

**PHYSQ 271 LEC A1 - Introduction à la physique moderne**  
**Examen partiel 2**

Nom \_\_\_\_\_ **SOLUTIONS** \_\_\_\_\_

Numéro d'étudiant.e \_\_\_\_\_

**Professeur** Marc de Montigny

**Horaire** Mardi, 6 novembre 2012, de 16h30 à 18h00

**Lieu** Pavillon McMahon, local 366

**Instructions**

- Ce cahier contient **8 pages**. Écrivez-y directement vos réponses.
- L'examen contient **20 points** et vaut 20% de la note finale du cours.
- L'examen contient **11 questions** de différents niveaux de difficulté, indiqués par leurs valeurs en points. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est erronée. Expliquez de façon claire et précise.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (*une* feuille recto verso) que vous aurez préparé. Utilisez le verso des pages pour vos calculs.
- Matériel permis: crayons ou stylos, calculatrices (programmables ou graphiques permises). Les assistants numériques (*PDA*s) ou tout autre système de communication sont interdits. Mettez votre téléphone cellulaire hors circuit.

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

**Question 1. Moles et nombre d'Avogadro [1.5 point]**

Dans 100 g d'acide carbonique,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,

- A. combien y a-t-il d'atomes de carbone, C ?
  - B. Quel pourcentage du nombre d'atomes est du C ?
  - C. Quel pourcentage de la masse est du C ?
- (Voir tableau périodique à la dernière page)

**Solution**

$$m = 2m_H + m_C + 3m_O = 2(1) + (12) + 3(16) = 62 \text{ g/mol}$$

A.  $\frac{100 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ 1/mol} = 9.71 \times 10^{23} \text{ atomes}$

B.  $1/6 = 16.7\%$

C.  $12 \text{ g}/62 \text{ g} = 19.4\%$

**Question 2. Expérience de Thomson [2.5 points]**

Un faisceau de particules chargées contient : (1) des protons, (2) des noyaux de deutérium (état lié de 1 proton et 1 neutron), et (3) des noyaux d'hélium (état lié de 2 protons et 2 neutrons). Ce faisceau à plusieurs particules passe dans un sélecteur de vitesse tel que les particules en émergent avec  $v = 2.5 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Ensuite, le faisceau entre dans une région avec un champ magnétique uniforme  $B = 0.40 \text{ T}$ , perpendiculaire à la vitesse. Quel est le rayon de courbure pour chacun de ces trois types de particules ?

( $m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

**Solution**

$$mv = qBr \text{ donne } r = \frac{mv}{qB}$$

A.  $r = \frac{(1.673 \times 10^{-27})(2.5 \times 10^6)}{(1.602 \times 10^{-19})(0.4)} = 6.53 \text{ cm}$

B.  $r = \frac{([1.673 + 1.675] \times 10^{-27})(2.5 \times 10^6)}{(1.602 \times 10^{-19})(0.4)} = 13.1 \text{ cm}$

C.  $r = \frac{(2[1.673 + 1.675] \times 10^{-27})(2.5 \times 10^6)}{2(1.602 \times 10^{-19})(0.4)} = 13.1 \text{ cm}$

**Question 3. Rayonnement du corps noir [1.0 point]**

La fréquence,  $f_{\text{pic}}$ , à laquelle le Soleil émet sa radiation électromagnétique la plus intense est égale à  $3.41 \times 10^{14}$  Hz. Par conséquent, quelle est la température à la surface du Soleil, selon le modèle de Planck de la radiation du corps noir ?

