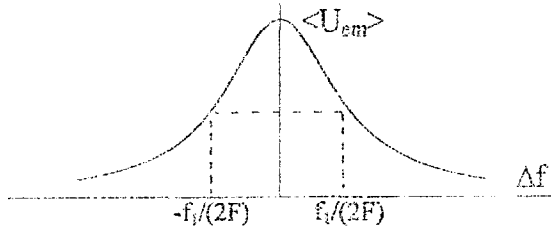


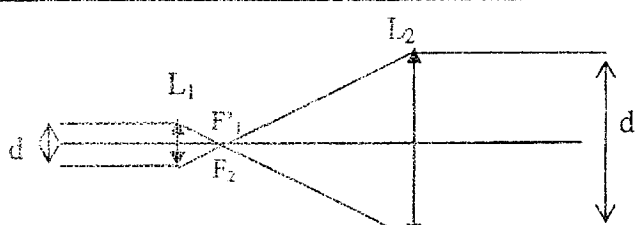
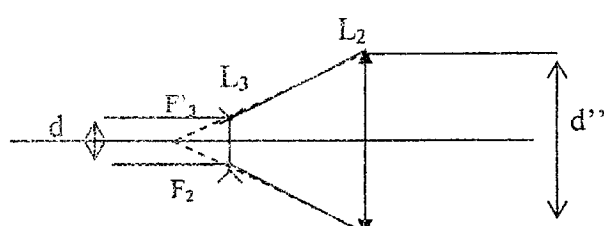


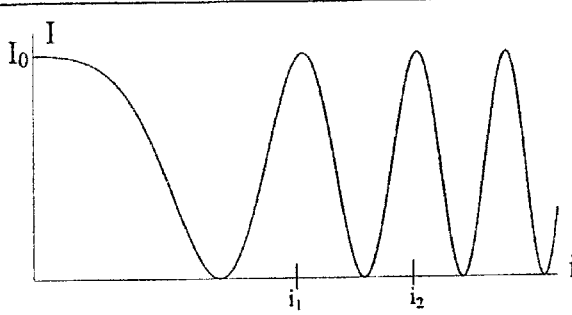
Corrigé du Concours Technologie  
Epreuve de Physique

1. Réflexion d'une onde électromagnétique sur un conducteur parfait		25 pts
1.1.a.	<p><math>\vec{E}_i</math> est solution de l'équation d'onde <math>\Delta \vec{E}_i - (1/c^2) \frac{\partial^2 \vec{E}_i}{\partial t^2} = \vec{0}</math> avec <math>c</math> est la vitesse de la lumière dans le vide et <math>\Delta</math> est l'opérateur laplacien.</p> <p><math>\vec{E}_i</math> se propage suivant <math>Ox \Rightarrow \vec{E}_i = E_0 \cos(\omega t - kx) \vec{e}_y</math></p> <p>En utilisant l'équation de propagation, on montre que : <math>k^2 = (\omega/c)^2</math> d'où <math>\vec{k} = \frac{\omega}{c} \vec{e}_x</math></p>	1 2
1.1.b.	<p><math>\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}</math> en notation complexe, <math>-j\vec{k} \wedge \vec{E} = -j\omega \vec{B} \Rightarrow \vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}</math></p> <p>D'où <math>\vec{B}_i = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t - kx) \vec{e}_z</math></p>	2 2
1.1.c.	<p><math>u_i(x, t) = (\epsilon_0 E_i^2/2) + B_i^2/(2\mu_0) = [(\epsilon_0 E_0^2/2) + B_0^2/(2\mu_0)] \cos^2(\omega t - kx)</math>  <math>= (\epsilon_0 E_0^2) \cos^2(\omega t - kx)</math></p> <p><math>\vec{\Pi}_i = \frac{\vec{E}_i \wedge \vec{B}_i}{\mu_0} = [E_0^2/(\mu_0 c)] \cos^2(\omega t - kx) \vec{e}_x</math></p> <p><math>\langle u_i(x, t) \rangle = \epsilon_0 E_0^2/2</math> et <math>\langle \vec{\Pi}_i(x, t) \rangle = [E_0^2/(2\mu_0 c)] \vec{e}_x = c \langle u_i(x, t) \rangle \vec{e}_x</math></p>	2 2 2
1.2.a.	$\vec{E} = \vec{j} / \gamma$ le vecteur densité de courant reste fini d'où $\vec{E}_{\text{metal}} = \vec{0}$	2
1.2.b.	<p><math>\text{rot } \vec{E}_{\text{metal}} = -\frac{\partial \vec{B}_{\text{metal}}}{\partial t} = \vec{0} \Rightarrow \vec{B}_{\text{metal}} = \text{cte} \Rightarrow</math> en absence du champ magnétique statique <math>\vec{B}_{\text{metal}} = \vec{0}</math></p>	1 1
1.3.a.	$(\vec{E}_{\text{metal}} - \vec{E}_{\text{vide}})_{x=0} = (\sigma/\epsilon_0) \vec{e}_x \Rightarrow (\vec{E}_{\text{vide}})_{x=0} = -(\sigma/\epsilon_0) \vec{e}_x$	2
1.3.b.	On peut expliquer $\vec{E}_r$ comme le champ rayonné par les électrons du conducteur qui sont mis en mouvements par $\vec{E}_i$ .	2
