

COLLÈGE LIONEL-GROULX – DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

SIGLE DU COURS : NYC

NOM DU CHARGÉ DE COURS : Philippe Laporte

TITRE DU COURS : Ondes, Optiques et Physique Moderne

- EXAMEN INTRA
 EXAMEN FINAL
 EXAMEN DIFFÉRÉ
 EXAMEN FORMATIF

DATE : 9 décembre 2024

DURÉE : 1h40

SALLE : D-306

DIRECTIVES PÉDAGOGIQUES : calculatrice programmable calc. non-prog.
 docu. permise (1 page recto-verso) docu. non-permise
 examen imprimé recto-verso feuille de formules

Nom : _____

Prénom : _____

Groupe : 1 2 3

L'examen est sur 100 (+0) points, a 8 questions et compte pour 20% de la note finale.
Il y a un total de 16 pages à l'examen.

Répondez à **TOUTES LES QUESTIONS** et choisissez la **meilleure** réponse ou les **meilleures** réponses dans le cas où plusieurs choix sont spécifiés.

Vous devez répondre à chaque question en utilisant les concepts et les formules pertinents. Votre démarche doit être transparente et claire. Tout manque de clarté sera la responsabilité de l'étudiant. Les réponses doivent inclure les unités, le cas échéant.

Les dernières pages du document contiennent des informations et formules utiles. Vous pouvez vous en servir dans n'importe quel énoncé, sauf sous mention explicite contraire. Idéalement, veuillez indiquer quelle formule vous utilisez et dans quel contexte, le cas échéant.

Veuillez répondre aux questions **directement dans le document**, dans les espaces alloués. Au besoin, vous pouvez utiliser une autre feuille, en indiquant clairement à quelle question vous répondez.

Il est absolument interdit de sortir durant l'examen. Toute forme de communication ou d'utilisation de matériel non explicitement permis sera considérée comme du plagiat et entraînera les sanctions académiques et disciplinaires pertinentes.

1 Questions à Développement (4 Questions)

1. (30 Points) Considérez la figure 1, où deux sources sonores sont situées à 10 mètres l'une de l'autre. Considérez que les deux sources sont déphasées de π et émettent une fréquence de 85 Hz. Supposez que la vitesse du son est de 340 m/s et que l'intensité du son ne varie pas avec la distance de la source. Déterminez trois endroits sur la ligne pointillée entre les deux sources où le son est nul.

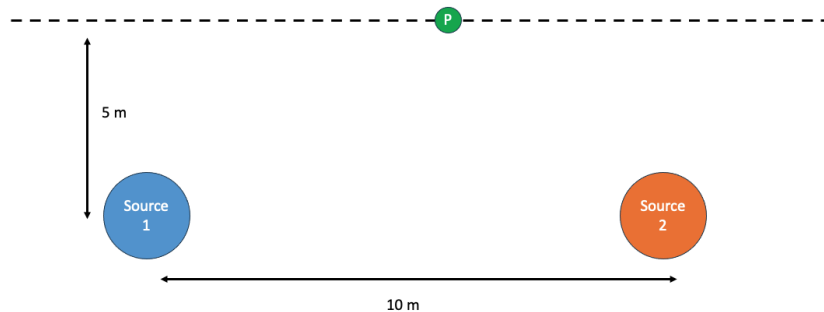


FIGURE 1 – Géométrie pour la question 1.

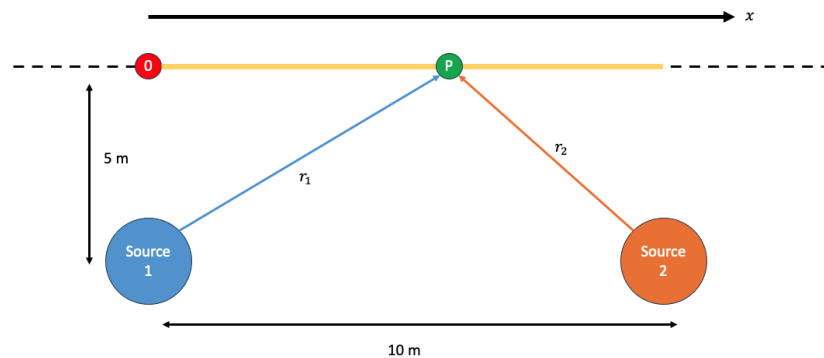


FIGURE 2 – Géométrie pour la solution de la question 1. Le point rouge représente le 0 de l'axe des x.