**Solution**

$$T = \frac{f_{\text{pic}}}{5.88 \times 10^{10}} = 5800 \text{ K}$$

**Question 4. Photon [1.0 point]**

Un four à micro-ondes émet des ondes de fréquence 2450 MHz. Trouvez

- A. leur longueur d'onde
- B. l'énergie d'un photon, en électronvolts

**Solution**

$$\text{A. } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2.45 \times 10^9} = 12.2 \text{ cm}$$

$$\text{B. } E = hf = (6.63 \times 10^{-34})(2.45 \times 10^9) \left( \frac{1 \text{ eV}}{1.602 \times 10^{-19}} \right) = 1.01 \times 10^{-5} \text{ eV}$$

**Question 5. Effet photoélectrique [2.0 points]**

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence  $f$ , l'énergie cinétique maximale des photoélectrons éjectés est de 1.3 eV. Lorsqu'on augmente cette fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale est égale à 3.6 eV.

- A. Quel est la fréquence de seuil pour ce métal ?
- B. Que vaut la fréquence initiale  $f$  ?

**Solution**

A.  $K_{\text{max}} = hf - \phi$  devient  $1.3 = hf - \phi$  pour  $f$ , et  $3.6 = h(1.5f) - \phi$  pour  $1.5f$ . Ces deux équations donnent  $\phi = 3.3 \text{ eV} = 5.29 \times 10^{-19} \text{ J}$ , d'où  $f_{\text{min}} = \frac{\phi}{h} = 7.97 \times 10^{14} \text{ Hz}$

B. En remplaçant  $\phi$  dans n'importe quelle équation de la partie A, on trouve  $f = 1.11 \times 10^{15} \text{ Hz}$

**Question 6. Effet Compton [2.0 points]**

La variation relative de longueur d'onde d'un faisceau soumis à une diffusion Compton par des électrons est égale à  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0.03\%$  (où  $\lambda$  est la longueur d'onde du photon initial). Quelle est l'énergie des photons incidents, en électronvolts, si l'angle de diffusion est de  $53^\circ$  ?

**Solution**

$$\Delta\lambda = \frac{hc}{mc^2}(1 - \cos\theta) = \frac{1240}{5.11 \times 10^5}(1 - \cos 53) = 9.66 \times 10^{-4} \text{ nm} = 0.03\% \lambda = 3 \times 10^{-4} \lambda$$

donne  $\lambda = 3.22 \text{ nm}$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{3.22} = 385 \text{ eV}$$

**Question 7. Raies spectrales [1.5 point]**

Un atome absorbe l'énergie d'un photon de 392 nm et la réémet en deux étapes. Si la longueur d'onde d'un des photons émis est de 712 nm, quelle est la longueur d'onde du second photon ?

**Solution**

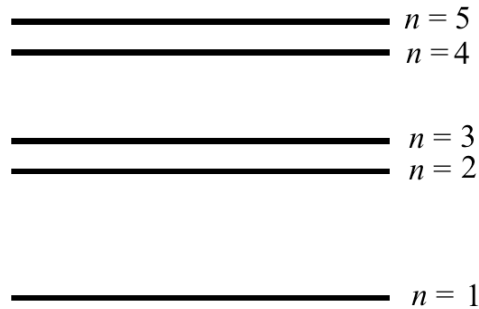
$$\text{Énergie absorbée : } E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{392} = 3.1633 \text{ eV}$$

$$\text{Énergie émise \#1 : } E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{712} = 1.7416 \text{ eV}$$

$$\text{Énergie émise \#2 : } \Delta E = 3.1633 - 1.7416 = 1.4217. \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{1240}{1.4217} = 872 \text{ nm}$$

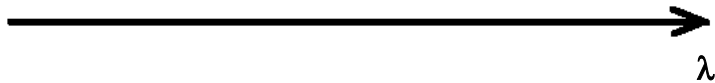
**Question 8. Niveaux atomiques et raies spectrales [1.5 point]**

Supposez qu'un atome contienne les cinq niveaux d'énergie illustrés ci-dessous.



- A. Combien existe-t-il de raies d'émission ? **10**
- B. Tracez ces raies ci-dessous, en ordre croissant de longueur d'ondes. Pour clarifier votre réponse, numérotez les transitions ci-dessous en correspondance avec les lignes ci-dessous. Plusieurs réponses pourront être acceptées.

