

**EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES CLASSIQUES**  
**Sessions 2023 – QUESTIONNAIRE ÉCRIT**

|              |          |              |               |                   |  |
|--------------|----------|--------------|---------------|-------------------|--|
| Date :       | 08.06.23 | Durée :      | 08:15 - 10:45 | Numéro candidat : |  |
| Discipline : | Physique | Section(s) : | GIG           |                   |  |

**1. Optique géométrique – réfraction de la lumière**

(T6 + A5 = 11 points)

- 1.1. Donnez le principe de Fermat ! Etablissez, à partir de ce principe, la loi de la réfraction ! Faites une figure détaillée et donnez toutes les explications nécessaires !
- 1.2. Une très longue tige cylindrique en verre ( $n_{\text{verre}} = 1,50$ ) est illuminée à sa surface frontale. Prouvez à l'aide d'un calcul que, peu importe l'amplitude de l'angle d'incidence, tous les rayons lumineux qui entrent par le centre de la surface frontale, sortent aussi par la surface frontale de l'autre côté ! Accompagnez vos explications d'une figure explicative !

**2. Optique géométrique - Lentilles**

(A7 = 7 points)

A partir d'un objet de taille 4,0 cm, une lentille convergente crée une image réelle de taille 2,0 cm. Si l'objet est rapproché de 12,5 cm de la lentille, il se forme une image virtuelle de taille 8,0 cm. Déterminez la distance focale de la lentille utilisée !

**3. Optique ondulatoire – Fente double**

(T2 + T6 + A4 = 12 points)

- 3.1. Décrivez le dispositif expérimental des fentes de Young et expliquez pourquoi on peut voir une figure d'interférence dans la région située derrière la fente double si celle-ci est illuminée par de la lumière cohérente !
- 3.2. Etablissez l'équation qui donne l'angle de diffraction pour le cas d'interférence constructive à la fente double ! Accompagnez vos explications de figures annotées !
- 3.3. Une fente double de  $g = 0,30$  mm se situe à  $D = 1,20$  m d'un écran. Dans un premier temps, la fente double est illuminée avec de la lumière rouge de longueur d'onde 650 nm et la position des maxima sur l'écran est notée. Le laser rouge est ensuite remplacé par un laser bleu. Le 2<sup>e</sup> maximum d'interférence du laser bleu se situe à 0,16 cm du 2<sup>e</sup> maximum d'interférence du laser rouge.

Calculez la longueur d'onde du laser bleu !

La distance  $d_k$  des maxima d'interférence par rapport au maximum central est donnée par :

$$d_k = \frac{k \cdot \lambda \cdot D}{g} \text{ où } k \text{ est le numéro d'ordre.}$$

4. Théorie de la relativité

(T1 + T5 + A2 + A1 + A2 = 11 points)

- 4.1. Décrivez le montage et le principe de fonctionnement d'une horloge à photons !  
 4.2. Etablissez, à l'aide de l'expérience de pensée de l'horloge à photons, l'expression pour la dilatation du temps ! Accompagnez vos explications d'une figure annotée !

Un train qui roule à la vitesse hypothétique de  $0,6c$  franchit une gare. Un observateur sur le quai mesure un temps de passage de  $0,80 \mu\text{s}$ .

- 4.3. Calculez le temps de passage pour un observateur qui se trouve dans le train !  
 4.4. Calculez la longueur du train pour un observateur qui se trouve dans le train !  
 4.5. Calculez la longueur du train pour un observateur qui se trouve sur le quai !

5. Radioactivité

(A1 + P1 + P4 + P2 + P2 + P2 + P1 = 13 points)

Dans la médecine, les radionucléides sont utilisés pour tracer le chemin de substances dans le corps humain. A cette fin, les substances à analyser sont mélangés à un indicateur radioactif. En raison de sa courte demi-vie de 2,06 min, l'oxygène-15 convient bien pour maintenir l'exposition radioactive dans le corps à un niveau faible.

- 5.1. L'oxygène-15 se désintègre en azote-15 stable. Donnez l'équation de désintégration de l'oxygène-15 ! De quel type de désintégration s'agit-il ?

Dans un laboratoire, une petite quantité d'oxygène-15 est menée devant un compteur Geiger-Müller. Le nombre d'impulsions  $Z$  est enregistré à des instants réguliers. Les mesures se trouvent dans le tableau de valeurs ci-dessous. Le rayonnement de fond dans le laboratoire est de  $0,50 \text{ s}^{-1}$ .