Lösung: Distribution des points : 8 pts pour le déphasage total (incluant un schéma), 2 pts pour l'interférence destructrice, 8 pts pour le premier point où nul, 12 pts pour les deux autres.

$$f = 85\text{Hz}, v = 340 \text{ m/s} \Rightarrow \lambda = v/f = 4 \text{ m.}$$

Ici, il n'y a pas de déphasage dû à la réflexion : $\Delta\phi_r = 0$.

Les sources sont déphasées : $\Delta\phi_0 = \pi$.

Considérons un point sur la ligne pointillée, à la position x .

Nous voulons que ce point soit situé dans la région jaune ($0 \leq x \leq 10$).

Pour la différence de marche, elle est de $\delta = r_2 - r_1$, telle qu'illustrée à la figure 2.

$$r_1 = \sqrt{5 + x^2} \text{ et } r_2 = \sqrt{5 + (10 - x)^2} = \sqrt{105 - 20x + x^2}.$$

Donc :

$$\Delta\phi_\delta = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right) (2\pi) = \left(\frac{r_2 - r_1}{4}\right) (2\pi).$$

Le déphasage totale est donc :

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = \left(\frac{r_2 - r_1}{4}\right) (2\pi) + \pi.$$

Pour que l'interférence soit destructrice, il faut que $\Delta\phi_{\text{tot}} = (m + 1/2)(2\pi)$.

Ainsi,

$$\left(\frac{r_2 - r_1}{4}\right) (2\pi) + \pi = (m + 1/2)(2\pi)$$

$$\left(\frac{r_2 - r_1}{4}\right) (2\pi) + \pi = 2\pi m + \pi$$

$$\frac{1}{4}(r_2 - r_1) = m$$

$$r_2 - r_1 = 4m$$

$$\sqrt{105 - 20x + x^2} - \sqrt{5 + x^2} = 4m$$

Par simplicité, prenons $m = 0$:

$$\sqrt{105 - 20x + x^2} - \sqrt{5 + x^2} = 0$$

$$\Rightarrow 105 - 20x + x^2 = 5 + x^2$$

$$\Rightarrow 100 - 20x = 0$$

$$\Rightarrow x = 5$$

(Mi-chemin entre les deux)

Si $m = 1$:

$$\sqrt{105 - 20x + x^2} - \sqrt{5 + x^2} = 4$$

$$\Rightarrow 105 - 20x + x^2 = \left(4 + \sqrt{5 + x^2}\right)^2$$

$$\Rightarrow 105 - 20x + x^2 = 16 + 8\sqrt{5 + x^2} + (5 + x^2)$$

$$\Rightarrow 84 - 20x = 8\sqrt{5 + x^2}$$

$$\Rightarrow 7056 - 3360x + 400x^2 = 64(5 + x^2)$$

$$\Rightarrow 6736 - 3360x + 336x^2 = 0$$

$$\Rightarrow x \in \{2.7746, 7.2254\}$$

2. (20 points) Un instrument de vision astronomique particulier est équipé d'une fente mince de 0.05 mm de largeur, située à 3 m d'un écran. Lorsqu'il observe une étoile lointaine, un patron de diffraction est créé. Supposons que les deux premiers minima de diffraction sont, respectivement, à 5 mm et 10 mm. La figure 3 illustre la situation.
- (a) (10 Points) Déterminez la longueur d'onde émise par l'objet observé, en nanomètres ;
- (b) (8 Points) Déterminez la température de l'objet observé, en Celsius ;
- (c) (2 Points) Est-ce que cet instrument est utile pour déterminer la température des objets célestes ? Justifiez.