1.3.c.	<p>On a <math>(\vec{E}_i + \vec{E}_r)_{x=0} = \vec{0}</math> et <math>\vec{k}_r = -\frac{\omega}{c} \vec{e}_x</math> d'où <math>\vec{E}_r = -E_0 \cos(\omega t + kx) \vec{e}_y</math> et <math>\vec{B}_r = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t + kx) \vec{e}_z</math> (onde plane).</p>	2



2. Modes propres d'une cavité		30 pts
2.1.	Le champ électrique est tangent aux conducteurs d'où : $\vec{E}(0, t) = \vec{E}(L, t) = \vec{0}$	2
2.2.	$\vec{E}(0, t) = \vec{0} \Rightarrow E_1 + E_2 = 0 \Rightarrow E_1 = -E_2$ $\vec{E}(L, t) = \vec{0} \Rightarrow E_2 (\exp(jkL) - \exp(-jkL)) = 0 \Rightarrow \sin(kL) = 0$ d'où $k_n = n\pi/L$ Dans le vide, $k_n = 2\pi f_n/c \Rightarrow f_n = nc/(2L) = n f_1$ avec $f_1 = c/(2L)$ $n \in \mathbb{N}$	1 2
2.3.	$\vec{E}_n = 2E_1 \sin(\frac{n\pi x}{L}) \exp j(\frac{n\pi c}{L}t - \frac{\pi}{2}) \vec{e}_y$ (ou $\vec{E}_n = -2jE_1 \sin(\frac{n\pi x}{L}) \exp j(\frac{n\pi c}{L}t) \vec{e}_y$ ) Le terme de propagation $x$ et $t$ disparaît. Les variables $x$ et $t$ sont séparées : c'est une onde stationnaire.	1 1
2.4.	$\vec{E}_n(x_p, t) = \vec{0} (\forall t) \Rightarrow \sin(n\pi x_p/L) = 0$ d'où $x_p = pL/n$ $p \in \mathbb{N}$ La distance entre deux valeurs consécutives de $x_p$ est $L/n = \lambda_n/2$	1 1
2.5.	$\text{rot} \vec{E}_n = -\frac{\partial \vec{B}_n}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial E_n}{\partial x} \vec{e}_z = -j\omega_n \vec{B}_n \Rightarrow$ $\vec{B}_n = 2 \frac{E_1}{c} \cos(\frac{n\pi x}{L}) \exp j(\frac{n\pi c}{L}t) \vec{e}_z$ $\cos(n\pi x'_p/L) = 0 \Rightarrow x'_p = (p + 1/2)L/n$	2 1
2.6.	$\langle u_{em} \rangle = \langle (\epsilon_0 E_n^2/2) + B_n^2/(2\mu_0) \rangle = \epsilon_0 E_1^2 \Rightarrow \langle U_{em} \rangle = \langle u_{em} \rangle SL = \epsilon_0 SL E_1^2$	2
2.7.	$\langle U_{em} \rangle$ passe par un maximum lorsque $2kL = 2n\pi = 4\pi f_n L/c \Rightarrow$ $f_n = nc/(2L) = n f_1$ $n \in \mathbb{N}$ ces fréquences sont celles trouvées en 2.2	1 1
2.8.a	$\cos(2kL) = \cos(4\pi fL/c) = \cos(2\pi f/f_1) = \cos[2\pi(f_n + \Delta f)/f_1] =$ $\cos[2\pi\Delta f/f_1] \approx 1 - \frac{1}{2}(2\pi\Delta f/f_1)^2$ On obtient $\langle U_{em} \rangle \approx SL \frac{\epsilon_0}{2} E_0^2 \frac{1+R}{1-R} \frac{1}{1 + \frac{4\pi^2 R}{(1-R)^2} (\frac{\Delta f}{f_1})^2} = \frac{U_{max}}{1 + 4F^2 (\frac{\Delta f}{f_1})^2}$ avec $U_{max} = SL \frac{\epsilon_0}{2} E_0^2 \frac{1+R}{1-R}$ et $F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$	2 1+1
