

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

docu. permise (1 page recto-verso)

examen imprimé recto-verso

calc. non-prog.

docu. non-permise

feuille de formules

Nom : _____

Prénom : _____

Groupe : 1 2 3

L'examen est sur 100 (+3) points, a 10 questions et compte pour 20% de la note finale.
Il y a un total de 15 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. (25 points) Considérez un laser de 500 nm incident sur deux fentes, distantes l'une de l'autre de 0.20 mm et chacune ayant une largeur de 0.05 mm. Supposez qu'un écran soit à une distance de 2 m. Le but de cette question sera de vous faire tracer le patron apparaissant sur l'écran.
- (a) (10 Points) Pour l'instant, ignorez l'interférence. En ne considérant que la diffraction, quel patron devrait être vu ? Répondez à cette partie en déterminant les positions des trois premiers minima de diffraction.
- (b) (10 Points) Pour l'instant, ignorez la diffraction. En ne considérant que l'interférence, quel patron devrait être vu ? Répondez à cette partie en déterminant les positions des quelques premiers minima de diffraction. Soyez sûr d'en calculer suffisamment pour vous rendre au moins au deuxième minimum de diffraction.
- (c) (5 Points) Illustrez le patron complet (diffraction et interférence) observé sur l'écran.

Lösung: $a = 0.05 \text{ mm}$, $d = 0.20 \text{ mm}$, $L = 2 \text{ m}$ et $\lambda = 500 \text{ nm} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.

- (a) **Distribution des points :** 4 pts pour la bonne formule, 2 pts pour les valeurs (avec les valeurs en unités concordantes), 1 pt par minimum (3 pts au total), 1 pt pour ne pas prendre $M = 0$.

$$\begin{aligned}
 y_{\min, M} &= \frac{M\lambda L}{a} \\
 &= \frac{M \cdot 500 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \cdot 2000 \text{ mm}}{0.05 \text{ mm}} \\
 &= 20M \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_{\pm 1} &= \pm 20 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_{\pm 2} &= \pm 40 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_{\pm 3} &= \pm 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- (b) **Distribution des points :** 4 pts pour la bonne formule, 2 pts pour les valeurs (avec les valeurs en unités concordantes), 2 pts pour les minima jusqu'au

premier minimum de diffraction et 2 pts pour les suivant (4 pts au total).

$$\begin{aligned}
 y_{\min,m} &= \frac{(m + 1/2)\lambda L}{d} \\
 &= \frac{(m + 1/2) \cdot 500 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \cdot 2000 \text{ mm}}{0.20 \text{ mm}} \\
 &= 5(m + 1/2) \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_0 &= 2.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_1 &= 7.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_2 &= 12.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_3 &= 17.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_4 &= 22.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_5 &= 27.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_6 &= 32.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_7 &= 37.5 \text{ mm} \\
 \Rightarrow y_8 &= 42.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(c) **Distribution des points** : 1 pt pour un semblant d'enveloppe de diffraction, 1 pt pour le maximum central d'interférence, 1 pt pour les minima de diffraction, 1 pt pour les minima d'interférence, 1 pt pour des valeurs.

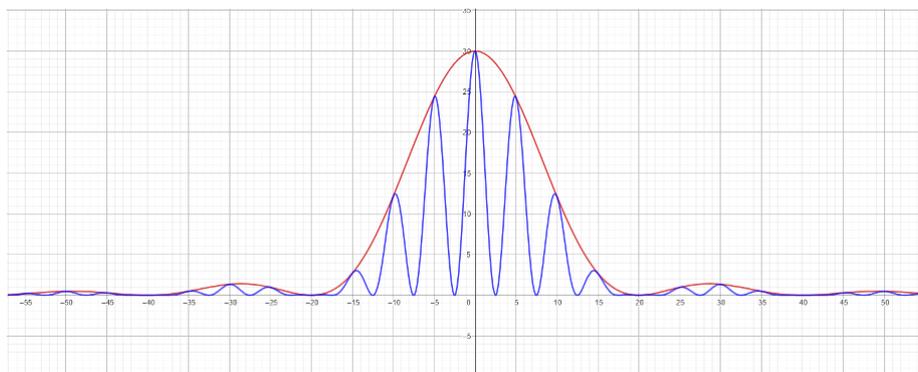


FIGURE 1 – Patron de diffraction et d'interférence pour la figure 1. L'enveloppe de diffraction apparaît en rouge.