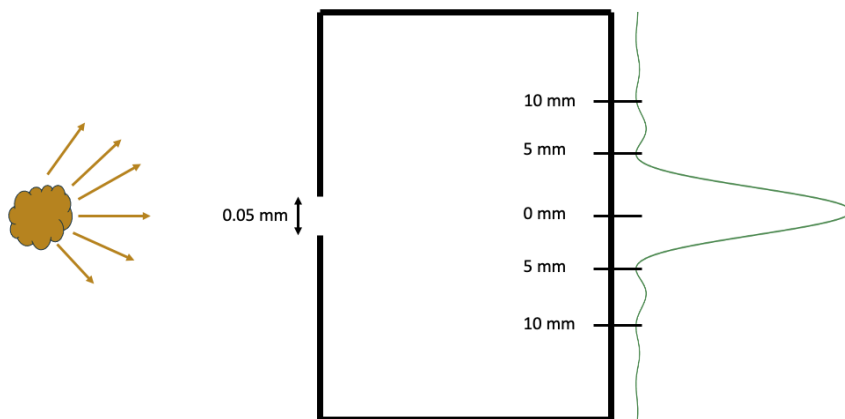


FIGURE 3 – Montage pour la question 2

Lösung:

(a) **Distribution des points :** 3 pts pour la bonne formule, 1 pt pour isoler correctement, 3 pts pour le calcul avec les bonnes unités, 2 pts pour la réponse, 1 pt pour ne prendre qu'une valeur de M .

Ici, il faut trouver λ . Les minima de diffraction sont, ici, $y_{M=+1} = 5 \text{ mm}$ et $y_{M=+2} = 10 \text{ mm}$.

De façon générale, $y_M = M\lambda L/a$ ou $\lambda = \frac{y_M a}{LM}$. Puisque la longueur est la même, ce n'est pas important quel minimum on regarde. Par plaisir, prenons $M = +2$:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{y_2 a}{2L} \\ &= \frac{10 \text{ mm} \cdot 0.05 \text{ mm}}{2 \cdot 3000 \text{ mm}} \\ &\approx 8.3333 \cdot 10^{-5} \text{ mm} \\ &\approx 83.333 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \\ &\approx 83.333 \text{ nm} \\ &\approx 83.333 \cdot 10^{-9} \text{ m} \end{aligned}$$

(b) **Distribution des points** : 2 pts pour la formule, 1 pt pour bien isoler, 2 pts pour le calcul avec les bonnes unités, 1 pt pour la conversion, 2 pts pour la réponse.

Puisqu'il s'agit d'un corps noir, la longueur d'onde et la température sont directement reliées :

$$\begin{aligned}\lambda_{\max} &= 2.898 \cdot 10^{-3} / T \\ \Rightarrow T &= \frac{2.898 \cdot 10^{-3}}{83.333 \cdot 10^{-9}} \\ &= 34\,776 \text{ K} \\ &= 34\,503 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

(c) **Distribution des points** : 2 pts pour une réponse qui se tient.

Cet instrument peut déterminer la température des objets célestes, puisque la température est directement liée à la longueur d'onde émise. De plus, le patron de diffraction dépendra de la longueur d'onde. Ainsi, en trouvant les minima, on trouve la température !

3. (15 points) Des photons d'une certaine énergie sont déviés par diffusion Compton, avec un angle de 60 degrés. Sachant que l'énergie des photons résultants est de 10 keV, déterminez :
- (a) (8 Points) L'énergie initiale des photons, en keV. Est-ce que ce résultat est raisonnable ?
- (b) (7 Points) La vitesse des électrons émis (en fraction de la vitesse de la lumière), si les photons déjà déviés font de l'effet photo-électrique sur du plomb, ayant une énergie de liaison de 8 keV.