- 5.2. Expliquez pourquoi le nombre  $Z$  d'impulsions mesuré ne correspond qu'à une fraction du nombre de désintégrations dans l'échantillon d'oxygène-15 !

- 5.3. Recopiez le tableau sur votre feuille et ajoutez les colonnes nécessaires afin de pouvoir représenter graphiquement  $\ln z_q$  en fonction du temps  $t$  !  $z_q$  correspond au taux de comptage corrigé du rayonnement de fond.

- 5.4. Représentez graphiquement  $\ln z_q$  en fonction du temps  $t$  !

- 5.5. En utilisant l'équation de désintégration, prouvez que la constante de désintégration correspond à la pente de la droite dans la représentation graphique  $\ln z_q = f(t)$  !

- 5.6. Déterminez la demi-vie de l'oxygène-15 à l'aide de la pente !

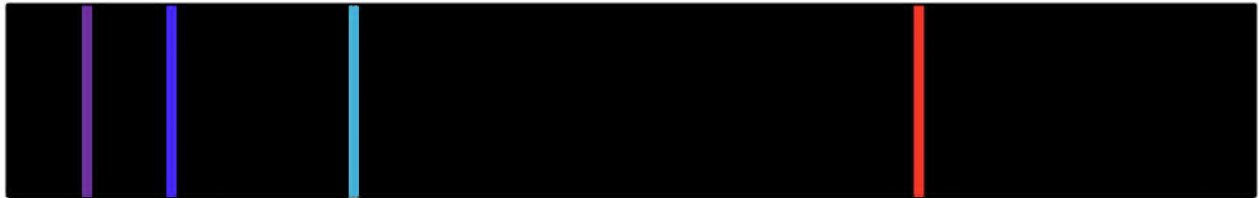
- 5.7. Calculez l'erreur relative par rapport à la valeur théorique de  $T_{\frac{1}{2}} = 2,06 \text{ min}$  !

| $t_n \text{ (s)}$ | $Z$  |
|-------------------|------|
| 0                 | 0    |
| 40                | 540  |
| 80                | 960  |
| 120               | 1320 |
| 160               | 1600 |
| 200               | 1810 |

6. **Mécanique quantique – atome d'hydrogène**

(T3 + A3 = 6 points)

Une lampe à décharge se compose d'un tube en verre rempli de gaz dans lequel de la lumière est émise lorsqu'une tension minimale est appliquée. Si le tube est rempli par de l'hydrogène, on obtient le spectre d'émission dans le domaine visible suivant.



- 6.1. Décrivez les processus qui se déroulent dans les atomes du gaz conduisant aux raies spectrales !
- 6.2. Le spectre d'émission de l'hydrogène représenté ci-dessus correspond aux transitions de la série de Balmer (série de transitions envers le premier état excité:  $n = 2$ ). Calculez la longueur d'onde de la ligne spectrale rouge !

