

UE4 – Physique

Annales Classées

IMAGERIE

SUJET

Imagerie infrarouge et autisme

L'impact des émotions sur la température de la peau du visage apparaît sur des images infrarouges, en particulier au niveau du nez et des joues. De telles images aident au diagnostic de l'autisme. On mesure chez un sujet normal la température $T_n = 28^\circ\text{C}$ sur une surface $S_n = 5\text{ cm}^2$ du nez et $T_j = 29^\circ\text{C}$ sur la surface $S_j = 40\text{ cm}^2$ d'une joue. Pour un sujet autiste, on mesure des valeurs plus élevées de $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ aux mêmes endroits et sur les mêmes surfaces. On rappelle que l'intensité I du rayonnement thermique varie avec la température T selon $I = \sigma T^4$, avec la constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-4}$. La peau émet des ondes qu'on admettra sphériques, sur un angle solide $\Delta\Omega = 2\pi$. On néglige l'absorption du rayonnement dans l'air. La caméra, située à une distance $D = 0,6\text{ m}$ des visages, a une surface collectrice $\Sigma = 15\text{ cm}^2$.

Question 6 **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. la peau du nez perd plus d'énergie par unité de surface que la peau des joues.
- B. l'intensité lumineuse émise par les joues est supérieure à celle émise par le nez.
- C. les joues du sujet autiste perdent plus d'énergie par unité de surface que celles du sujet normal.
- D. le maximum d'intensité du rayonnement émis par le nez est à plus haute fréquence que celui émis par les joues.
- E. le maximum d'intensité du rayonnement émis par le nez est à plus basse fréquence que celui émis par les joues.

Question 7 On s'intéresse aux puissances P_n et P_j émises par le nez et la joue du sujet normal. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. P_n varie avec la distance de mesure.
- B. P_j est indépendante de la distance de mesure.
- C. $P_j/P_n > 8$
- D. $P_j/P_n = 8$
- E. $P_j/P_n < 8$

Question 8 Calculer la puissance P_j émise par la joue du sujet normal. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $P_j = 0,16\text{ mW}$
- B. $P_j = 0,4\text{ W}$
- C. $P_j = 1,9\text{ W}$
- D. $P_j = 188\text{ W}$
- E. $P_j = 19\text{ kW}$

Question 9 Calculer l'intensité lumineuse I_c reçue par la caméra en provenance de la joue du sujet normal.

Laquelle des propositions suivantes est exacte :

- A. $I_c = 7 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$
- B. $I_c = 0,4 \text{ W/m}^2$
- C. $I_c = 0,5 \text{ W/m}^2$
- D. $I_c = 0,84 \text{ W/m}^2$
- E. $I_c = 42 \text{ W/m}^2$

Question 10 Calculer la puissance lumineuse P_c qui pénètre dans la caméra en provenance de la joue du sujet normal. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $P_c = 0,1 \text{ mW}$
- B. $P_c = 0,6 \text{ mW}$
- C. $P_c = 1,3 \text{ mW}$
- D. $P_c = 7,5 \text{ W}$
- E. $P_c = 12 \text{ W}$

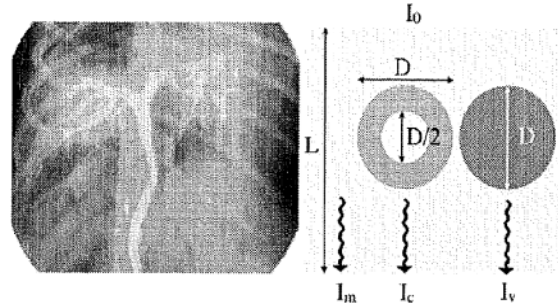
Question 11 Calculer la variation relative d'intensité, dI/I , entre l'émission thermique du nez du sujet autiste et du sujet normal. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $dI / I = -0,3 \%$
- B. $dI / I = +0,3 \%$
- C. $dI / I = +1,3 \%$
- D. $dI / I = +3,6 \%$
- E. $dI / I = +14,3 \%$

2019

Radiographie de la veine porte (Questions 7 et 8)