Lösung:

- (a) **Distribution des points :** Plusieurs chemins possibles. En général, 6 pts pour la formule et le calcul, 2 pts pour la réponse.

$$\theta = 60^\circ, E'_\gamma = 10 \text{ keV.}$$

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

$$10 \text{ keV} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{511 \text{ keV}} (1 - \cos 60^\circ)}$$

$$= \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{511 \text{ keV}} (1/2)}$$

$$\Rightarrow 10 \text{ keV} \left(1 + \frac{E_\gamma}{1022 \text{ keV}} \right) = E_\gamma$$

$$\Rightarrow 10 + \frac{10E_\gamma}{1022} = E_\gamma$$

$$\Rightarrow 10 \cdot 220 + 10E_\gamma = 1022E_\gamma$$

$$\Rightarrow 10 \cdot 220 = 1012E_\gamma$$

$$\Rightarrow E_\gamma \approx 10.0988 \text{ keV}$$

Ce résultat est raisonnable, car $E_\gamma \geq E'_\gamma$.

- (b) **Distribution des points :** Plusieurs chemins possible : 5 pts pour le calcul

et 2 pts pour la réponse. Ici, $\phi = 8 \text{ keV}$:

$$\begin{aligned}\Rightarrow K_e &= E'_\gamma - \phi \\ &= 10 - 2 = 8 \text{ keV}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow K_e = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K_e}{m_e}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \text{ keV}}{511 \text{ keV}/c^2}}$$

$$\Rightarrow v \approx 0.08847 c$$

Les électrons iraient à 8.847% de la vitesse de la lumière.

4. (10 points) Considérons trois polariseurs, chacun tourné d'un angle de ξ , l'un par rapport à l'autre.
- (a) (8 Points) Si de la lumière incidente non-polarisée passe au travers des trois filtres polariseurs, quel doit être l'angle de rotation pour que la lumière résultante ait une intensité 10% de la lumière initiale.
- (b) (2 Points) Est-il important que l'ordre de l'angle demeure le même entre chaque filtre polariseur? En d'autres mots, est-ce qu'ils doivent être tous dans le sens horaire ou anti-horaire l'un de l'autre?

Lösung:

- (a) **Distribution des points** : 1 pt par polariseur (3 pts total), 1 pt pour la relation de 10%, 3 pts pour le calcul adéquat (dont 1 pour \pm), 1 pt pour la réponse.

Après le premier polariseur : $I_1 = I_0/2$.

Après le deuxième polariseur : $I_2 = I_1 \cos^2 \xi = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \xi$.

Après le troisième polariseur : $I_3 = I_2 \cos^2 \xi = \frac{1}{2} I_0 \cos^4 \xi$.

Mais, $I_3 = \frac{1}{10} I_0$.

Donc,

$$\begin{aligned} \frac{1}{10} I_0 &= \frac{1}{2} I_0 \cos^4 \xi \\ \frac{1}{5} &= \cos^4 \xi \\ \pm \sqrt[4]{\frac{1}{5}} &= \cos \xi \\ \xi &= \arccos \left(\pm \sqrt[4]{\frac{1}{5}} \right) \\ \xi &\approx \pm 48^\circ. \end{aligned}$$

- (b) **Distribution des points** : 1 pt pour oui, 1 pt pour une raison courte.

Cela n'a pas d'importance. Tant que l'angle de l'un à l'autre demeure 48° , rien n'empêche que le premier et le dernier soit exactement dans le même sens, tant que l'angle de l'un à l'autre varie de 48° .

2 Choix de Réponse (10 Questions)

Choix de réponse (10 points). Choisissez la réponse qui est la plus exacte.

*Vous n'avez **pas** besoin de justifier votre réponse.*

5. (10 points) Choix de réponse. Choisissez la (les) réponse(s) juste(s).

*Vous n'avez **pas** besoin de justifier votre réponse.*

(a) (1 Point) La lumière est une onde hydraulique :

- Vrai ;
- Faux ;**
- Cela dépend.

