

PHYSQ 271 LEC B1 - Introduction à la physique moderne

Examen partiel 2

Nom _____ **SOLUTIONS** _____

Numéro d'étudiant.e _____

Professeur Marc de Montigny
Horaire Mardi, 9 mars 2010, de 15h00 à 16h30
Lieu Pavillon McMahon, local 260

Instructions

- Ce cahier contient **8 pages**. Écrivez-y directement vos réponses.
- L'examen vaut **20%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **9 questions** à réponse courte et **4 problèmes**. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est erronée. Expliquez de façon claire et précise, et encadrez votre réponse finale.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez préparé. Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs. Vous pouvez détacher le tableau périodique qui est en page 8.
- Matériel permis: crayon ou stylo, calculatrice (programmable et graphique permise). Les assistants numériques (*PDA*s) sont interdits.
- Mettez votre téléphone cellulaire hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à le demander !

Question 1. Nombre d'Avogadro [0.3 point]

Quelle est la masse, en grammes, de 1 mole de sodium, Na? (Tableau périodique à la fin de ce cahier.)

22.99 g ou 23 g

Question 2. Nombre d'Avogadro [0.9 point]

Combien y a-t-il d'atomes de carbone, C, dans 1 gramme de glucose, $C_6H_{12}O_6$? (Tableau périodique à la fin de ce cahier.)

$$\frac{1 \text{ g}}{180 \text{ g/mole}} \times \left(6.022 \times 10^{23} \frac{\text{molecules}}{\text{mole}} \right) \times \frac{6 \text{ atomes C}}{\text{molecule}} = 2 \times 10^{22} \text{ atomes C}$$

Question 3. Radiation du corps noir [0.5 point]

Tous les objets de température non-nulle (en degrés kelvin) émettent de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Pourquoi alors l'oeil humain ne peut-il pas voir tous les objets qui se trouvent dans une salle sombre? Après tout, ils sont à la température de la salle.

La longueur d'onde de ces objets est beaucoup plus grande que la longueur d'onde de la lumière visible.

Question 4. Radiation du corps noir [0.8 point]

Bételgeuse est une étoile de la constellation d'Orion, et sa longueur d'onde λ_{pic} est égale à 970 nm. Quelle est la température à sa surface?

$$T = \frac{f_{pic}}{5.88 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}\text{K}^{-1}} = \frac{c / \lambda_{pic}}{5.88 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}\text{K}^{-1}} = 5260 \text{ °K}$$

Question 5. Photons [0.6 point]

La plupart des métaux ont une fréquence de coupure (c.-à-d. fréquence minimale de photoémission) égale à celle des photons dans le visible ($400 < \lambda < 700 \text{ nm}$). Ainsi, serait-il possible d'éjecter des photoélectrons d'un métal ordinaire en utilisant des ondes radio ($0.3 < \lambda < 300 \text{ m}$)? Expliquez brièvement.

Non, car leur énergie est trop petite.

Question 6. Atome de Bohr [0.5 point]

Est-ce qu'un atome doit être ionisé (c.-à-d. perdre un électron, qui "monte" au niveau $n \rightarrow \infty$) afin d'émettre de la lumière? Expliquez brièvement.

Non, il suffit qu'un électron passe à un niveau supérieur (sans être $n \rightarrow \infty$) pour émettre des photons en sautant ensuite à un niveau plus bas.

Question 7. Atome de Bohr et lignes spectrales [0.7 point]

Combien de niveaux quantiques d'énergie sont requis pour générer les lignes du spectre d'émission ci-dessous?