2. (25 points) Considérez une pellicule mince, d'épaisseur e et d'indice de réfraction 1.65, telle qu'illustrée à la figure 1. La pellicule est à la surface de l'eau ($n = 1.33$), avec un gaz de CO_2 ($n = 1.000045$) au dessus.
- (a) (11 Points) Quelle est la plus petite épaisseur de pellicule pouvant être utilisée pour que un faisceau de 650 nm soit complètement atténuée, de façon destructive. *Note* : N'oubliez pas de bien justifiez chaque étape pour vous rendre à votre résultat.
- (b) (11 Points) À cette épaisseur, quelles longueurs d'onde entre 350nm et 800nm sont amplifiées ?
- (c) (3 Points) Pour quelle raison pouvons-nous raisonnablement utiliser seulement deux rayons ? En d'autres mots, pourquoi ne considérons-nous pas plus de rayons provenant de plus de réflexions ?

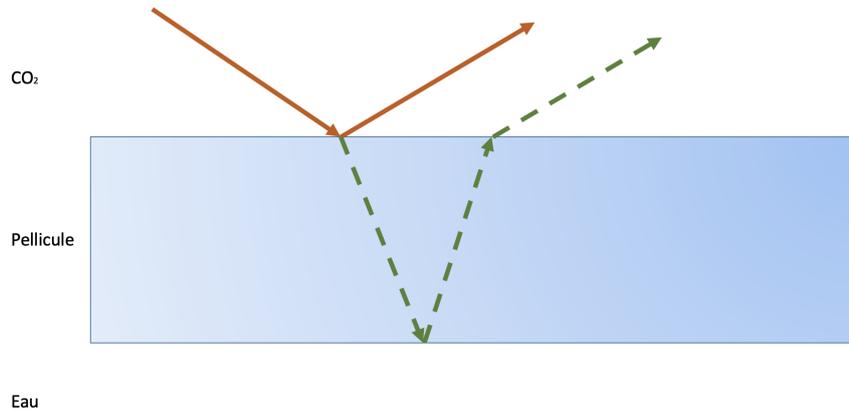


FIGURE 2 – Pellicule mince pour la question 2

Lösung:

- (a) **Distribution des points** : 2 pts pour l'interférence destructive, 1 pt par réflexion (2 pts au total), 1 pt pour le déphasage global de réflexion, 1 pt pour le déphasage de différence de marche, 3 pts pour les calculs, 2 pts pour choisir m plus grand que 0 (même implicitement), 1 pt pour la réponse. Pour avoir une interférence destructive, il faut que $\Delta\phi_{\text{tot}} = (m + 1/2)2\pi$. Pour le déphasage dû aux réflexions, le rayon plein fait une réflexion dure ($1.000045 < 1.65 \Rightarrow \pi$) et le rayon pointillé fait une réflexion molle ($1.65 < 1.33 \Rightarrow 0$).

Donc, $\Delta\phi_r = \pi$.

La partie pour la différence de marche est simplement $\Delta\phi_\delta = \frac{4\pi en_p}{\lambda_0}$.