(b) (1 Point) Lorsqu'un rayon de lumière est transmis au travers d'une interface, il est possible d'avoir un déphasage de 0 ou de π :

- Vrai ;
- Faux ;**
- Cela dépend.

(c) (1 Point) Pour la lumière, il est équivalent de parler de longueur d'onde λ , de vitesse v ou d'énergie E :

- Vrai ;
- Faux ;**
- Cela dépend.

(d) (1 Point) La différence de marche correspond à la différence de distance entre une source A et un point P et la distance entre une source B et un autre point Q :

- Vrai ;
- Faux ;**
- Cela dépend.

(e) (1 Point) Pour polariser de la lumière, il est possible d'utiliser un matériau ayant une activité optique :

- Vrai ;**
- Faux ;
- Cela dépend.

(f) (1 Point) Un électron libre ne peut avoir que certaines énergies discrètes :

- Vrai ;
- Faux ;**
- Cela dépend.

Les électrons liés à un atome ont leurs niveaux d'énergie discrétisés, par les libres.

- (g) (1 Point) Parce que la lumière agit comme une particule, il est possible d'avoir de l'interférence :
- Vrai ;
 - Faux** ;
 - Cela dépend.
- (h) (1 Point) Le critère de Rayleigh sert à déterminer la résolution spatiale d'un appareil d'optique :
- Vrai** ;
 - Faux ;
 - Cela dépend.
- (i) (1 Point) Dans un montage de diffraction, plus la taille de la fente est petite et plus les minima de diffraction sont éloignées :
- Vrai** ;
 - Faux ;
 - Il manque d'informations.
- (j) (1 Point) La lumière agit dans certains cas plus comme une onde et dans d'autres cas plus comme une particule :
- Vrai** ;
 - Faux.

3 Questions à Court Développement (5 Questions)

6. (5 Points) La figure 4 montre les sections efficaces de différentes interactions photon-matière. Sur la figure, indiquez quelle courbe représente : l'effet photo-électrique, la diffusion Compton, la diffusion Rayleigh, la production de paires et l'interaction globale.

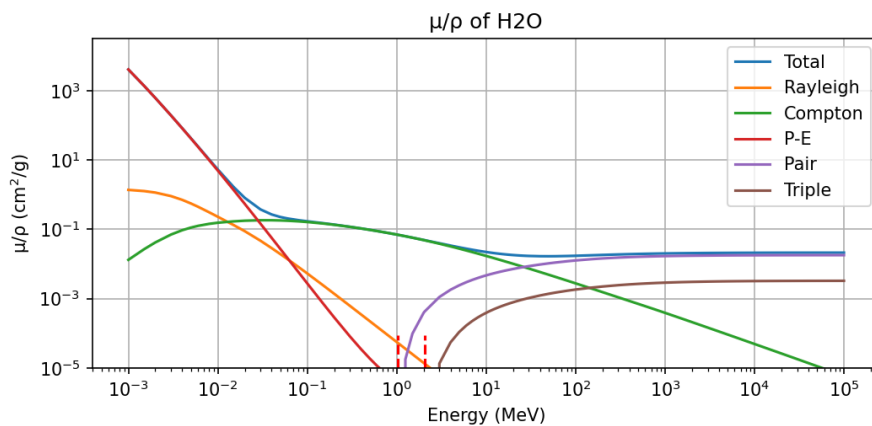


FIGURE 4 – Solution pour la question 6

7. (5 Points) Décrivez brièvement ce qu'est l'objet en physique qui est appelé un corps noir.

Lösung: Distribution des points : 2 pts pour le 100% de réflexion, 3 pts pour la radiation à une température précise.

Un corps noir est un objet absorbant 100% de la radiation incidente. Il n'y a aucune réflexion ni transmission.

Un corps noir est caractérisé par le fait qu'il émet de la radiation répondant à une distribution particulière (loi de Planck). Ce spectre de radiation ne dépend que de la température du corps noir, pas de sa composition.