L'image en rayon X ci-contre montre une veine porte et ses ramifications ainsi que la colonne vertébrale et les côtes. La veine et les côtes ont un diamètre $D = 1$ cm. Le coefficient d'absorption des tissus mous, aux énergies des rayons X utilisés, vaut $\mu_m = 50 \text{ m}^{-1}$. L'opacifiant iodé injecté dans la veine pour la faire ressortir a un coefficient d'absorption $\mu_v = 20 \mu_m$. Les côtes ont un coefficient d'absorption $\mu_c = 9 \mu_m$ dans la partie osseuse et un coefficient égal à μ_m dans la moelle interne de diamètre $D/2$. Les rayons X parallèles traversent une longueur totale L de tissus. L'intensité I_0 pénètre sur la face arrière et on s'intéresse aux intensités détectées suivantes: I_m au travers des seuls tissus mous, I_c vers le centre d'une côte et I_v vers le centre de la veine.



Question n°7

Exprimer ces intensités. **Cocher la (ou les) proposition(s) vraie(s) :**

- A. $I_m = I_0 e^{-\mu_m L}$
- B. $I_v = I_0 e^{-\mu_m L} e^{-\mu_v D}$
- C. $I_v = I_m e^{(\mu_m - \mu_v) D}$
- D. $I_c = I_0 \times e^{(\mu_m - \mu_c) D}$
- E. $I_c = I_m \times e^{(\mu_m - \mu_c) D/2}$

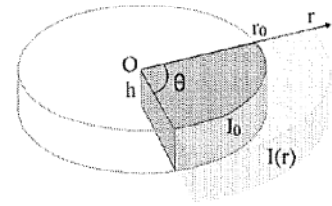
Question n°8

Calculer le rapport des intensités I_v/I_c détectées entre la côte et la veine. **Cocher la proposition vraie:**

- A. $\frac{I_v}{I_c} = e^{-9,5}$
- B. $\frac{I_v}{I_c} = e^{-7,5}$
- C. $\frac{I_v}{I_c} = e^{-5,5}$
- D. $\frac{I_v}{I_c} = e^{-4,75}$
- E. $\frac{I_v}{I_c} = e^{+2}$

Scanner X (Question 9)

Un scanner X tridimensionnel utilise souvent un faisceau de rayons X en éventail. Les ondes électromagnétiques cylindriques sont confinées dans un secteur de largeur angulaire θ et d'épaisseur h . Une intensité I_0 pénètre dans le patient à la distance r_0 de la source. Exprimer l'intensité $I(r)$, émergente de l'autre côté du patient, à la distance r de la source, à travers des tissus mous de coefficient d'absorption μ .



Question n°9

Cocher la (ou les) proposition(s) vraie(s) :

A. L'énergie des rayons X est inchangée à la transition air-tissus

B. $\frac{I(r)}{I_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$

C. $\frac{I(r)}{I_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 e^{-\mu r}$

D. $\frac{I(r)}{I_0} = \frac{r_0}{r} e^{-\mu(r-r_0)}$

E. L'intensité I_0 diminue de moitié si on double l'ouverture θ du faisceau

Effets thermiques de la nicotine

La prise de nicotine affecte la circulation sanguine périphérique. Les effets sont visibles sur les images infrarouges des mains d'une série de patients. Une demi-heure après l'ingestion de nicotine, la température initiale moyenne $T = 31^{\circ}\text{C}$ de la peau au dos des mains diminue de 1°C .

Question n°1

Calculer la variation relative $\Delta P/P$ de puissance thermique rayonnée par le dos de la main d'un patient entre les deux prises d'images (après moins avant). **Cocher la proposition vraie :**

- A. $\Delta P/P = 0$
- B. $\Delta P/P = -0,3\%$
- C. $\Delta P/P = -1,3\%$
- D. $\Delta P/P = -3,2\%$
- E. $\Delta P/P = -12,9\%$

2016

Diagnostic infrarouge de brûlures

On se sert d'images infrarouges pour diagnostiquer l'importance de brûlures car la zone inflammatoire d'une brûlure superficielle est plus chaude que la peau normale, alors qu'une zone de brûlure profonde est plus froide que la peau normale par défaut de vascularisation.