De façon globale,

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = \Delta\phi_\delta + \Delta\phi_r = \frac{4\pi en_p}{\lambda_0} + \pi$$

$$\begin{aligned} \frac{4\pi en_p}{\lambda_0} + \pi &= (m + 1/2)2\pi \\ \Rightarrow \frac{4\pi en_p}{\lambda_0} + \pi &= 2\pi m + \pi \\ \Rightarrow \frac{2en_p}{\lambda_0} &= m \\ \Rightarrow e &= \frac{\lambda_0 m}{2n_p} \\ &= \frac{650 \text{ nm } m}{2 \cdot 1.65} \\ &\approx 196.97 m \text{ nm} \end{aligned}$$

La plus petite épaisseur est lorsque $m = 1$ (sinon, e est soit 0, négatif, ou plus grand). Dans ce cas, $e_1 = 196.97 \text{ nm}$.

- (b) **Distribution des points** : 2 pts pour l'interférence constructive, 1 pt pour le déphasage total de base, 3 pts pour les calculs, 1 pt pour un k plus grand que 0, 1 pt par réponse essayée (3 pts au total), 1 pt pour la réponse. Maintenant, pour avoir de l'interférence constructive, il faut que $\Delta\phi_{\text{tot}} = k2\pi$ (le k a la même signification que le m , mais sert à différencier la partie (a) de (b)).

$$\begin{aligned} \frac{4\pi en_p}{\lambda_0} + \pi &= k2\pi \\ \Rightarrow \frac{4en_p}{\lambda_0} &= 2k - 1 \\ \Rightarrow \lambda_{0,k} &= \frac{4en_p}{(2k - 1)} \\ &= \frac{1300 \text{ nm}}{2k - 1} \end{aligned}$$

Il faut regarder $k \geq 1$, sinon la longueur d'onde sera négative.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \lambda_{0,1} &= 1300 \text{ nm} \\ \Rightarrow \lambda_{0,2} &= 433.33 \text{ nm} \leftarrow \\ \Rightarrow \lambda_{0,3} &= 260 \text{ nm} \end{aligned}$$

Dans l'intervalle de 350 à 800 nm, seule la longueur d'onde de 433.33 nm sera amplifiée (1300 nm et 260 nm sont hors de cette région).

- (c) **Distribution des points** : 3 pts pour une réponse qui se tient, en mentionnant une diminution de l'intensité ou du genre. Après chaque réflexion, l'intensité du rayon diminue rapidement. Ainsi, après le rayon en pointillé, le suivant aurait une intensité négligeable et n'aurait pas d'impact majeur.

3. (10 points) Lorsque des photons de 5 eV sont incidents sur une plaque de tungstène, les photo-électrons, produits par effet photo-électrique, ont une vitesse de 300 m/s.
- (a) (5 Points) Déterminez la longueur d'onde et la fréquence des photons incidents.
- (b) (2 Points) Déterminez l'énergie cinétique des photo-électrons.
- (c) (3 Points) Déterminez l'énergie de liaison des électrons dans la plaque de tungstène en électronvolts.

Lösung:

- (a) **Distribution des points :** 1 pt pour chaque formule (2 pts total), 1 pt pour la conversion en J, 1 pt par réponse (5 pts total)

$$\begin{aligned}
 E_\gamma &= hf \\
 \Rightarrow f &= E/h \\
 &= \frac{5 \text{ eV} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}}{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} \\
 &\approx 1.2088 \cdot 10^{15} \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \lambda f \\
 \Rightarrow \lambda &= c/f \\
 &= 3 \cdot 10^8 / 1.2088 \cdot 10^{15} \\
 &\approx 2.4816 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\
 &\approx 248.16 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

- (b) **Distribution des points :** 1 pt pour la formule, 1 pt pour la réponse.

$$\begin{aligned}
 K_e &= \frac{1}{2} m_e v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} (300 \text{ 000})^2 \\
 &\approx 4.0995 \cdot 10^{-20} \text{ J} \\
 &\approx 0.2559 \text{ eV}
 \end{aligned}$$

- (c) **Distribution des points :** 1 pt pour la formule, 1 pt pour le calcul, 1 pt pour le résultat en eV.