Chaque ligne correspond à une paire de niveaux. On a donc **4 niveaux**, avec les 6 transitions/lignes: 12, 13, 14, 23, 24, 34

Question 8. Atomes hydrogéoïdes [0.7 point]

Quelle est l'énergie, en eV, du niveau $n = 3$ d'un atome hydrogéoïde de calcium, Ca^{19+} , ionisé 19 fois (c.-à-d. 19 de ses 20 électrons ont été retirés)? (Tableau périodique à la fin de ce cahier.)

$$E_n = -\frac{Z^2 E_R}{n^2} = -\frac{(20)^2 (13.6)}{3^2} = -604 \text{ eV}$$

Question 9. Masse réduite [1.0 point]

L'énergie de Rydberg (c.-à-d. la grandeur de l'énergie du niveau fondamental) de l'hydrogène est donnée par

$$E_R = \frac{m_e (ke^2)^2}{2\hbar^2} = 13.60569172 \text{ eV}$$

avec le modèle où le noyau (proton) est fixe. Si on tient compte de la masse finie du proton ($938.271998 \text{ MeV}/c^2$) et de son mouvement, il faut remplacer la masse de l'électron ($0.510998902 \text{ MeV}/c^2$), ci-dessus, par sa *masse réduite*. Que devient alors la valeur de E_R avec 7 chiffres significatifs?

$$\text{Masse réduite: } \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0.510998902} + \frac{1}{938.271998} \Rightarrow \mu = 0.5107207548 \text{ MeV}/c^2$$

$$E_R^{(\mu)} = \frac{\mu (ke^2)^2}{2\hbar^2} = \frac{\mu}{m_e} \frac{m_e (ke^2)^2}{2\hbar^2} = \frac{0.5107207548}{0.510998902} 13.60569172 \approx 13.59829 \text{ eV}$$

Problème 1. Effet photoélectrique et spectre atomique [4.5 points]

L'électron d'un atome d'hydrogène saute du niveau n_i au niveau n_f ($n_f < n_i$, figure ci-dessous), émettant ainsi des photons qui frappent une surface de tungstène, de sorte que des photoélectrons sont émis. Le but de ce problème est de déterminer les valeurs de n_i et n_f . Vos résultats de la partie A vous seront utiles pour la suite.

- A. Quelles sont les énergies des cinq premiers niveaux de l'atome d'hydrogène, en eV? (N'utilisez pas la masse réduite) **[1.0 point]**
- B. Sachant que les photons émis par l'atome ont assez d'énergie pour extraire des photoélectrons du tungstène ($\phi = 4.58$ eV), quel est n_f ? **[1.0 point]**
- C. La mesure du potentiel d'arrêt, ΔV_s , permet de calculer K_{\max} ($= e\Delta V_s$). Sachant qu'un potentiel de $\Delta V_s = 7.51$ volts est requis pour empêcher les photoélectrons d'atteindre l'anode, quel est n_i ? **[2.0 points]**
- D. Quelle est la longueur d'onde du photon incident sur la plaque de tungstène? **[0.5 point]**

Solution

A.	n	$-E_R/n^2$
	1	-13.6 eV
	2	-3.4 eV
	3	-1.51 eV
	4	-0.85 eV
	5	-0.544 eV

B. $n_f = 1$ Car pour extraire des photoélectrons, il faut au moins $\phi = 4.58$ eV, et seulement le niveau $n = 1$ permet cette possibilité.

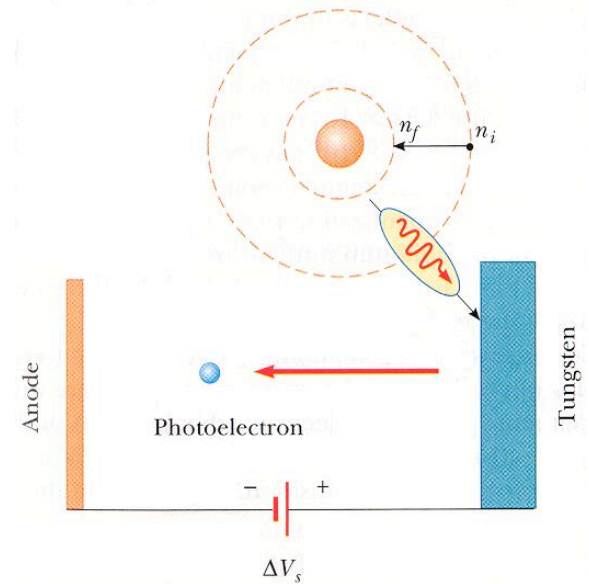
C. Photon émis par l'atome: $hf = E_i - E_f$

Énergie des photoélectrons: $K_{\max} (= e\Delta V_s) = hf - \phi$

Ces deux équations nous donnent $E_i = E_f + K_{\max} + \phi = -13.6 + 7.51 + 4.58 = -1.51$ eV

Il s'agit donc du niveau $n_i = 3$.