**Formelsammlung Trigonometrie***Formules trigonométriques*

|                                                                                      |                                                           |                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$                                                            | $\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}$                          |                                                 |
| $\cos^2 x = \frac{1}{1 + \tan^2 x}$                                                  | $\sin^2 x = \frac{\tan^2 x}{1 + \tan^2 x}$                | $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$             |
| $\sin(-x) = -\sin(x)$                                                                | $\sin(\pi - x) = \sin(x)$                                 | $\sin(\pi + x) = -\sin(x)$                      |
| $\cos(-x) = \cos(x)$                                                                 | $\cos(\pi - x) = -\cos(x)$                                | $\cos(\pi + x) = -\cos(x)$                      |
| $\tan(-x) = -\tan(x)$                                                                | $\tan(\pi - x) = -\tan(x)$                                | $\tan(\pi + x) = \tan(x)$                       |
| $\sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cos(x)$                                       |                                                           | $\sin\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = \cos(x)$  |
| $\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin(x)$                                       |                                                           | $\cos\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\sin(x)$ |
| $\tan\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cot(x)$                                       |                                                           | $\tan\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\cot(x)$ |
| $\sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$                                        | $\tan(x + y) = \frac{\tan x + \tan y}{1 - \tan x \tan y}$ |                                                 |
| $\sin(x - y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$                                        |                                                           |                                                 |
| $\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$                                        | $\tan(x - y) = \frac{\tan x - \tan y}{1 + \tan x \tan y}$ |                                                 |
| $\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$                                        |                                                           |                                                 |
| $\sin 2x = 2 \sin x \cos x$                                                          | $2 \cos^2 x = 1 + \cos 2x$                                |                                                 |
| $\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$                                                      | $2 \sin^2 x = 1 - \cos 2x$                                |                                                 |
| $\sin 2x = \frac{2 \tan x}{1 + \tan^2 x}$                                            | $\cos 2x = \frac{1 - \tan^2 x}{1 + \tan^2 x}$             | $\tan 2x = \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x}$       |
| $\sin 3x = 3 \sin x - 4 \sin^3 x$                                                    | $\cos 3x = -3 \cos x + 4 \cos^3 x$                        |                                                 |
| $\sin x + \sin y = 2 \sin\left(\frac{x+y}{2}\right) \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$  | $\tan x + \tan y = \frac{\sin(x+y)}{\cos x \cos y}$       |                                                 |
| $\sin x - \sin y = 2 \sin\left(\frac{x-y}{2}\right) \cos\left(\frac{x+y}{2}\right)$  | $\tan x - \tan y = \frac{\sin(x-y)}{\cos x \cos y}$       |                                                 |
| $\cos x + \cos y = 2 \cos\left(\frac{x+y}{2}\right) \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$  |                                                           |                                                 |
| $\cos x - \cos y = -2 \sin\left(\frac{x+y}{2}\right) \sin\left(\frac{x-y}{2}\right)$ |                                                           |                                                 |
| $\sin x \cos y = \frac{1}{2} [\sin(x+y) + \sin(x-y)]$                                |                                                           |                                                 |
| $\cos x \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$                                |                                                           |                                                 |
| $\sin x \sin y = \frac{1}{2} [\cos(x-y) - \cos(x+y)]$                                |                                                           |                                                 |

# Physikalische Konstanten

## Constantes physiques

| Physikalische Konstante<br><i>Constante</i>                                                    | Symbol<br><i>Symbole</i> | Wert<br><i>Valeur</i>  | SI-Einheit<br><i>Unité SI</i>                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| Avogadro-Konstante<br><i>constante d'Avogadro</i>                                              | $N_A$                    | $6,022 \cdot 10^{23}$  | $\text{mol}^{-1}$                                  |
| Elementarladung<br><i>charge élémentaire</i>                                                   | $e$                      | $1,602 \cdot 10^{-19}$ | C                                                  |
| Lichtgeschwindigkeit (*)<br><i>vitesse de la lumière</i>                                       | $c$                      | $2,998 \cdot 10^8$     | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$                     |
| Planck-Konstante<br><i>constante de Planck</i>                                                 | $h$                      | $6,626 \cdot 10^{-34}$ | J·s                                                |
| elektrische Feldkonstante<br><i>permittivité du vide</i>                                       | $\epsilon_0$             | $8,854 \cdot 10^{-12}$ | $\text{C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| Ruhemasse des Elektrons<br><i>masse au repos de l'électron</i>                                 | $m_e$                    | $9,109 \cdot 10^{-31}$ | kg                                                 |
| Ruhemasse des Protons<br><i>masse au repos du proton</i>                                       | $m_p$                    | $1,673 \cdot 10^{-27}$ | kg                                                 |
| Ruhemasse des Neutrons<br><i>masse au repos du neutron</i>                                     | $m_n$                    | $1,675 \cdot 10^{-27}$ | kg                                                 |
| Ruhemasse des $\alpha$ -Teilchens<br><i>masse au repos d'une particule <math>\alpha</math></i> | $m_\alpha$               | $6,645 \cdot 10^{-27}$ | kg                                                 |

### Umwandlung von Einheiten außerhalb des SI-Systems

#### Unités en dehors du système SI

|                                                         |      |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| atomare Masseneinheit<br><i>unité de masse atomique</i> | 1 u  | $1,6605 \cdot 10^{-27}$ | kg                       |
| Elektronvolt<br><i>électron-volt</i>                    | 1 eV | $1,602 \cdot 10^{-19}$  | J                        |
| Jahr<br><i>année</i>                                    | 1 a  | 365,25                  | d (Tage   <i>jours</i> ) |

(\*) **Hinweis:** in den Berechnungen darf auch der Wert  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  für die Lichtgeschwindigkeit benutzt werden.

(\*) **Remarque :** pour la vitesse de la lumière, la valeur  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  est acceptée dans les calculs.