2.8.b	 La courbe passe par un maximum pour $\Delta f = 0$ et par $U_{max}/2$ pour $\Delta f = \pm f_1/(2F)$ La largeur à mi-hauteur est alors $(f_1/F)$	3 1
2.8.c	L'intervalle où se situe majoritairement l'énergie est $(f_1/F)$ , qui est plus faible lorsque $F$ augmente.	1
2.9.a.	$f_n = nc/(2L_n) \Rightarrow L_n = nc/(2f_n) = n\lambda/2$	1
2.9.b.	$\langle U_{em} \rangle \geq \frac{U_{max}}{2} \Rightarrow  \Delta f  = f - f_n \leq (f_1/2F) \Rightarrow f \leq f_n + (f_1/2F) = \frac{c}{2L} (n + \frac{1}{2F})$	

	$L \leq \frac{c}{2f} \left( n + \frac{1}{2F} \right) \text{ or } c = \lambda f \Rightarrow L \leq \frac{\lambda}{2} \left( n + \frac{1}{2F} \right) \Rightarrow L - L_n \leq \frac{\lambda}{4F}$ $\Rightarrow  \Delta L  \leq \frac{\lambda}{4F} \quad \text{Dans le visible, } \frac{\lambda}{4F} \approx 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ <p>une condition très difficile à réaliser.</p>	3 1
<b>3. Etude d'un faisceau laser</b>		<b>20 pts</b>
3.1.	La couleur de cette lumière est rouge.	1
3.2.	Dans le cas d'une lumière non polarisée, l'onde peut être décomposée suivant deux vibrations perpendiculaires. Une suivant la direction du polariseur, par exemple. Ces deux vibrations ont, en moyenne, des intensités égales (état de polarisation aléatoire). L'intensité de l'onde transmise est alors $P = 0,5 \text{ mW}$ .	2
3.3.	Pour une onde plane $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$ et $\left\  \vec{\Pi}(x, t) \right\  = E_0^2 / (\mu_0 c)$	2
	or $P = \left\  \vec{\Pi}(x, t) \right\  \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow E_0 = 495 \text{ V/m}$ et $\left\  \vec{\Pi}(x, t) \right\  = 325 \text{ W/m}^2$	2
3.4.	i/ La lumière de figure 4 est polarisée rectilignement suivant la direction du polariseur. Pour obtenir de la lumière polarisée elliptiquement, il suffit de placer la lame quart-d'onde, telle que ses axes neutres font un angle $\alpha$ avec l'axe du polariseur.	2
	ii/ Pour montrer que la lumière est polarisée elliptiquement, il suffit de tourner l'analyseur (son axe) un tour complet et vérifier que l'intensité ne s'annule pas et varie entre deux valeurs $I_{\max}$ et $I_{\min}$ .	2