Question n° 12

Sur un patient, on mesure une différence de température $dT_s = +1^\circ\text{C}$ entre une brûlure superficielle et la température $T = 32^\circ\text{C}$ de la peau saine. La caméra infrarouge donne une image de l'intensité thermique I rayonnée localement par la peau normale. On note $(dI/I)_s$ la variation relative d'intensité au niveau de la brûlure superficielle. Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. $(dI/I)_s = +1,3 \%$
- B. $(dI/I)_s = +3 \%$
- C. $(dI/I)_s = +12,5 \%$
- D. la peau brûlée superficiellement perd plus d'énergie par unité de surface que la peau saine.
- E. la peau brûlée superficiellement perd autant d'énergie par unité de surface que la peau saine.

Question n° 13

On mesure une variation relative d'intensité double, en valeur absolue, entre une zone de brûlure profonde et le pourtour de brûlure superficielle: $|dI/I_p| = 2 |dI/I_s|$. Calculer la température T_p de la zone profondément brûlée. Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. $T_p = 24^\circ\text{C}$
- B. $T_p = 28^\circ\text{C}$
- C. $T_p = 30^\circ\text{C}$
- D. la peau brûlée profondément perd moins d'énergie par unité de surface que la peau saine.
- E. la peau brûlée profondément perd plus d'énergie par unité de surface que la peau saine.

Urgence dans la station spatiale

Pour mesurer la température du malade, les astronautes prennent un thermomètre auriculaire qui analyse le rayonnement thermique émis par le tympan (qu'on considérera comme un corps noir parfait). Le rayonnement se propage dans le conduit auditif qu'on considérera comme cylindrique, de même section que le tympan, et de paroi latérale parfaitement réfléchissante. Le détecteur mesure l'intensité lumineuse intégrée sur une petite bande de longueur d'onde, c'est-à-dire une fraction constante de l'intensité totale émise par le corps noir à toutes les longueurs d'onde.

Pour valider leur résultat, les astronautes comparent les mesures prises sur un astronaute sain ($T_1 = 37^\circ\text{C}$) et sur le malade (T_2) ayant la même surface de tympan. Le thermomètre indique une intensité 2% supérieure dans l'oreille du malade par rapport à celle de l'astronaute sain.

6. Cocher la ou les propositions vraies:

- A- on mesure une intensité 4 fois plus forte si on enfonce le thermomètre à 1 cm de distance du tympan plutôt qu'à 2 cm.
- B- on mesure la même intensité à 2 cm et à 1 cm de distance du tympan.
- C- la température du malade vaut $T_2 = 37,5^\circ\text{C}$
- D- la température du malade vaut $T_2 = 38,6^\circ\text{C}$
- E- la température du malade vaut $T_2 = 40,1^\circ\text{C}$

7. Cocher la ou les propositions vraies:

- A- les deux hommes rayonnent dans le domaine radio.
- B- les deux hommes rayonnent dans le domaine infrarouge.
- C- L'homme malade perd plus d'énergie par unité de surface que l'homme sain.
- D- L'homme malade perd moins d'énergie par unité de surface que l'homme sain.
- E- L'homme malade perd autant d'énergie par unité de surface que l'homme sain.

Bain de soleil

Un enfant, de surface de peau S , joue nu en plein soleil. Le Soleil émet une puissance lumineuse L . Il est situé à une distance D de la Terre. Pour les échanges de rayonnement thermique, on considère que la peau de l'enfant et l'air rayonnent comme des corps noirs. On note σ la constante de Stefan.

