NOM :………….……………………………………….

PRENOM :……………………………………………

NUMERO DE CANDIDAT :………………….....

EPREUVE DE PHYSIQUE

DUREE : 1h30mn

Coefficient 5

CONSIGNES SPECIFIQUES

Lire attentivement les consignes afin de vous placer dans les meilleures conditions de réussite de cette épreuve.
Cette épreuve comporte volontairement plus d'exercices que vous ne pouvez en traiter dans le temps imparti.
La raison en est que votre enseignant n'a pas forcément traité l'ensemble du programme de Terminale S.

Vous devez répondre à 45 questions au choix parmi les 60 proposées pour obtenir la note maximale.
Si vous traitez plus de 45 questions, seules les 45 premières seront prises en compte.

Aucun brouillon n'est distribué. Les pages blanches de ce sujet peuvent être utilisées à l'usage de brouillon.
L'usage de la calculatrice ou de tout autre appareil électronique est interdit.
Aucun document autre que ce sujet et sa grille réponse n'est autorisé.

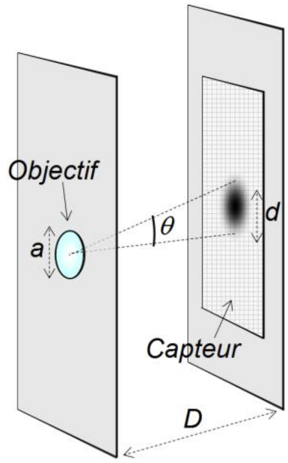
Attention, il ne s'agit pas d'un examen mais bien d'un concours qui aboutit à un classement.
Si vous trouvez ce sujet « difficile », ne vous arrêtez pas en cours de composition, n'abandonnez pas, restez concentré(e). Les autres candidats rencontrent probablement les mêmes difficultés que vous !

Barème :

Une seule réponse exacte par question. Afin d'éliminer les stratégies de réponses au hasard, chaque réponse exacte est gratifiée de 3 points, tandis que chaque réponse fausse est pénalisée par le retrait d'1 point.

Exercice 1

Un smartphone du marché, équipé d'un appareil photo, possède un objectif composé d'une lentille de diamètre $a = 1$ mm. À l'intérieur du boîtier de l'appareil, un capteur de 8 mégapixels et de surface 16 mm^2 est situé à une distance $D = 2{,}8$ mm de l'objectif.
La diffraction, due à la taille de la lentille, limite la résolution de l'appareil photo. L'exercice permettra de comparer la taille de la tache principale de diffraction et la taille d'un pixel.



1) Avec λ la longueur d'onde de la lumière incidente, l'ouverture angulaire θ de la tache centrale de diffraction (la tache d'Airy) **est :**

A) $\theta = \dfrac{\lambda}{D}$

B) $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$

C) $\theta = \dfrac{D}{\lambda}$

D) $\theta = \dfrac{a}{\lambda}$

2) Pour cet appareil photo, la diffraction est un peu moins prononcée dans le cas d'une lumière **:**
A) violette
B) verte
C) jaune
D) rouge

3) La longueur d'onde moyenne du spectre visible est de l'ordre de **:**
A) $\lambda = 5\times10^{-6}$ m
B) $\lambda = 5\times10^{-7}$ m
C) $\lambda = 5\times10^{-8}$ m
D) $\lambda = 5\times10^{-9}$ m

4) L'angle θ étant petit, on fait l'approximation que tan $\theta \approx \theta$**. Le diamètre *d* de la tache centrale de diffraction correspondante, au niveau du capteur, est :**

A) $d = \dfrac{\lambda \cdot a}{D}$

B) $d = \dfrac{D \cdot a}{\lambda}$

C) $d = \dfrac{\lambda \cdot D}{a}$

D) $d = \dfrac{a}{\lambda \cdot D}$

5) Application numérique. Le diamètre moyen *d* de la tache est :
A) $d = 1{,}8$ nm
B) $d = 1{,}4$ µm
C) $d = 1{,}8$ µm
D) $d = 5{,}6$ µm

6) La surface *S* d’un pixel est **:**
A) $S = 2\times10^{-12}$ m^2
B) $S = 2\times10^{-9}$ m^2
C) $S = 2\times10^{-6}$ m^2
D) $S = 2\times10^{-3}$ m^2

À la sortie du capteur, la photo est codée en une suite de nombres. Dans l’encodage « RGB 24 bits » le plus standard (ou RVB), chaque pixel est représenté par 3 nombres de 0 à 255, représentant les intensités lumineuses respectivement de la composante rouge, verte et bleue, de la lumière captée.