**Solution à la page suivante**



**Question 9. Spectre de l'atome d'hydrogène [2.0 points]**

Considérez la série de Paschen ( $n' = 3$ ) du spectre de l'atome d'hydrogène.

- A. Quelles sont les *quatre* plus grandes longueurs d'onde de cette série ?
- B. Quelle est la plus petite longueur d'onde de la série de Paschen (c.-à-d. lorsque  $n$  tend vers l'infini) ?

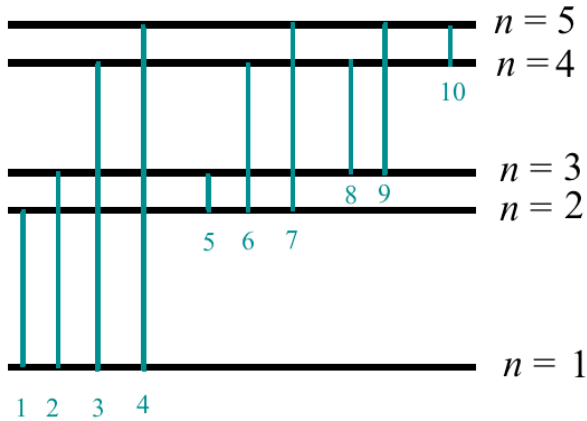
**Solution**

A.  $\frac{1}{\lambda} = 0.0109737 \text{ nm}^{-1} \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 1875 \text{ nm}, 1281 \text{ nm}, 1094 \text{ nm}, 1005 \text{ nm}$

B. Avec  $n$  tend vers l'infini, on trouve  $\lambda = 820 \text{ nm}$

**Question 8** Solution

Les transitions sont illustrées ci-dessous. Il y en a 10.



Les lignes vertes les plus longues ont les plus grandes énergies, et donc les plus petites longueurs d'onde. On a donc, en ordre croissant de longueurs d'onde :

$$4 < 3 \ll 2 \cong 7 < 1 \cong 9 \cong 6 < 8 \ll 5 \cong 10$$

Les raies ont donc *approximativement* la distribution ci-dessous:



**Question 10. Atome de Bohr [2.5 points]**

Un atome d'hydrogène *muonique* est obtenu en remplaçant l'électron par un *muon* ; autrement dit, le proton capte un *muon*, de charge  $-e$  et de masse égale à 207 fois la masse de l'électron.

- A. Quel est le rayon de Bohr,  $a_B$ , de cet atome ?
- B. Quelles sont les énergies des niveaux  $n = 1, 2$  et  $3$ , en électronvolts ?
- C. Quelle est la longueur d'onde d'un photon émis lors de la transition du niveau 2 vers le niveau 1 ?
- D. Quelle est la longueur d'onde d'un photon émis lors de la transition du niveau 3 vers le niveau 2 ?

**Solution**

A. 
$$a_B' = \frac{\hbar^2}{ke^2 m_\mu} = \frac{a_B}{207} = \frac{0.05291772 \text{ nm}}{207} = 2.56 \times 10^{-11} \text{ m}$$

B. 
$$E_R' = -\frac{ke^2}{2a_B'} = (207)(-13.6) = -2815 \text{ eV}$$

$$E_1 = -E_R' = -2815 \text{ eV}$$

$$E_2 = -\frac{E_R'}{2^2} = -704 \text{ eV}$$

$$E_3 = -\frac{E_R'}{3^2} = -313 \text{ eV}$$

C. 
$$\lambda_{21} = \frac{hc}{E_2 - E_1} = 0.587 \text{ nm}$$

D. 
$$\lambda_{32} = \frac{hc}{E_3 - E_2} = 3.17 \text{ nm}$$

**Question 11. Atomes hydrogénoïdes [2.5 points]**

Considérez un ion de niobium  $\text{Nb}^{40+}$ , ionisé 40 fois (c.-à-d. on a retiré 40 électrons d'un atome neutre). (Voir tableau périodique à la dernière page)

- A. Quelles sont les énergies des niveaux  $n = 3$  et 4, en électronvolts ?
- B. Quel est le rayon de l'orbite du niveau  $n = 4$ , en m ?
- C. Quel est le moment cinétique de l'électron sur l'orbite  $n = 4$ , en J·s ?
- D. Quelle est la longueur d'onde du photon absorbé lors de la transition du niveau  $n = 3$  vers le niveau  $n = 4$ , en nm ?

