$+1/2$			1	1	0,1,2	3	${}^3P_{0,1,2}$
$4s\,4d$	$+1/2$	$-1/2$	0	2	2	0	2	1	${}^1D_2$
	$+1/2$	$+1/2$			2	1	1,2,3	3	${}^3D_{1,2,3}$
$4s\,4f$	$+1/2$	$-1/2$	0	3	3	0	3	1	${}^1F_3$
	$+1/2$	$+1/2$			3	1	2,3,4	3	${}^3F_{2,3,4}$

4- مخطط سويات الطاقة والانتقالات المسموحة:

قواعد الاصطفاء: $\Delta L=\pm1,\Delta S=0,\Delta J=0,\pm1(J_1=0\not\leftrightarrow J_2=0)$ (3 Marks)



المخطط والانتقالات (8 Marks)

السؤال الثالث: (14 درجة)

يعطي أحد التشكيلات الإلكترونية المثارة في ذرة الحدود الذرية ^4P. حدّد ما هي الحدود الأخفض طاقة، استناداً إلى التزاوج السبيني المداري (الانشطار الناجم عن البنية الدقيقة)، واحسب قيمة الفواصل الطاقية بين السويات الناتجة مع الرسم.

الحل:

$^4P: 2S+1=4 \Rightarrow S=3/2, L=1, J=1/2,3/2,5/2 \Rightarrow {}^4P_{1/2}, {}^4P_{3/2}, {}^4P_{5/2}$ **(2 Marks)**

التزاوج السبيني المداري (الانشطار الناجم عن البنية الدقيقة) يتحدد بالعلاقة:

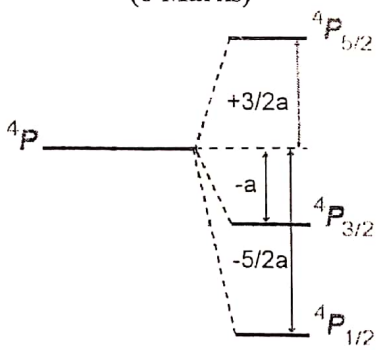
$$E_{n,L,J} = E_n + \frac{a}{2}[J(J+1) - L(L+1) - S(S+1)]$$ **(3 Marks)**

$$^4P_{1/2} \rightarrow E_{n,L,J} = E_n + \frac{a}{2}[\tfrac{1}{2}(\tfrac{1}{2}+1) - 1(1+1) - \tfrac{3}{2}(\tfrac{3}{2}+1)] = E_n + \frac{a}{2}[-6] = E_n - \tfrac{5}{2}a$$

$$^4P_{3/2} \rightarrow E_{n,L,J} = E_n + \frac{a}{2}[\tfrac{3}{2}(\tfrac{3}{2}+1) - 1(1+1) - \tfrac{3}{2}(\tfrac{3}{2}+1)] = E_n + \frac{a}{2}[-6] = E_n - a$$

$$^4P_{5/2} \rightarrow E_{n,L,J} = E_n + \frac{a}{2}[\tfrac{5}{2}(\tfrac{5}{2}+1) - 1(1+1) - \tfrac{3}{2}(\tfrac{3}{2}+1)] = E_n + \frac{a}{2}[-6] = E_n + \tfrac{3}{2}a$$

(6 Marks)



(3 Marks)

السؤال الرابع: (18 درجة)

تُصدر ذرة خطاً طيفياً ينجم عن الانتقال $^3D_1 \rightarrow {}^3P_2$. ادرس موضحاً بالرسم كيف تنشطر سويات الطاقة، وماذا يحصل للخط الطيفي وفقاً لمفعول زيمان، عند تطبيق مجال مغنطيسي ضعيف على هذه الذرة، مبيناً عدد المركبات الحاصلة مع الرسم وقيمة معامل لانده، والانتقالات المسموحة بين السويات المنشطرة.

الحل: معامل لانده:

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$$ **(2 Marks)**

$$^3D_1 : 2S+1 = 3 \Rightarrow S = 1, L = 2, J = 1$$

$$g_J = 1 + \frac{1(1+1) - 2(2+1) + 1(1+1)}{2(1)(1+1)} = 1 + \frac{-2}{4} = \frac{1}{2}$$