7) Dans ce type de codage, un pixel représenté par les nombres (255,255,0) correspond à une lumière :
A) jaune
B) cyan
C) magenta
D) grise

8) En l’absence de compression numérique, l**a taille (en mégaoctets) du fichier (Bitmap) contenant la photo, est :**
A) 4 Mo
B) 8 Mo
C) 16 Mo
D) 24 Mo

On règle le taux de compression de manière à obtenir un fichier JPEG de 4 Mo.
On envoie ce fichier par mail depuis le téléphone mobile, au moyen d’une connexion à un réseau hertzien de quatrième génération (*LTE* ou « 4G ») dont le débit est d’environ 40 Mbps (mégabits par seconde).

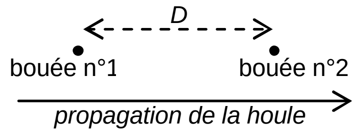
9) La durée théorique du transfert des données (hors durée d’accès au serveur) **est :**
A) 0,1 s
B) 0,8 s
C) 5 s
D) 20 s

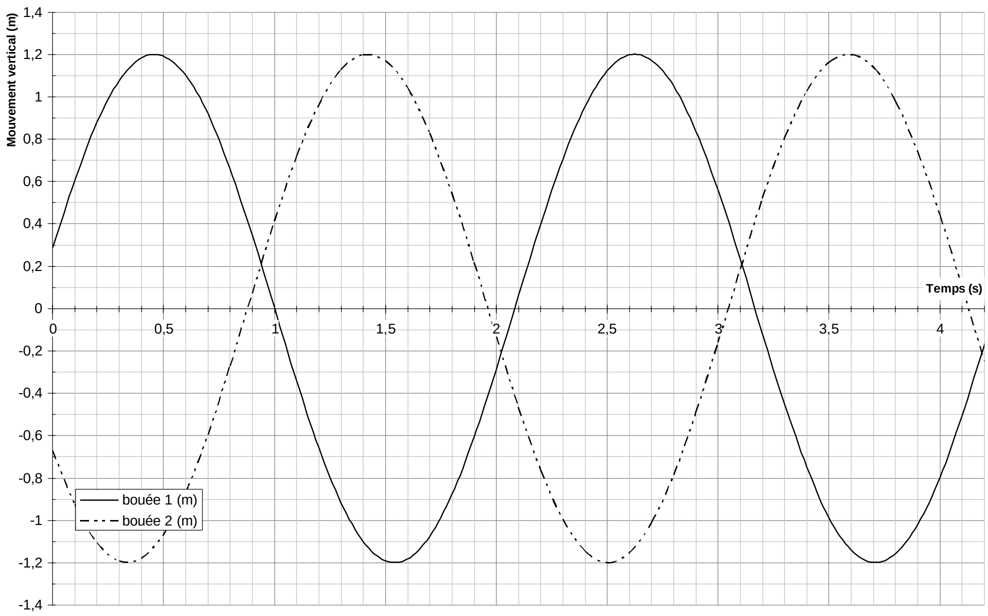
10) Le signal reçu est la somme {signal à transmettre + bruit}. Pour pouvoir le décoder correctement, il faut que le rapport en dB signal / bruit soit au moins de 20 dB. Le rapport entre la puissance du signal reçu et la puissance moyenne des parasites (le bruit) doit être au moins : (on rappelle que $\log 10^n = n$)
A) 2
B) 10
C) 20
D) 100