10. Question

Exprimer l'intensité lumineuse I qui atteint la Terre. Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. I s'exprime en W/m^2
- B. I s'exprime en W m^2
- C. $I = \pi D^2 L$
- D. $I = L / 4 \pi D^2$
- E. $I = L / D^2$

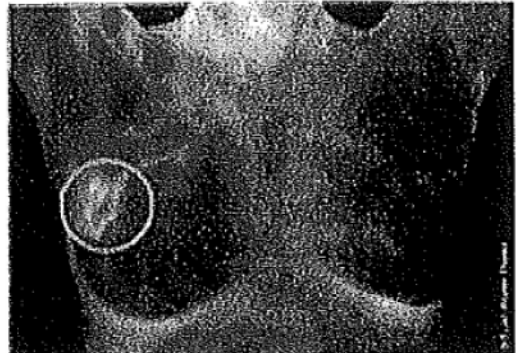
11. Question

Un huitième de l'intensité I solaire précédente atteint le sol. Exprimer la puissance lumineuse solaire $|P_{\text{abs}}|$ absorbée par la peau de l'enfant sachant que la moitié de son corps est exposée au soleil. Cocher **la** proposition vraie:

- A. $|P_{\text{abs}}| = I / (16 S)$
- B. $|P_{\text{abs}}| = I S / 16$
- C. $|P_{\text{abs}}| = I S / 8$
- D. $|P_{\text{abs}}| = I S / 2$
- E. $|P_{\text{abs}}| = 2 I / S$

Détection infra-rouge d'un cancer du sein

L'image infra-rouge ci-contre, prise à $8 \mu\text{m}$ de longueur d'onde, montre le rayonnement thermique émis (dit de corps noir) par une patiente. Le codage de gris sur l'image va du plus sombre au plus clair pour une intensité lumineuse croissante. La région de surbrillance encerclée correspond à une tumeur. Les seins de la patiente ont une température moyenne $T = 35^\circ\text{C}$. La tumeur présente un écart de température $|\delta T| = 2^\circ\text{C}$ en valeur absolue. On la considère comme sphérique, de rayon r . On note σ la constante de Stefan-Boltzmann. L'intensité lumineuse $I(\lambda, T)$ du rayonnement thermique émis à la longueur d'onde λ par un corps à la température T s'exprime dans le cas présent, selon :



$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{hc}{\lambda kT}\right)$$

On définit le contraste $C(\lambda)$ de l'image au niveau de la tumeur comme :

$$C(\lambda) = I(\lambda, T + \delta T) - I(\lambda, T)$$

32. Question

Exprimer la puissance lumineuse P_t de la tumeur. Cochez **la ou les** propositions vraies:

- A. P_t s'exprime en W
- B. P_t s'exprime en W m^{-2}
- C. $P_t = \sigma T^4$
- D. $P_t = \pi r^2 \sigma T^4$
- E. $P_t = 4\pi r^2 \sigma T^4$

33. Question

Calculer l'accroissement relatif de puissance lumineuse entre la tumeur et la même surface sphérique de rayon r dans une partie saine du sein. Cochez **la ou les** propositions vraies:

- A. $\delta P/P = 0.64\%$
- B. $\delta P/P = 2.6\%$
- C. $\delta P/P = 22.9\%$
- D. La tumeur est plus chaude que le sein normal.
- E. La tumeur est plus froide que le sein normal.

34. Question

Exprimer le contraste $C(\lambda)$ en fonction de λ , T et δT en faisant les approximations nécessaires.
Cocher la proposition vraie :

A. $C(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \left[e^{-\frac{hc}{\lambda k \delta T}} - 1 \right]$

B. $C(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \left[e^{-\frac{hc \delta T}{\lambda k T}} - 1 \right]$

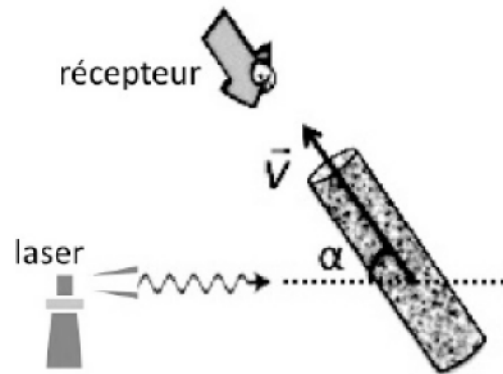
C. $C(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-\frac{hc \delta T}{\lambda k T}}$