8. (5 Points) Décrivez brièvement pourquoi les fentes dans l'interférence de Young doivent être suffisamment loin de l'écran.

Lösung: Distribution des points : 3 pts pour approximation des petits angles, 2 pts pour les rayons parallèles.

Pour pouvoir considérer les formules pertinentes, il faut que l'écran soit suffisamment loin pour que l'approximation des petits angles soit valide.

De plus, l'écran doit être suffisamment loin pour considérer les rayons de lumière provenant de chaque fente comme étant parallèles l'un à l'autre.

4 Équations Pertinentes

1.a	Mouvement Harmonique Simple	Position	$x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$
1.b	Mouvement Harmonique Simple	Vitesse	$v(t) = A\omega \cos(\omega t + \phi)$
1.c	Mouvement Harmonique Simple	Accélération	$a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$
1.d	Mouvement Harmonique Simple	Équation Différentielle	$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$
2.	Période		$T = \frac{2\pi}{\omega}$
3.	Fréquence		$f = \frac{1}{T}$
4.a	Fréquence Angulaire	Masse-Ressort	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
4.b	Fréquence Angulaire	Pendule	$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$
5	Onde progressive sinusoïdale		$y(x, t) = A \sin(kx \mp \omega t + \phi)$
6	Vitesse de Propagation		$v = \sqrt{\frac{E}{\mu}}$
7.a	Densité	Linéique	$\mu = \frac{m}{L}$
7.b	Densité	Surfacique	$\sigma = \frac{m}{A}$
7.c	Densité	Volumique	$\rho = \frac{m}{V}$
8	Vitesse de Propagation		$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} = \lambda f$
9	Fréquence Angulaire		$\omega = \frac{2\pi}{T}$
10	Nombre d'Onde		$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
11	Onde Stationnaire		$y(x, t) = A \sin(kx) \cos(\omega t)$
12.a	Onde Résonante	Longueur d'onde	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$
12.b	Onde Résonante	Fréquence	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$
13	Température		$T_K = T_C + 273.15$
14.a	Vitesse du Son	Air K	$v_{\text{son}} \approx 20\sqrt{T_K}$
14.b	Vitesse du Son	Air C	$v_{\text{son}} \approx 331\sqrt{1 + \frac{T_C}{273.15}}$
14.c	Vitesse du Son	Fluide	$v_{\text{son}} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$
15.a	Intensité		$I = \frac{P}{A}$
15.b	Intensité		$I = \frac{P}{4\pi r^2}$
16	Décibels		$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$
17.a	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$

17.b	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$
17.c	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$\lambda_m = \frac{4L}{m}, \quad m \in \{1, 3, 5, \dots\}$
17.d	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$f_m = \frac{mv}{4L}, \quad m \in \{1, 3, 5, \dots\}$
18	Fréquence de Battement		$f_{\text{bat}} = f_1 - f_2 $
19	Effet Doppler		$f' = \left(\frac{v_{\text{son}} \pm v_{\text{obs}}}{v_{\text{son}} \mp v_{\text{source}}} \right) f$
20	Indice de Réfraction		$n_x = c/v_x$
21	Longueur d'onde dans un milieu		$\lambda_x = \lambda_0/n_x$
22	Loi de la Réflexion		$\theta_{\text{incident}} = \theta_{\text{réfléchi}}$
23	Loi de la Réfraction		$n_1 \sin(\theta_{\text{incident}}) = n_2 \sin(\theta_{\text{réfracté}})$
24	Angle Critique		$\theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$
25	Rayon de Courbure		$R = 2f$
26	Loi des Miroirs		$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$
27	Grossissement Miroirs		$G = \frac{-q}{p} = \frac{y_i}{y_o} = \frac{h_i}{h_o}$
28	Vergence		$V = \frac{1}{f}$
29	Loi des Lentilles Minces		$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$
30	Grossissement Transversal		$m = \frac{-q}{p} = \frac{y_i}{y_o} = \frac{h_i}{h_o}$
31	Grossissement Angulaire		$G = \frac{\beta}{\alpha}$
32	Amplitude d'Accommodation		$\Delta V_{\text{acc}} = V_{\text{max}} - V_{\text{min}}$
33	Identités Trigonométriques		$\cos(A) = \sin(A + \pi/2)$
34			$\sin^2(A) + \cos^2(A) = 1$
35			$1 + \tan^2(A) = \sec^2(A)$
36			$1 + \cot^2(A) = \csc^2(A)$
37	Somme		$\sin(A) + \sin(B) = 2 \sin\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$
38			$\cos(A) + \cos(B) = 2 \cos\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$
39	Symétrie		$\cos(-A) = \cos(A)$
40	AntiSymétrie		$\sin(-A) = -\sin(A)$
41	Somme		$\sin(A + B) = \sin(A) \cos(B) + \cos(A) \sin(B)$
42			$\sin(A - B) = \sin(A) \cos(B) - \cos(A) \sin(B)$
43	Inverse		$\cos(\arcsin(x)) = \sin(\arccos(x)) = \sqrt{1 - x^2}$