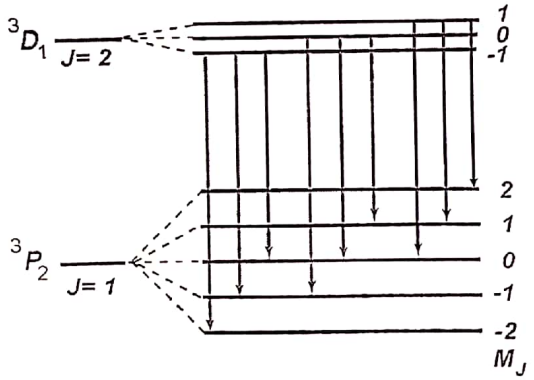
$$M_J = -1, 0, +1 \qquad g_J = \frac{1}{2}$$ **(3 Marks)**

$$^3P_2 : 2S+1 = 3 \Rightarrow S = 1, L = 1, J = 2$$

$$g_J = 1 + \frac{2(2+1) - 1(1+1) + 1(1+1)}{2(2)(2+1)} = 1 + \frac{6}{12} = \frac{3}{2}$$

$$M_J = -2, -1, 0, +1, +2 \qquad g_J = \frac{3}{2}$$ **(3 Marks)**

قواعد الاصطفاء والرسم: $\Delta M_J = 0, \pm 1 (J = 0 \not\leftrightarrow J = 0)$ **(4 Marks)**



(4 Marks)

السؤال الخامس: (17 درجة)

يُعَد جزيء $^{1}H^{81}Br$ دواراً صلباً يقوم باهتزازات توافقية، كتلة ذرتيه $m_H = 1.0078u$ و $m_{Br} = 80.9163u$، والمطلوب:

1- إذا كان العدد الموجي للانتقال الدوراني $J = 2 \leftarrow 1$ هو $33.88 cm^{-1}$، احسب كل من عزم عطالة الجزيء، وطول الرابطة، وقيمة الثابتة الدورانية.

2- إذا كان العدد الموجي الاهتزازي الأساسي يساوي $2988.9 cm^{-1}$، احسب ثابت قوة الرابطة.

الحل: 1- يرتبط العدد الموجي للانتقال بثابتة الدوران بالعلاقة التالية:

$$hc\tilde{\nu} = \Delta E = hc\Delta F = hcB[J(J+1) - (J-1)J] = 2hcBJ \Rightarrow \tilde{\nu} = 2BJ$$ **(2 Marks)**

حيث يعود العدد الكوانتي J هنا إلى الحالة الدورانية الأعلى، أي $J = 2$.

تعطى ثابتة الدوران بدلالة متحولات البنية الجزيئية بالعلاقة التالية: $B = \frac{\hbar}{4\pi cI}$ **(2 Marks)**

بالتعويض عن ذلك، نجد:

$$\tilde{\nu} = 2BJ = \frac{\hbar J}{2\pi cI} \Rightarrow I = \frac{\hbar J}{2\pi c\tilde{\nu}} = \frac{1.06\times10^{-34}\times 2}{2\pi\times 3\times10^{10}\times 33.88}$$
$$= 3.323\times10^{-47}\ kg\cdot m^2$$ **(2 Marks)**

نجد الكتلة الفعّالة ونعوض في علاقة عزم عطالة الجزيء:

$$m_{eff} = \frac{m_H m_{Br}}{m_H + m_{Br}} = \frac{1.0078\times80.9163}{1.0078+80.9163}\times1.67\times10^{-27} = 1.66\times10^{-27}\ kg$$ **(2 Marks)**

$$I = m_{eff}R^2 \Rightarrow R = \left(\frac{I}{m_{eff}}\right)^{1/2} = \left(\frac{3.323\times10^{-47}}{1.66\times10^{-27}}\right)^{1/2}$$ **(2 Marks)**
$$= 1.415\times10^{-10}\ m = 141.5\ pm$$

أما ثابتة الدوران فهي:

$$B = \frac{\hbar}{4\pi cI} = \frac{1.06\times10^{-34}}{4\pi\times3\times10^{10}\times3.323\times10^{-47}} = 8.47\ cm^{-1}$$ **(2 Marks)**

2- نجد ثابت قوة الرابطة استناداً إلى العلاقة التالية:

$$\omega = (k/m_{eff})^{1/2} \Rightarrow 2\pi\nu = 2\pi c\tilde{\nu} = (k/m_{eff})^{1/2} \Rightarrow$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{2\pi c}\left(\frac{k}{m_{eff}}\right)^{1/2} \Rightarrow k = (2\pi c)^2\tilde{\nu}^2 m_{eff}$$ **(2 Marks)**

نعوض عن المعطيات، نجد:

$$k = (2\pi\times3\times10^{10})^2\times(2988.9)^2\times1.66\times10^{-27} = 526.37\ N\cdot m^{-1}$$ **(3 Marks)**

د. عصام نوار البخلهي

مع التمنيات بالنجاح

CamScanner