3.5	 <p>1<sup>er</sup> cas deux lentilles convergentes <math>L_1</math> et <math>L_2</math></p> $\frac{d'}{d} = \frac{f'_2}{f'_1} = 20 \Rightarrow d' = 28 \text{ mm}$ <p>2<sup>ème</sup> cas une lentille convergente <math>L_2</math> et une lentille divergente <math>L_3</math></p>  $\frac{d''}{d} = -\frac{f'_2}{f'_3} = 20 \Rightarrow d'' = d' = 28 \text{ mm} \quad D = d' = d''$	2 2 1
3.6.a.	Le faisceau laser est diaphragmé par l'ouverture circulaire de sortie. C'est le phénomène de diffraction de la lumière.	2
3.6.b.	Le faisceau aura une forme conique. L'énergie est concentrée dans une cone d'ouverture $2\theta$ . $2\theta \approx \frac{2\lambda}{d}$ $2\theta \approx 9 \cdot 10^{-4} \text{ rd}$	2

4. Phénomène d'interférences et influence de la largeur spectrale		25 pts
4.A.1.a.	$\delta = 2 e \cos i$	2
4.A.1.b.	Pour un $i$ donné, $\delta$ reste constante à l'infini $\Rightarrow$ les franges d'interférences sont des anneaux « d'égale inclinaison ».	2
4.A.2.	$p = \delta/\lambda_0 = (2 e \cos i)/\lambda_0 \Rightarrow p_0 = 2 e/\lambda_0$ $p < p_0 \Rightarrow p_1 = p_0 - 1$	3
4.A.3.	$p_0 = 73260 \quad p_1 = 73259 \quad p_2 = 73258 \quad p_3 = 73257$ $p_k = p_0 - k = (2 e \cos i_k)/\lambda_0 \quad \cos i_k = (p_0 - k)/p_0 = 1 - (k/p_0) \Rightarrow$ $1 - \frac{i_k^2}{2} \approx 1 - \frac{k}{p_0} \quad i_k = \sqrt{\frac{2k}{p_0}} = \sqrt{\frac{k\lambda_0}{e}}$	2
	$i_1 = 5,225 \cdot 10^{-3} \text{ rd} \quad i_2 = 7,389 \cdot 10^{-3} \text{ rd} \quad i_3 = 9,050 \cdot 10^{-3} \text{ rd}$	3
4.A.4.	$\underline{A}(M) = A_0 e^{j\varphi_0} (1 + e^{-j2\pi\delta/\lambda_0})$ $I(M) = \underline{A} \cdot \underline{A}^* = I_0 \cos^2 \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} = \frac{I_0}{2} (1 + \cos(2\pi p_0 \cos i))$	2
4.A.5	 <p>Variation non linéaire</p>	3
4.B.1.	$dI_0 \rightarrow dI = \frac{dI_0}{2} (1 + \cos(4\pi e \sigma \cos i)) \Rightarrow$ $I = \frac{I_0}{2\Delta\sigma_0} \int_{\sigma_0 - \frac{\Delta\sigma_0}{2}}^{\sigma_0 + \frac{\Delta\sigma_0}{2}} (1 + \cos(4\pi e \sigma \cos i)) d\sigma$ $= \frac{I_0}{2} [1 + \sin c(2\pi e \Delta\sigma_0 \cos i) \cos(4\pi e \sigma_0 \cos i)]$	3
	D'où $V = \frac{\sin(2\pi e \Delta\sigma_0 \cos i)}{2\pi e \Delta\sigma_0 \cos i}$ et $\varphi = 4\pi e \sigma_0 \cos i$	2
4.B.2.	La fonction $\text{sinc}(x)$ s'annule pour la première fois pour $x = \pi$ Au centre ( $i = 0$ ), $V$ s'annule pour $e_0 = 1/(2\Delta\sigma_0)$	1
	$V = \text{sinc}(\pi/e_0) = 0.408$ interférences peu visibles.	2