44	Déphasage		$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$
45		Total	$\Delta\phi_{\text{tot}} = \Delta\phi_\delta + \Delta\phi_r + \Delta\phi_0$
46	Interférence		$\Delta\phi_{\text{tot}} = (2\pi)m, \quad m \in \mathbb{Z}$
47			$\Delta\phi_{\text{tot}} = (2\pi)(m + 1/2), \quad m \in \mathbb{Z}$
48	Différence de Marche		$\delta = r_2 - r_1$
49	Expérience de Young		$d \sin \theta = \delta$
50			$\tan \theta = y/L$
51			$m\lambda = \frac{yd}{L}$
52			$(m + 1/2)\lambda = \frac{yd}{L}$
53	Déphasage	Marche	$\Delta\phi_\delta = \left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda}\right) (2\pi)$
54	Pellicule Mince		$\Delta\phi_\delta = \frac{4\pi en_p}{\lambda_0}$
55	Diffraction		$a \sin \theta = M\lambda, \quad M \in \mathbb{Z}$
56			$\tan \theta = y/L$
57			$y_M = \frac{M\lambda L}{a}$
58	Critère de Rayleigh		$\theta_c = \frac{1.22\lambda}{D}$
59	Loi de Brewster		$\tan \theta_p = n_2/n_1$
60	Loi de Malus		$I = I_0/2 \quad I = I_0 \cos^2 \theta$
61	Loi de Planck		$R(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$
62	Loi du Déplacement Spectral de Wien		$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m K}}{T}$
63	Loi de Stefan-Boltzmann		$I = \sigma T^4$
64	Énergie d'un Photon		$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$
65	Relation Masse-Énergie		$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$
66	Énergie Cinétique		$K = \frac{1}{2} m v^2$
67	Effet Photo-Électrique		$E_y = K_e + \phi$
68	Diffusion Rayleigh		$E'_y = \frac{E_y}{1 + \frac{E_y}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$
69			$\lambda' - \lambda = \left(\frac{h}{m_e c}\right) (1 - \cos \theta)$
70	Approximation des Petits Angles	cos	$\cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2} \approx 1$
71		sin	$\sin x \approx x$
72		tan	$\tan x \approx x$
73	Approximation Binomiale		$(1 + x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$

74	Vitesse de la Lumière dans le Vide	$c = 3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
75	Charge Élémentaire	$q_e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
76	ÉlectronVolt	$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
77	Constante de Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
78	Constante de Boltzmann	$K_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
79	Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Jm}^{-2}\text{K}^{-4}$
80	Masse de l'Électron	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
81		$m_e = 511 \text{ keV}/c^2$
81	Kelvin	$T_K = T_C + 273.15$

Question	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Points	30	20	15	10	10	5	5	5	100
Points Boni	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Obtenus									