**Solution**

A.  $E_n = -Z^2 \frac{E_R}{n^2}$ .  $E_3 = -(41)^2 \frac{13.6}{3^2} = -2540 \text{ eV}$ ,  $E_4 = -1429 \text{ eV}$

B.  $r_n = \frac{n^2}{Z^2} a_B = \frac{4^2}{41^2} (0.05291772 \text{ nm}) = 2.07 \times 10^{-11} \text{ m}$

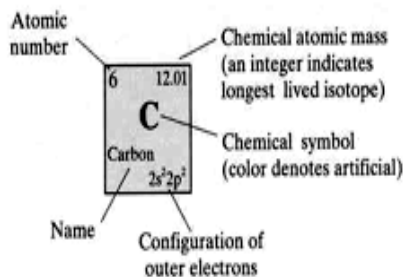
C.  $L_4 = 4\hbar = 4.22 \times 10^{-34} \text{ J s}$

D.  $\lambda = \frac{hc}{E_4 - E_3} = 1.12 \text{ nm}$



# THE PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

## KEY



1 1.01 <b>H</b> Hydrogen $1s^1$																	2 4.00 <b>He</b> Helium $1s^2$						
3 6.94 <b>Li</b> Lithium $2s^1$	4 9.01 <b>Be</b> Beryllium $2s^2$																	5 10.81 <b>B</b> Boron $2s^2 2p^1$	6 12.01 <b>C</b> Carbon $2s^2 2p^2$	7 14.01 <b>N</b> Nitrogen $2s^2 2p^3$	8 16.00 <b>O</b> Oxygen $2s^2 2p^4$	9 19.00 <b>F</b> Fluorine $2s^2 2p^5$	10 20.18 <b>Ne</b> Neon $2s^2 2p^6$
11 22.99 <b>Na</b> Sodium $3s^1$	12 24.31 <b>Mg</b> Magnesium $3s^2$																	13 26.98 <b>Al</b> Aluminum $3s^2 3p^1$	14 28.09 <b>Si</b> Silicon $3s^2 3p^2$	15 30.97 <b>P</b> Phosphorus $3s^2 3p^3$	16 32.06 <b>S</b> Sulfur $3s^2 3p^4$	17 35.45 <b>Cl</b> Chlorine $3s^2 3p^5$	18 39.95 <b>Ar</b> Argon $3s^2 3p^6$
19 39.10 <b>K</b> Potassium $4s^1$	20 40.08 <b>Ca</b> Calcium $4s^2$	21 44.96 <b>Sc</b> Scandium $3d^1 4s^2$	22 47.90 <b>Ti</b> Titanium $3d^2 4s^2$	23 50.94 <b>V</b> Vanadium $3d^3 4s^2$	24 52.00 <b>Cr</b> Chromium $3d^5 4s^1$	25 54.94 <b>Mn</b> Manganese $3d^5 4s^2$	26 55.85 <b>Fe</b> Iron $3d^6 4s^2$	27 58.93 <b>Co</b> Cobalt $3d^7 4s^2$	28 58.70 <b>Ni</b> Nickel $3d^8 4s^2$	29 63.55 <b>Cu</b> Copper $3d^{10} 4s^1$	30 65.38 <b>Zn</b> Zinc $3d^{10} 4s^2$	31 69.72 <b>Ga</b> Gallium $3d^{10} 4s^2 4p^1$	32 72.59 <b>Ge</b> Germanium $3d^{10} 4s^2 4p^2$	33 74.92 <b>As</b> Arsenic $3d^{10} 4s^2 4p^3$	34 78.96 <b>Se</b> Selenium $3d^{10} 4s^2 4p^4$	35 79.90 <b>Br</b> Bromine $3d^{10} 4s^2 4p^5$	36 83.80 <b>Kr</b> Krypton $3d^{10} 4s^2 4p^6$						
