

Nom

SOLUTIONS

Numéro _____

Professeur Marc de Montigny
Date jeudi 17 novembre 2022, de 14h30 à 15h50
Lieu local 366

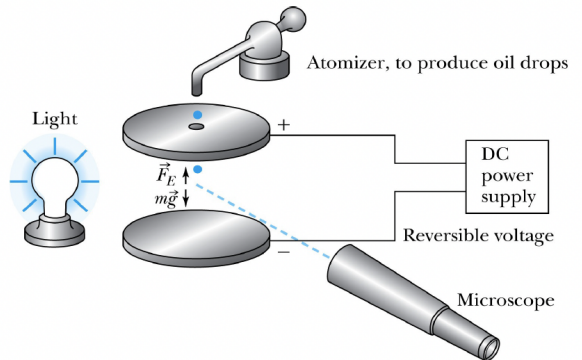
INSTRUCTIONS

- Ce cahier contient **5 pages**, incluant celle-ci et le tableau périodique à la fin. Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs; je ne le corrigerai pas, sauf si vous m'indiquez de le faire.
- L'examen contient **7 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points pour les solutions, même si les réponses finales sont erronées.
- L'examen contient **25 points** et vaut **25%** de la note finale du cours.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez complété et imprimé. Vous perdrez 5/25 si vous y avez inclus des solutions ou si vous ne retournez pas votre aide-mémoire avec l'examen.
- Matériel permis: crayon ou stylo, aide-mémoire, calculatrice (programmable ou graphique permise aussi). Tout autre appareil électronique ou moyen de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me demander de clarifier!

Question 1. Charge de l'électron [3.0 points]

Dans une expérience de type Millikan pour mesurer la charge de l'électron, on branche une pile à deux plaques, tel que montré ci-contre. La masse d'une goutte chargée entre les plaques vaut 5.2×10^{-16} kg, et les plaques sont séparées de 4.50 mm. Si un potentiel de 28.7 V permet d'équilibrer les forces, à combien d'électrons (charge $|e| = 1.60 \times 10^{-19}$ C) correspond la grandeur de la charge nette sur cette goutte?



Solution

L'équilibre des forces implique

$$F_g = F_e \rightarrow mg = qE = qV/d \rightarrow q = \frac{mgd}{V} = \frac{(5.2 \times 10^{-16})(9.81)(4.5 \times 10^{-3})}{28.7} = 7.99 \times 10^{-19}$$

de sorte que la goutte a la charge de $7.99/1.6 = 5$ électrons

Question 2. Série de Balmer [2.5 points]

- (a) Expliquez *brièvement* comment le modèle de l'atome de Bohr permet d'obtenir la formule de Balmer des longueurs d'onde dans des spectres d'émission.
 (b) Quelle était la principale restriction sur les lignes observables, à l'époque de Balmer?

Réponses:

(a) $hc/\lambda_{n'n} = E_n - E_{n'}$ avec $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV

(b) Lumière visible, qui restreignait à $n' = 2$

Question 3. Photons [2.5 points]

Combien de photons, de longueur d'onde égale à 628 nm, passent, par seconde, dans un faisceau de 0.06 watt?

Solution

L'énergie de un (1) photon est donnée par $E_{(1)} = hc/\lambda$ et comme la puissance totale vaut $P = nE_{(1)}/t$, le nombre de photons par seconde vaut

$$\frac{n}{t} = \frac{P}{E_{(1)}} = \frac{P\lambda}{hc} = \frac{(0.06)(628 \times 10^{-9})}{(6.63 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)} = 1.89 \times 10^{17} \text{ photons/sec}$$

[suite page suivante...]

Question 4. Effet photoélectrique [4.5 points]

De la lumière de fréquence 1.35×10^{15} Hz frappe une surface de lithium, dont le travail d'extraction vaut 2.93 eV. (Masse des électrons: $m = 511 \text{ keV}/c^2$)

- (a) Quelle est la longueur d'onde de cette lumière incidente?
- (b) Est-ce que des photoélectrons seront émis de ce métal? Pourquoi?
- (c) Si oui, quelle sera leur énergie cinétique maximale, en eV? Seront-ils relativistes ou non-relativistes?
- (d) Quelle sera la quantité de mouvement maximale des photoélectrons, en eV/c?
- (e) Quelle sera la longueur d'onde de de Broglie minimale des photoélectrons, en nm?

Solutions

(a) $\lambda = c/f = \frac{3 \times 10^8}{1.35 \times 10^{15}} = \boxed{222 \text{ nm}}$

(b) On vérifie si $hf > \phi$: $hf = (6.63 \times 10^{-34})(1.35 \times 10^{15})/1.6 \times 10^{-19} = 5.59 \text{ eV} > 2.93 \text{ eV}$: oui

(c) $K_{max} = 5.59 - 2.93 = \boxed{2.66 \text{ eV}}$; photo-électrons non-relativistes, car $K \ll mc^2$

(d) de $K = \frac{p^2}{2m}$, on a $pc = \sqrt{2mc^2K} = \sqrt{2(511 \times 10^3)(2.66)} = 1649 \rightarrow \boxed{p = 1650 \text{ eV}/c}$

(e) $\lambda = \frac{hc}{pc} = \frac{1240}{1649} = \boxed{0.752 \text{ nm}}$

Question 5. Effet Compton [4.5 points]

Un photon de longueur d'onde 0.0342 nm frappe un électron au repos et la longueur d'onde du photon final est différente par $\Delta\lambda = 3.70 \times 10^{-4}$ nm.