Periodensystem der Elemente

Tableau périodique des éléments

| I                 | II                |                   |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   | III               | IV                 | V                  | VI                 | VII                | VIII              |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1,0<br>H<br>1     |                   |                   |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                    | 40<br>He<br>2     |
| 6,9<br>Li<br>3    | 9,0<br>Be<br>4    |                   |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   | 10,8<br>B<br>5    | 12,0<br>C<br>6     | 14,0<br>N<br>7     | 16,0<br>O<br>8     | 19,0<br>F<br>9     | 20,2<br>Ne<br>10  |
| 23,0<br>Na<br>11  | 24,3<br>Mg<br>12  | IIIA              | IVA                | VA                 | VIA                | VIIA               | VIIIA             |                   |                   | IA                | IIA               | 27,0<br>Al<br>13  | 28,1<br>Si<br>14   | 31,0<br>P<br>15    | 32,1<br>S<br>16    | 35,5<br>Cl<br>17   | 39,9<br>Ar<br>18  |
| 39,1<br>K<br>19   | 40,1<br>Ca<br>20  | 45,0<br>Sc<br>21  | 47,9<br>Ti<br>22   | 50,9<br>V<br>23    | 52,0<br>Cr<br>24   | 54,9<br>Mn<br>25   | 55,8<br>Fe<br>26  | 58,9<br>Co<br>27  | 58,7<br>Ni<br>28  | 63,5<br>Cu<br>29  | 65,4<br>Zn<br>30  | 69,7<br>Ga<br>31  | 72,6<br>Ge<br>32   | 74,9<br>As<br>33   | 79,0<br>Se<br>34   | 79,9<br>Br<br>35   | 83,8<br>Kr<br>36  |
| 85,5<br>Rb<br>37  | 87,6<br>Sr<br>38  | 88,9<br>Y<br>39   | 91,2<br>Zr<br>40   | 92,9<br>Nb<br>41   | 95,9<br>Mo<br>42   | (98,6)<br>Tc<br>43 | 101,1<br>Ru<br>44 | 102,9<br>Rh<br>45 | 106,4<br>Pd<br>46 | 107,9<br>Ag<br>47 | 112,4<br>Cd<br>48 | 114,8<br>In<br>49 | 118,7<br>Sn<br>50  | 121,8<br>Sb<br>51  | 127,6<br>Te<br>52  | 126,9<br>I<br>53   | 131,3<br>Xe<br>54 |
| 132,9<br>Cs<br>55 | 137,3<br>Ba<br>56 | 138,9<br>La<br>57 | 178,5<br>Hf<br>72  | 180,9<br>Ta<br>73  | 183,9<br>W<br>74   | 186,2<br>Re<br>75  | 190,2<br>Os<br>76 | 192,2<br>Ir<br>77 | 195,1<br>Pt<br>78 | 197,0<br>Au<br>79 | 200,6<br>Hg<br>80 | 204,4<br>Tl<br>81 | 207,2<br>Pb<br>82  | 209,0<br>Bi<br>83  | (209)<br>Po<br>84  | (210)<br>At<br>85  | (222)<br>Rn<br>86 |
| (223)<br>Fr<br>87 | 226,0<br>Ra<br>88 | 227,0<br>Ac<br>89 | (261)<br>Rf<br>104 | (262)<br>Ha<br>105 | (263)<br>Sg<br>106 |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                    |                   |
|                   |                   |                   | 140,1<br>Ce<br>58  | 140,9<br>Pr<br>59  | 144,2<br>Nd<br>60  | (145)<br>Pm<br>61  | 150,4<br>Sm<br>62 | 152,0<br>Eu<br>63 | 157,3<br>Gd<br>64 | 158,9<br>Tb<br>65 | 162,5<br>Dy<br>66 | 164,9<br>Ho<br>67 | 167,3<br>Er<br>68  | 168,9<br>Tm<br>69  | 173,0<br>Yb<br>70  | 175,0<br>Lu<br>71  |                   |
|                   |                   |                   | 232,0<br>Th<br>90  | 231,0<br>Pa<br>91  | 238,0<br>U<br>92   | 237,0<br>Np<br>93  | (244)<br>Pu<br>94 | (243)<br>Am<br>95 | (247)<br>Cm<br>96 | (247)<br>Bk<br>97 | (251)<br>Cf<br>98 | (254)<br>Es<br>99 | (257)<br>Fm<br>100 | (258)<br>Md<br>101 | (259)<br>No<br>102 | (260)<br>Lr<br>103 |                   |