D. $C(\lambda) = \frac{2h^2 c^3}{\lambda^6} \frac{\delta T}{k T^2} e^{-\frac{hc}{\lambda k T}}$

E. $C(\lambda) = -\frac{2h^2 c^3}{\lambda^6} \frac{\delta T}{k T^2} e^{-\frac{hc}{\lambda k T}}$

VELOCIMETRIE DOPPLER DES SPERMATOZOÏDES

On mesure la vitesse moyenne des spermatozoïdes d'un échantillon par effet Doppler lumineux. Le tube qui contient l'échantillon est placé dans le faisceau d'un laser rouge, de fréquence $f_0 = 4.7 \cdot 10^{14}$ Hz. Il est incliné sous l'angle $\alpha = 60^\circ$ comme indiqué ci-contre. Pour simplifier, on considère que tous les spermatozoïdes se déplacent parallèlement à l'axe du tube, vers le haut, selon le vecteur $\vec{v}$. On récupère la lumière diffusée par les spermatozoïdes dans un récepteur situé dans l'axe du tube, au-dessus de celui-ci. L'ensemble de l'appareillage est immobile. On note $c = 2.2 \cdot 10^8$ m/s la vitesse de la lumière dans le liquide.



L'expérience ne doit pas endommager les spermatozoïdes. Le laser délivre une puissance lumineuse $P = 1$ mW dans un faisceau cylindrique de rayon $R = 1$ mm. On considère la tête d'un spermatozoïde comme à peu près sphérique, de rayon $r = 2 \mu\text{m}$.

12. Question

Exprimer l'intensité I lumineuse qui atteint un spermatozoïde. Cocher **la** proposition vraie :

- A. $I = P \pi R^2$
- B. $I = P / \pi R^2$
- C. $I = P 4\pi R^2$
- D. $I = P / 4\pi R^2$
- E. $I = P (4/3) \pi R^3$

13. Question

Exprimer la puissance P' reçue par un spermatozoïde. Cocher **la** proposition vraie :

- A. $P' = P$
- B. $P' = P (r/R)$
- C. $P' = P (r/R)^2$
- D. $P' = P (R/r)^2$
- E. $P' = P (r/R)^4$

14. Question

Calculer P' . Cocher **la** proposition vraie :

- A. $P' = 2 \cdot 10^{-3}$ W
- B. $P' = 2 \cdot 10^{-6}$ W
- C. $P' = 4 \cdot 10^{-6}$ W
- D. $P' = 2 \cdot 10^{-9}$ W
- E. $P' = 4 \cdot 10^{-9}$ W

Laser et cornée

Rappel utile pour les calculs analytiques et numériques dans plusieurs questions :

$\exp(\varepsilon) \approx 1 + \varepsilon$ si $\varepsilon \ll 1$

On peut corriger la courbure de la cornée en l'abrasant par laser. Le laser prototype Mark-III fonctionne en infra-rouge et utilise des séries d'impulsions très brèves, de durée $\Delta t_i = 1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ et d'énergie $E_i = 1 \text{ }\mu\text{J}$ par impulsion. Elles sont envoyées toutes les $\theta = 350 \text{ ps}$ pendant une durée $\tau = 6 \text{ }\mu\text{s}$. Les séries de $6 \text{ }\mu\text{s}$ se répètent avec une période $p = (1/30) \text{ s}$. On considère le faisceau lumineux homogène et cylindrique de rayon $R = 50 \text{ }\mu\text{m}$. Il arrive perpendiculairement sur la cornée. On néglige l'absorption dans l'air et la réflexion partielle à la surface de la cornée.

1. Question

Calculer la puissance moyenne P_i d'une impulsion. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $P_i = \Delta t_i E_i$
- B. $P_i = E_i / \Delta t_i$
- C. $P_i = 10^{-18} \text{ W}$
- D. $P_i = 10^6 \text{ W}$
- E. $P_i = 10^6 \text{ J}$

2. Question

Calculer la puissance moyenne P_L du laser sur une période p . Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $P_L = p E_i / (\tau \Delta t_i)$
- B. $P_L = p \Delta t_i E_i / \tau$
- C. $P_L = \tau E_i / (p \theta)$
- D. $P_L = 5.6 \cdot 10^9 \text{ W}$
- E. $P_L = 0.51 \text{ W}$