D. $\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{K_{\max} + \phi} = \frac{1240}{7.51 + 4.58} = 103$ nm



Problème 2. Effet Compton [3.5 points]

Un photon dont l'énergie est égale à 300 keV frappe un électron et subit la diffusion de Compton. (Donnez chaque réponse avec une précision raisonnable, mais gardez toute la précision de votre calculatrice pour les calculs subséquents.)

- A. Quelle est la longueur d'onde initiale du photon ? **[0.5 point]**
- B. Quelle est la longueur d'onde de Compton, $\lambda_C = \frac{h}{m_e c}$, de l'électron ? **[0.5 point]**
- C. Si la trajectoire du photon est déviée de 37° , de quelle quantité, $\Delta\lambda$, sa longueur d'onde change-t-elle? **[1.0 point]**
- D. Quelle est la longueur d'onde finale du photon ? **[1.0 point]**
- E. Quelle est l'énergie finale du photon, en eV ? **[0.5 point]**

Solution

A. $\lambda_0 = \frac{hc}{E} = \frac{1240}{3 \times 10^5} \cong 4.13 \times 10^{-3} \text{ nm}$

B. $\lambda_C = \frac{hc}{m_e c^2} = \frac{1240}{5.11 \times 10^5} \cong 2.43 \times 10^{-3} \text{ nm}$

C. $\Delta\lambda = \lambda_C(1 - \cos\theta) \cong 4.89 \times 10^{-4} \text{ nm}$

D. $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cong 4.62 \times 10^{-3} \text{ nm}$

E. $E = \frac{hc}{\lambda} \cong 268 \text{ keV}$

Problème 3. Atomes hydrogénéoïdes [3.5 points]

Un électron se trouve dans un atome de titanium, Ti^{21+} , qui a été ionisé 21 fois (c.-à-d. on a retiré 21 électrons de l'atome initialement neutre). Tableau périodique à la fin de ce cahier. N'utilisez *pas* la masse réduite.

- A. Quelles sont les énergies des niveaux $n = 1$ et 2 ? [1.0 point]
B. Quel est le rayon de l'orbite du niveau $n = 3$? [1.0 point]
C. Quel est le moment cinétique de l'électron sur l'orbite $n = 3$? [1.0 point]
D. Quelle est la longueur d'onde du photon émis lors de la transition du niveau $n = 2$ au niveau $n = 1$? [0.5 point]

Solution

A. $Z = 22, E_n = -13.6 \frac{Z^2}{n^2}$ $E_1 = -6580 \text{ eV}, E_2 = -1650 \text{ eV}$

B. $r_n = \frac{n^2 a_0}{Z} = \frac{(3^2)(0.0529)}{22} \cong 0.022 \text{ nm}$

C. $L_3 = n\hbar = 3\hbar \cong 1.98 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

D. $\lambda = \frac{hc}{E_{\text{photon}}} = \frac{hc}{E_2 - E_1} \cong 0.251 \text{ nm}$

Problème 4. Spectre des rayons X [2.5 points]

Nous avons vu que la famille M des rayons X est générée lorsque des photons sont émis, suite à une transition de l'électron d'une orbite $n > 3$ à l'orbite $n = 3$. Considérez les rayons X formés par la collision avec un échantillon de plutonium, Pu. (Tableau périodique à la fin de ce cahier). N'utilisez *pas* la masse réduite.