$$\begin{aligned}
 E_\gamma &= K_e + \phi \\
 \Rightarrow \phi &= E_\gamma - K_e \\
 &= 5 - 0.2559 \\
 &= 4.7441 \text{ eV} \\
 &\approx 7.60 \cdot 10^{-19} \text{ J}
 \end{aligned}$$

4. (15 points) L'écureuil croit avoir découvert de la vie sur une nouvelle planète située à 10^{25} m. Selon son hypothèse, il s'agirait d'une forme de vie microbienne de 3 cm de taille (gros microbe), pouvant être modélisée par un corps noir. Il veut savoir la taille d'instrument dont il aurait besoin pour confirmer ou infirmer son hypothèse. Pour l'aider dans ses démarches, répondez aux questions suivantes.
- (a) (5 Points) L'écureuil estime que cette forme de vie émettra de la radiation à 500 W/m^2 . Quelle est la température de cette forme de vie ?
- (b) (5 Points) À cette température, quelle est la longueur d'onde majoritaire ?
- (c) (5 Points) En supposant que l'écureuil ne doive voir que cette longueur d'onde, quelle doit être la taille minimale de l'ouverture de son appareil de mesure ?

Lösung:

- (a) **Distribution des points** : 1 pt pour la formule, 2 pts pour la réorganisation, 1 pt pour les valeurs, 1 pt pour la réponse.

$$I_{\text{tot}} = \sigma T^4$$

$$\Rightarrow T = (I_{\text{tot}}/\sigma)^{1/4}$$

$$= (500/5.67 \cdot 10^{-8})^{1/4} \approx 306.44\text{K}$$

- (b) **Distribution des points** : 1 pt pour la formule, 1 pt pour le calcul, 1 pt pour la réponse.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \cdot 10^{-3}}{T}$$

$$= \frac{2.898 \cdot 10^{-3}}{306.44}$$

$$\approx 9.457 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 9.457 \mu\text{m}$$

- (c) **Distribution des points** : 2 pt pour le triangle, 1 pt pour mentionner l'approximation des petits angles (ok si garde tan ou prend arctan), 1 pt pour la formule du critère de Rayleigh, 1 pt pour mettre l'angle du triangle et l'angle critique égaux (même implicite), 1 pt pour la réponse.

$$\tan \theta_c = h/L$$

$$\theta_c \approx h/L \quad (\text{par l'approximation des petits angles})$$

$$\theta_c = 1.22\lambda/D$$

$$\Rightarrow D = 1.22\lambda/\theta_c$$

$$D = 1.22L\lambda/h$$

$$= 1.22 \cdot 10^{25} \cdot 9.457 \cdot 10^{-6} / 0.03$$

$$\approx 3.85 \cdot 10^{21} \text{ m}$$

- (d) **Distribution des points** : 1 pt pour dire non avec une réponse décente. Cette réponse n'est pas raisonnable. Il faudrait un détecteur trop gros pour voir un si petit microbe.

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 électromagnétique :

Vrai ;

Faux ;

Il manque d'informations.

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

Vrai ;

Faux ;

Il manque d'informations.

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

Vrai ;

Faux ;

Il manque d'informations.

(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 le même point P :

Vrai ;

Faux ;

Il manque d'informations.

(e) (1 Point) La loi de Brewster indique que n'importe quel rayon de lumière réfléchi est polarisé :

Vrai ;

Faux ;

Il manque d'informations.

(f) (1 Point) La nature quantique des électrons implique que les électrons liés (non-ionisés) peuvent avoir n'importe quelle énergie :

Vrai ;

Faux ;

Il manque d'informations.