3. Question

Exprimer l'intensité lumineuse I_0 qui atteint la cornée pendant une impulsion. Cocher **la** proposition vraie :

- A. $I_0 = R P_i$
- B. $I_0 = \pi R^2 P_i$
- C. $I_0 = P_i / R$
- D. $I_0 = P_i / \pi R^2$
- E. aucune des expressions précédentes n'est vraie

4. Question

Calculer I_0 . Cocher **la** proposition vraie :

- A. $I_0 = 7.9 \cdot 10^{-27} \text{ W m}^{-2}$
- B. $I_0 = 1.3 \cdot 10^{-10} \text{ W m}^{-2}$
- C. $I_0 = 7.9 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-2}$
- D. $I_0 = 1.3 \cdot 10^{14} \text{ W m}^{-2}$
- E. $I_0 = 2 \cdot 10^{15} \text{ W m}^{-2}$

La cornée absorbe l'onde lumineuse avec une longueur d'absorption $L = 4,9 \text{ }\mu\text{m}$. On étudie la pénétration d'une impulsion laser dans un petit volume cylindrique de rayon r et d'épaisseur $2r$.

5. Question

Exprimer l'intensité lumineuse $I(2r)$ présente à la profondeur $2r$ sous la surface de la cornée. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. L'intensité lumineuse diminue avec la profondeur
- B. $I(2r) = 2r I_0 / L$
- C. $I(2r) = I_0 (2r / L)^2$
- D. $I(2r) = I_0 e^{2r / L}$
- E. $I(2r) = I_0 e^{-2r / L}$

6. Question

Exprimer l'intensité absorbée I_{abs} dans cette couche d'épaisseur $2r$. On supposera $2r/L \ll 1$. Cocher **la** proposition vraie :

- A. $I_{\text{abs}} = 2r I_0 / L$
- B. $I_{\text{abs}} = - 2r I_0 / L$
- C. $I_{\text{abs}} = I_0 (1 - 2r / L)$
- D. $I_{\text{abs}} = I_0 (1 - 2r / L)^2$
- E. $I_{\text{abs}} = I_0 - e^{-2r / L}$

7. Question

Exprimer l'énergie E_{abs} absorbée dans le petit volume cylindrique lors d'une impulsion. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $E_{\text{abs}} = \pi L^2 I_{\text{abs}} \Delta t_i$
- B. $E_{\text{abs}} = \pi r^2 I_{\text{abs}} \Delta t_i$
- C. $E_{\text{abs}} = \pi r^2 I_{\text{abs}} / \Delta t_i$
- D. $E_{\text{abs}} = 4 \pi r^3 E_i / 3$
- E. $E_{\text{abs}} = 4 \pi r^3 P_i \Delta t_i / 3$

Sortie extra-véhiculaire dans l'espace

La combinaison d'un astronaute doit le protéger de la lumière solaire et du froid spatial lorsqu'il est à l'ombre. Le Soleil émet une puissance lumineuse totale $P_S = 4 \cdot 10^{26}$ W également répartie dans toutes les directions (source isotrope). Il est à la distance $d = 1,5 \cdot 10^{11}$ m. La combinaison blanche réfléchit une fraction $a = 0,8$ de l'intensité lumineuse qui l'atteint. La surface éclairée vaut $S = 1,5$ m².

41) Exprimer l'intensité lumineuse I qui atteint l'astronaute. Cocher **la** proposition vraie.

- A. $I = 4\pi d^2 P_S$
- B. $I = P_S / \pi d^2$
- C. $I = P_S / 2\pi d$
- D. $I = P_S / 2\pi d^2$
- E. $I = P_S / 4\pi d^2$

42) Exprimer la puissance P_{abs} absorbée par la combinaison. Cocher **la ou les** propositions vraies.

- A. $P_{\text{abs}} = I S$
- B. $P_{\text{abs}} = I / S$
- C. $P_{\text{abs}} = a I S$
- D. $P_{\text{abs}} = (1-a) I S$
- E. $P_{\text{abs}} = (1-a) 4\pi d^2 I$

43) Calculer P_{abs} ($\pi \times 1,5^2 = 7$). Cocher **la** proposition vraie.