- (a) La longueur d'onde du photon final est-elle plus grande ou plus petite que la longueur d'onde du photon initial? Expliquez brièvement.
- (b) La lumière a été défléchi de quel angle?
- (c) De combien l'énergie de l'électron changera? C'est un gain ou une perte d'énergie pour l'électron?

Solutions

(a) Plus grande, car le photon perd de l'énergie suite à la collision.

(b) De la formule de Compton

$$\Delta\lambda = \frac{hc}{mc^2} (1 - \cos\theta) \rightarrow \cos\theta = 1 - \frac{mc^2}{hc} \Delta\lambda = 1 - \frac{511 \times 10^3}{1240} (3.70 \times 10^{-4}) = 0.8475 \rightarrow \boxed{\theta = 32.1^\circ}$$

(c) Le changement d'énergie vaut

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = (1240) \left(\frac{1}{0.0342} - \frac{1}{0.0342 + 0.00037} \right) = \boxed{388 \text{ eV, gain}}$$

[suite page suivante...]

Question 6. Spectre de rayons X [4.0 points]

Dans les questions ci-dessous, prenez $\delta \approx 1$, de sorte que $Z \rightarrow Z - 1$. (Un tableau périodique est à la fin de l'examen.)

- (a) Si un rayon X de type K_α est émis d'un élément Z avec une énergie de 2.3 keV, quel est cet élément?
 (b) Quelle est l'énergie, la fréquence et la longueur d'onde d'un rayon X de type K_α émis d'un échantillon constitué de zinc?

Solutions

- (a) K_α est une transition de $n = 2$ vers $n' = 1$,

$$E = (Z - \delta)^2 E_R \left(1 - \frac{1}{2^2}\right) = (Z - 1)^2 (13.6) \left(\frac{3}{4}\right) = 10.2(Z - 1)^2$$

d'où

$$Z = 1 + \sqrt{\frac{2300}{10.2}} = 16.0$$

Il s'agit donc du soufre.

- (b) Le zinc a $Z = 30$. Donc

$$E = \frac{3}{4}(30 - 1)^2(13.6) = 8578.2 \approx \boxed{8.58 \text{ keV}}$$

$$f = \frac{E}{h} = \frac{8578.2}{4.14 \times 10^{-15}} = \boxed{2.07 \times 10^{18} \text{ Hz}}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{1240}{8578.2} = \boxed{0.145 \text{ nm}}$$

Question 7. Ondes de de Broglie [4.0 points]

Un électron a une énergie cinétique de 2 MeV.

- (a) Cet électron est-il relativiste ou non-relativiste?
 (b) Quelle est la longueur d'onde de de Broglie de cet électron?

Solutions

- (a) $K > mc^2$, l'électron est donc relativiste

- (b) Avec $E = K + mc^2$, on calcule

$$pc = \sqrt{E^2 - (mc^2)^2} = \sqrt{2mc^2K + K^2}$$

qui mène à

$$\lambda = \frac{hc}{pc} = \frac{hc}{\sqrt{2mc^2K + K^2}} = \frac{1240}{\sqrt{2(511 \times 10^3)(2 \times 10^6) + (2 \times 10^6)^2}} = \boxed{5.0 \times 10^{-4} \text{ nm}}$$

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

NUMÉRO DU GROUPE RECOMMANDATIONS DE L'UPAC (1985) NUMÉRO DU GROUPE CIHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986)

NOMBRE ATOMIQUE — 10.811 — MASSE ATOMIQUE RELATIVE (1)
BORE — B — SYMBOLE — NOM DE L'ÉLÉMENT

PERIODE	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
	1A	2A		3A										4A										5A										6A										7A										8A										9A										10A										11A										12A										13A										14A										15A										16A										17A										18A									
1	1	1		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
2	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
3	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
4	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
5	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
6	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									
7	1	2		3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18									

La masse atomique relative est donnée avec cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande.

Toutefois, pour les trois éléments Th, Pa et U qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

Lanthanides

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LANTHANE	CÉRIUM	PRASEODYME	NÉODYME	PROMÉTHIUM	SAMARIUM	EUROPIUM	GADOLINIUM	TERBIUM	DYSPROSIUM	HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTTERBIUM	LUTÉTIUM

Actinides

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
ACTINIUM	THORIUM	PROTACTINIUM	URANIUM	NEPTUNIUM	PLUTONIUM	AMÉRICIUM	CURIUM	BERKÉLIUM	CALIFORNIUM	EINSTEINIUM	FERMIUM	MÉNDELÉVIUM	NOBELIUM	LAWRENCIUM