- A. Quelles sont les énergies des photons M_α , M_β , M_γ du plutonium ? **[1.5 points]**
B. Quelles sont les longueurs d'onde de ces trois lignes ? **[1.0 point]**

Solution

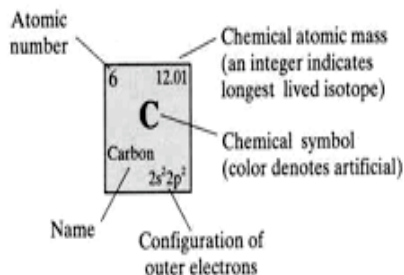
A. $E_n = -\frac{Z^2 E_R}{n^2}$ donne $E_{\text{photon}} = Z^2 E_R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ où on prend $n' = 3$ et $Z = 94$. (À cause de la relation impliquant $Z - \delta$, on aurait aussi accepté $Z = 93$, si votre solution mentionne que $\delta = 1$.)

Avec $n = 4$, on a $M_\alpha = 5840 \text{ eV}$; $n = 5$ donne $M_\beta = 8545 \text{ eV}$, et $n = 6$, $M_\gamma = 10010 \text{ eV}$

B. $\lambda = \frac{hc}{E_{\text{photon}}}$ donne $\lambda_\alpha = 0.212 \text{ nm}$, $\lambda_\beta = 0.145 \text{ nm}$, et $\lambda_\gamma = 0.124 \text{ nm}$.

THE PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

KEY



1 1.01 H Hydrogen $1s^1$																	2 4.00 He Helium $1s^2$						
3 6.94 Li Lithium $2s^1$	4 9.01 Be Beryllium $2s^2$																	5 10.81 B Boron $2s^2 2p^1$	6 12.01 C Carbon $2s^2 2p^2$	7 14.01 N Nitrogen $2s^2 2p^3$	8 16.00 O Oxygen $2s^2 2p^4$	9 19.00 F Fluorine $2s^2 2p^5$	10 20.18 Ne Neon $2s^2 2p^6$
11 22.99 Na Sodium $3s^1$	12 24.31 Mg Magnesium $3s^2$																	13 26.98 Al Aluminum $3s^2 3p^1$	14 28.09 Si Silicon $3s^2 3p^2$	15 30.97 P Phosphorus $3s^2 3p^3$	16 32.06 S Sulfur $3s^2 3p^4$	17 35.45 Cl Chlorine $3s^2 3p^5$	18 39.95 Ar Argon $3s^2 3p^6$
19 39.10 K Potassium $4s^1$	20 40.08 Ca Calcium $4s^2$	21 44.96 Sc Scandium $3d^1 4s^2$	22 47.90 Ti Titanium $3d^2 4s^2$	23 50.94 V Vanadium $3d^3 4s^2$	24 52.00 Cr Chromium $3d^5 4s^1$	25 54.94 Mn Manganese $3d^5 4s^2$	26 55.85 Fe Iron $3d^6 4s^2$	27 58.93 Co Cobalt $3d^7 4s^2$	28 58.70 Ni Nickel $3d^8 4s^2$	29 63.55 Cu Copper $3d^{10} 4s^1$	30 65.38 Zn Zinc $3d^{10} 4s^2$	31 69.72 Ga Gallium $3d^{10} 4s^2 4p^1$	32 72.59 Ge Germanium $3d^{10} 4s^2 4p^2$	33 74.92 As Arsenic $3d^{10} 4s^2 4p^3$	34 78.96 Se Selenium $3d^{10} 4s^2 4p^4$	35 79.90 Br Bromine $3d^{10} 4s^2 4p^5$	36 83.80 Kr Krypton $3d^{10} 4s^2 4p^6$						
37 85.47 Rb Rubidium $5s^1$	38 87.62 Sr Strontium $5s^2$	39 88.91 Y Yttrium $4d^1 5s^2$	40 91.22 Zr Zirconium $4d^2 5s^2$	41 92.91 Nb Niobium $4d^4 5s^1$	42 95.94 Mo Molybdenum $4d^5 5s^1$	43 98 Tc Technetium $4d^5 5s^2$	44 101.07 Ru Ruthenium $4d^7 5s^1$	45 102.91 Rh Rhodium $4d^8 5s^1$	46 106.4 Pd Palladium $4d^{10}$	47 107.87 Ag Silver $4d^{10} 5s^1$	48 112.41 Cd Cadmium $4d^{10} 5s^2$	49 114.82 In Indium $4d^{10} 5s^2 5p^1$	50 118.69 Sn Tin $4d^{10} 5s^2 5p^2$	51 121.75 Sb Antimony $4d^{10} 5s^2 5p^3$	52 127.60 Te Tellurium $4d^{10} 5s^2 5p^4$	53 126.90 I Iodine $4d^{10} 5s^2 5p^5$	54 131.30 Xe Xenon $4d^{10} 5s^2 5p^6$						
55 132.91 Cs Cesium $6s^1$	56 137.33 Ba Barium $6s^2$	57-71 * LANTHANIDES	72 178.49 Hf Hafnium $4f^{14} 5d^2 6s^2$	73 180.95 Ta Tantalum $4f^{14} 5d^3 6s^2$	74 183.85 W Tungsten $4f^{14} 5d^4 6s^2$	75 186.21 Re Rhenium $4f^{14} 5d^5 6s^2$	76 190.2 Os Osmium $4f^{14} 5d^6 6s^2$	77 192.22 Ir Iridium $4f^{14} 5d^7 6s^2$	78 195.09 Pt Platinum $4f^{14} 5d^9 6s^1$	79 196.97 Au Gold $4f^{14} 5d^{10} 6s^1$	80 200.59 Hg Mercury $4f^{14} 5d^{10} 6s^2$	81 204.37 Tl Thallium $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$	82 207.2 Pb Lead $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$	83 208.98 Bi Bismuth $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$	84 209 Po Polonium $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^4$	85 210 At Astatine $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^5$	86 222 Rn Radon $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$						
87 223 Fr Francium $7s^1$	88 226.03 Ra Radium $7s^2$	89-103 † ACTINIDES	104 261 Rf Rutherfordium $5f^{14} 6d^2 7s^2$	105 262 Db Dubnium $5f^{14} 6d^3 7s^2$	106 266 Sg Seaborgium $5f^{14} 6d^4 7s^2$	107 264 Bh Bohrium $5f^{14} 6d^5 7s^2$	108 277 Hs Hassium $5f^{14} 6d^6 7s^2$	109 288 Mt Meitnerium $5f^{14} 6d^7 7s^2$															