37 85.47 <b>Rb</b> Rubidium $5s^1$	38 87.62 <b>Sr</b> Strontium $5s^2$	39 88.91 <b>Y</b> Yttrium $4d^1 5s^2$	40 91.22 <b>Zr</b> Zirconium $4d^2 5s^2$	41 92.91 <b>Nb</b> Niobium $4d^4 5s^1$	42 95.94 <b>Mo</b> Molybdenum $4d^5 5s^1$	43 98 <b>Tc</b> Technetium $4d^5 5s^2$	44 101.07 <b>Ru</b> Ruthenium $4d^7 5s^1$	45 102.91 <b>Rh</b> Rhodium $4d^8 5s^1$	46 106.4 <b>Pd</b> Palladium $4d^{10}$	47 107.87 <b>Ag</b> Silver $4d^{10} 5s^1$	48 112.41 <b>Cd</b> Cadmium $4d^{10} 5s^2$	49 114.82 <b>In</b> Indium $4d^{10} 5s^2 5p^1$	50 118.69 <b>Sn</b> Tin $4d^{10} 5s^2 5p^2$	51 121.75 <b>Sb</b> Antimony $4d^{10} 5s^2 5p^3$	52 127.60 <b>Te</b> Tellurium $4d^{10} 5s^2 5p^4$	53 126.90 <b>I</b> Iodine $4d^{10} 5s^2 5p^5$	54 131.30 <b>Xe</b> Xenon $4d^{10} 5s^2 5p^6$						
55 132.91 <b>Cs</b> Cesium $6s^1$	56 137.33 <b>Ba</b> Barium $6s^2$	57-71 * LANTHANIDES	72 178.49 <b>Hf</b> Hafnium $4f^{14} 5d^2 6s^2$	73 180.95 <b>Ta</b> Tantalum $4f^{14} 5d^3 6s^2$	74 183.85 <b>W</b> Tungsten $4f^{14} 5d^4 6s^2$	75 186.21 <b>Re</b> Rhenium $4f^{14} 5d^5 6s^2$	76 190.2 <b>Os</b> Osmium $4f^{14} 5d^6 6s^2$	77 192.22 <b>Ir</b> Iridium $4f^{14} 5d^7 6s^2$	78 195.09 <b>Pt</b> Platinum $4f^{14} 5d^9 6s^1$	79 196.97 <b>Au</b> Gold $4f^{14} 5d^{10} 6s^1$	80 200.59 <b>Hg</b> Mercury $4f^{14} 5d^{10} 6s^2$	81 204.37 <b>Tl</b> Thallium $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$	82 207.2 <b>Pb</b> Lead $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$	83 208.98 <b>Bi</b> Bismuth $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$	84 209 <b>Po</b> Polonium $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^4$	85 210 <b>At</b> Astatine $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^5$	86 222 <b>Rn</b> Radon $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$						
87 223 <b>Fr</b> Francium $7s^1$	88 226.03 <b>Ra</b> Radium $7s^2$	89-103 † ACTINIDES	104 261 <b>Rf</b> Rutherfordium $5f^{14} 6d^2 7s^2$	105 262 <b>Db</b> Dubnium $5f^{14} 6d^3 7s^2$	106 266 <b>Sg</b> Seaborgium $5f^{14} 6d^4 7s^2$	107 264 <b>Bh</b> Bohrium	108 277 <b>Hs</b> Hassium	109 268 <b>Mt</b> Meitnerium															

\*  
LANTHANIDES

†  
ACTINIDES

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