11) Le signal reçu est amplifié 10 fois. Le nouveau rapport en dB signal / bruit est de :
A) 20 dB
B) 23 dB
C) 30 dB
D) 200 dB

Exercice 2

La houle est constituée de vagues formées par le vent, qui peuvent se propager sur de grandes distances et donc être observées dans des régions dépourvues de vent.
On assimilera la houle à une onde mécanique progressive sinusoïdale. La hauteur de la houle est, par définition, égale au double de l'amplitude mesurée par rapport au niveau de la mer calme.
Deux bouées distantes de D = 50 m sont alignées dans le sens de propagation de la houle (voir schéma ci-contre). Chacune est munie d'un accéléromètre qui enregistre leur déplacement vertical en fonction du temps. Les données recueillies sont présentées dans le graphe ci-dessous :





12) La hauteur *h* de la houle est :
A) h = 1,0 m
B) h = 1,2 m
C) h = 2,1 m
D) h = 2,4 m

13) La période *T* de la houle est :
A) T = 1,19 s
B) T = 2,17 s
C) T = 3,16 s
D) T = 3,63 s

14) La fréquence *f* de la houle est :
A) f = 0,32 Hz
B) f = 0,46 Hz
C) f = 0,67 Hz
D) f = 0,84 Hz

15) Le plus petit retard apparent lu sur le graphique, de la houle entre les deux bouées est :

A) $\Delta t_{app} = 0{,}20$ s
B) $\Delta t_{app} = 0{,}96$ s
C) $\Delta t_{app} = 1{,}09$ s
D) $\Delta t_{app} = 1{,}22$ s

16) Le vrai retard de la houle entre les deux bouées vaut : $\Delta t = 3\times T + \Delta t_{app} =$ 7,5 s. L'expression de la célérité de la houle est **alors :**

A) $v = D \cdot \Delta t$
B) $v = \dfrac{\Delta t}{D}$
C) $v = D \cdot \dfrac{\Delta t}{T}$
D) $v = \dfrac{D}{\Delta t}$

17) La valeur numérique de la célérité est :

A) $v = 6{,}7$ m.s^{-1}
B) $v = 11$ m.s^{-1}
C) $v = 15$ m.s^{-1}
D) $v = 21$ m.s^{-1}

18) La longueur d'onde de **la houle est :**

A) $\lambda = \dfrac{D}{\Delta t}$
B) $\lambda = \dfrac{D \cdot T}{\Delta t}$
C) $\lambda = \dfrac{D \cdot \Delta t}{T}$
D) $\lambda = \dfrac{T}{D \cdot \Delta t}$

19) Quand la hauteur de la houle augmente, on remarque que la période *T* des oscillations augmente, ainsi que la distance *L* entre deux vagues successives. Pour *h* = 10 m, on mesure alors *T* = 5 s et L = 80 m. La célérité est :

A) $v = 8$ m.s^{-1}
B) $v = 16$ m.s^{-1}
C) $v = 40$ m.s^{-1}
D) $v = 62$ m.s^{-1}

20) Dans un milieu donné dit dispersif la vitesse de propagation d'une onde dépend de **sa fréquence. Le milieu de propagation est-il dispersif ?**

A) oui
B) non
C) pour le savoir, il faut encore effectuer le calcul d'une autre grandeur
D) aucun de ces calculs n'est en mesure de le montrer

Depuis 2004, une centrale électrique installée au large de Santona, au nord de l'Espagne, exploite l'énergie de la houle. Elle couvre une surface de 2000 m^2 mais elle est entièrement immergée et ne perturbe pas le trafic maritime. Elle est constituée de compartiments articulés dont les mouvements, sous l'effet des oscillations des vagues, propulsent de l'eau dans une turbine.
Nous allons vérifier l'ordre de grandeur de la puissance électrique générée.
On peut considérer qu'à intervalles périodiques, une masse d'eau se situant au-dessus des 2000 m^2 de la centrale descend d'une hauteur h (la hauteur de la houle). La centrale récupère alors l'énergie potentielle de l'eau.
Dans la suite, on considérera une hauteur h = 1 m. On prendra pour le champ de pesanteur g = 10 $m.s^{-2}$.