*
LANTHANIDES

†
ACTINIDES

57 138.91 La Lanthanum $5d^1 6s^2$	58 140.12 Ce Cerium $4f^1 5d^1 6s^2$	59 140.91 Pr Praseodymium $4f^3 6s^2$	60 144.24 Nd Neodymium $4f^4 6s^2$	61 145 Pm Promethium $4f^5 6s^2$	62 150.4 Sm Samarium $4f^6 6s^2$	63 151.96 Eu Europium $4f^7 6s^2$	64 157.25 Gd Gadolinium $4f^7 5d^1 6s^2$	65 158.93 Tb Terbium $4f^9 6s^2$	66 162.50 Dy Dysprosium $4f^{10} 6s^2$	67 164.93 Ho Holmium $4f^{11} 6s^2$	68 167.26 Er Erbium $4f^{12} 6s^2$	69 168.93 Tm Thulium $4f^{13} 6s^2$	70 173.04 Yb Ytterbium $4f^{14} 6s^2$	71 174.97 Lu Lutetium $4f^{14} 5d^1 6s^2$
89 227.03 Ac Actinium $6d^1 7s^2$	90 232.04 Th Thorium $6d^2 7s^2$	91 231.04 Pa Protactinium $5f^2 6d^1 7s^2$	92 238.03 U Uranium $5f^3 6d^1 7s^2$	93 237.05 Np Neptunium $5f^4 6d^1 7s^2$	94 244 Pu Plutonium $5f^6 7s^2$	95 243 Am Americium $5f^7 7s^2$	96 247 Cm Curium $5f^7 6d^1 7s^2$	97 247 Bk Berkelium $5f^9 7s^2$	98 251 Cf Californium $5f^{10} 7s^2$	99 252 Es Einsteinium $5f^{11} 7s^2$	100 257 Fm Fermium $5f^{12} 7s^2$	101 258 Md Mendelevium $5f^{13} 7s^2$	102 259 No Nobelium $5f^{14} 7s^2$	103 260 Lr Lawrencium $5f^{14} 6d^1 7s^2$