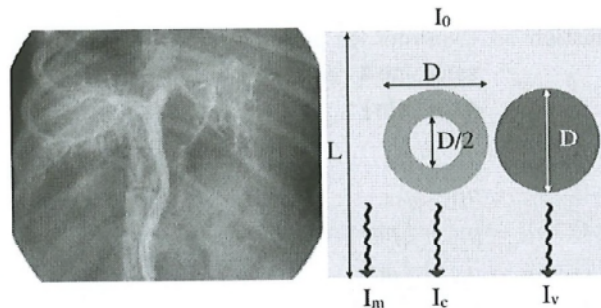
- A. $P_{\text{abs}} = 170$ W
- B. $P_{\text{abs}} = 430$ W
- C. $P_{\text{abs}} = 1700$ W
- D. $P_{\text{abs}} = 2000$ W
- E. $P_{\text{abs}} = 4000$ W

Annales Classées Supplémentaires

2022 Session 2

Thrombose de la veine porte

L'image en rayon X ci-contre montre une veine porte et ses ramifications ainsi que la colonne vertébrale et les côtes. La veine et les côtes ont un diamètre $D = 1 \text{ cm}$. Le coefficient d'absorption des tissus mous, aux énergies des rayons X utilisés, vaut $\mu_m = 50 \text{ m}^{-1}$. L'opacifiant iodé injecté dans la veine pour la faire ressortir a un coefficient d'absorption $\mu_v = 20\mu_m$. Les côtes ont un coefficient d'absorption $\mu_c = 9\mu_m$ dans la partie osseuse et un coefficient égal à μ_m dans la moelle interne de diamètre $D/2$.



Les rayons X parallèles traversent une longueur totale L de tissus. L'intensité I_0 pénètre sur la face arrière et on s'intéresse aux intensités détectées suivantes : I_m au travers des seuls tissus mous, I_c vers le centre d'une côte et I_v vers le centre de la veine.

Question 10 Exprimer ces intensités. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $I_m = I_0 e^{-\mu_m L}$
- B. $I_v = I_0 e^{-\mu_m L} e^{-\mu_v D}$
- C. $I_v = I_m e^{(\mu_m - \mu_v) D}$
- D. $I_c = I_0 e^{(\mu_m - \mu_c) D}$
- E. $I_c = I_m e^{(\mu_m - \mu_c) D/2}$

Question 11 Calculer le rapport des intensités I_v / I_c détectées entre la côte et la veine. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $I_v / I_c = e^{-9,5}$
- B. $I_v / I_c = e^{-7,5}$
- C. $I_v / I_c = e^{-5,5}$
- D. $I_v / I_c = e^{-4,75}$
- E. $I_v / I_c = e^{+2}$

Valeurs et approximations numériques

Développements limités pouvant éventuellement être utiles si $x \ll 1$:

$$(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$$

$$e^x \approx 1 + x$$

$$\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2}$$

Valeurs approchées de logarithmes décimaux, $\log_{10} N$, de logarithmes népériens, $\ln N$, d'exponentielles, e^N , pouvant éventuellement être utiles :

N	$\log_{10} N$	$\ln N$	e^N
0	$-\infty$	$-\infty$	1
1	0	0	2,7
2	0,30	0,69	7,4
3	0,48	1,10	20,1
4	0,60	1,39	54,6
5	0,70	1,61	148
6	0,78	1,79	403
7	0,85	1,95	1 097
8	0,90	2,08	2 981
9	0,95	2,20	8 103
10	1	2,30	$2,203 \times 10^4$
11	1,04	2,40	$5,987 \times 10^4$
12	1,08	2,49	$1,628 \times 10^5$
13	1,11	2,57	$4,424 \times 10^5$
14	1,15	2,64	$1,203 \times 10^6$
15	1,18	2,71	$3,269 \times 10^6$
16	1,20	2,77	$8,886 \times 10^6$
17	1,23	2,83	$2,415 \times 10^7$
18	1,26	2,89	$6,566 \times 10^7$
19	1,28	2,94	$1,785 \times 10^8$
20	1,30	3,00	$4,852 \times 10^8$