- (g) (1 Point) Avec un montage de filtres polariseurs, il est possible d'augmenter l'intensité finale (par rapport à l'intensité initiale) :
- Vrai ;
 - Faux ;**
 - Il manque d'informations.
- (h) (1 Point) Dans un montage d'interférence et de diffraction, plus la taille des fentes est petite et plus les minima de diffraction sont éloignées :
- Vrai ;**
 - Faux ;
 - Il manque d'informations.
- (i) (1 Point) Dans un montage d'interférence et de diffraction, plus la distance entre les fentes est petite et plus les minima d'interférence sont éloignées :
- Vrai ;**
 - Faux ;
 - Il manque d'informations.
- (j) (1 Point) La lumière est :
- Une onde ;**
 - Une particule ;**
 - Un écureuil surexcité ;
 - Un raton laveur suspicieux.

3 Questions à Court Développement (5 Questions)

6. (5 Points) Décrivez brièvement ce qu'est la diffusion Compton et ce qu'est la diffusion Rayleigh. Donnez une différence entre les deux.

Lösung: Distribution des points : 1 pt par description de phénomène (2 pts au total), 3 pts pour une différence.

La diffusion Rayleigh implique la déviation d'un photon incident, sans perte d'énergie. Le nouveau photon aura la même énergie, mais une orientation différente. Il n'y a pas d'éjection d'électron orbital.

La diffusion Compton implique la déviation d'un photon incident, mais avec changement d'énergie. Le nouveau photon aura moins d'énergie, sa nouvelle énergie dépendant de l'angle de déviation. Un électron orbital sera également éjecté, ayant une certaine énergie cinétique.

Il y a plusieurs différences entre les diffusions Compton et Rayleigh, dont la perte d'énergie ou l'éjection d'un électron orbital.

7. (5 Points) Décrivez brièvement un phénomène physique démontrant que la lumière peut être considérée comme une particule.
Décrivez brièvement un phénomène physique démontrant que la lumière peut être considérée comme une onde.

Lösung: Distribution des points : 3 pts pour une explication de un (particule ou onde), 2 pts pour l'autre.

La lumière peut agir comme une particule, comme dans les contextes d'interactions photon-matière : diffusion Rayleigh, diffusion Compton, effet photo-électrique, production de paires.

La lumière peut agir comme une onde, comme pour la diffraction ou l'interférence.

8. (5 Points) Décrivez brièvement ce qu'est la polarisation de la lumière et une méthode d'obtenir de la lumière polarisée à partir de lumière non-polarisée.

Lösung: Distribution des points : 3 pts pour une explication et 2 pts pour une méthode de polarisation.

La polarisation est une cohérence ou une similarité dans les orientations des champs électriques de la lumière (sous forme d'onde). Lorsque les champs sont alignés, la lumière est dite polarisée. Si les champs ne sont pas alignées, on dit que la lumière est non-polarisée.

Deux méthodes de polarisation sont avec la réflexion ou des filtres polariseurs.

9. (2 Points Boni) Donnez l'étymologie des mots suivants :

- (a) Quantique
- (b) Photon
- (c) Himalaya

Pour l'étymologie, vous devez donner la langue d'origine et la signification du mot dans sa langue d'origine.

Note : 1 pt pour l'étymologie complète (langue et sens) du premier mot, 2 pts pour l'étymologie complète des trois mots.

Lösung: Distribution des points : 1 pt le premier mot, 2 pts pour les trois mots.

(a) Quantique : du latin «quantus», signifiant «combien».

(b) Photon : du grec «φῶς» («phôs»), signifiant «lumière».

(c) Himalaya : du sanskrit «hima-alaya», signifiant «résidence de la neige».

10. (1 Point Bonus) Si quelqu'un vous dit que la physique est facile, qu'avez-vous le droit de lui dire de ma part ?

Indice : Oui, oui, vous avez le droit d'écrire cela dans un examen.

Lösung: Bullshit!

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		$\Delta\phi_\delta = \frac{4\pi n_p}{\lambda_0}$
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	9	10	Total
Points	25	25	10	15	10	5	5	5	0	0	100
Points Boni	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
Obtenus											