21) La valeur de la masse d'eau**, située au-dessus des 2000 m^2, descendant** périodiquement d'une hauteur de 1 m **est :**
A) $m = 2\times10^2$ kg
B) $m = 2\times10^4$ kg
C) $m = 2\times10^6$ kg
D) $m = 2\times10^8$ kg

22) L'énergie potentielle libérée par le mouvement de la cette masse d'eau, considérée **comme due à une vague de houle, est (en prenant comme référence $E_P = 0$ le point le plus bas du mouvement) :**

A) $E_P = \frac{1}{2} m \cdot g \cdot h^2$

B) $E_P = m \cdot g \cdot h^2$

C) $E_P = \frac{1}{2} m \cdot g \cdot h$

D) $E_P = m \cdot g \cdot h$

23) Dans le cas où la période des vagues est de 10 secondes, la puissance moyenne récupérable est :
A) P = 2 MW
B) P = 20 MW
C) P = 200 MW
D) P = 2 GW

Exercice 3

Cet exercice nous envoie dans le futur, quand les fusées atteindront des vitesses proches de la vitesse de la lumière. Il sera alors possible d'envisager la visite d'autres systèmes stellaires, comme Alpha du Centaure (constitué de trois étoiles et au moins une planète), situé à 4,3 années lumière de nous, soit 4×10^{16} m.

La fusée part de la Terre, en direction d'Alpha du Centaure, à t = 0 s à vitesse nulle.
On fera l'approximation que dans le référentiel terrestre, considéré galiléen, la trajectoire de la fusée est une droite.
Durant la phase d'accélération, l'accélération est maintenue constante et limitée à 1 "G" (soit a = 10 $m.s^{-2}$) pour des raisons de confort.
En négligeant les effets relativistes dans un premier temps, on recherche l'ordre de grandeur de la durée de la phase d'accélération.

24) L'accélération étant constante, on peut écrire la relation suivante, avec **Δv la variation de la vitesse pendant la durée Δt :**

A) $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

B) $a = \dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta t}{\Delta v}$

C) $a = \dfrac{1}{2}m\left(\Delta v\right)^2$

D) $a = \dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

25) Pour atteindre une vitesse (presque) égale à la célérité de la lumière dans le vide, la durée Δt de l'accélération **est :**

A) $\Delta t = 1{,}5\times10^7$ s
B) $\Delta t = 3\times10^7$ s
C) $\Delta t = 6\times10^7$ s
D) $\Delta t = 1{,}2\times10^8$ s

26) La distance *d* parcourue lors de cette phase, en fonction du temps, est :

A) $d\left(t\right) = a \cdot t$

B) $d\left(t\right) = \dfrac{1}{2}\cdot a \cdot t^2 + c \cdot t$

C) $d\left(t\right) = \dfrac{1}{2}\cdot a \cdot t^2$

D) $d\left(t\right) = \dfrac{1}{2}\cdot a \cdot t + c \cdot t^2$

Pendant la phase d'accélération, la fusée parcourt la distance $d = 5\times10^{15}$ m. De même, il faudra prévoir une distance identique pour la décélération jusqu'à l'arrivée dans Alpha du Centaure, puisque le problème est symétrique.

27) Dans le référentiel terrestre, la durée de la phase centrale du trajet (à vitesse constante) avant de commencer la décélération, est :

A) $\Delta t = 1\times10^6$ s
B) $\Delta t = 1\times10^7$ s
C) $\Delta t = 1\times10^8$ s
D) $\Delta t = 1\times10^9$ s

Comme la fusée ne peut pas atteindre exactement la vitesse de la lumière dans le vide, on cherche maintenant quelle vitesse précise lui donner pour que malgré tout, dans le référentiel propre de la fusée, le voyage paraisse raisonnablement court.
On donne la relation entre la durée du parcours Δt mesurée depuis la Terre, Δt_0 mesurée dans le référentiel propre de la fusée, v la vitesse de la fusée (par rapport au référentiel terrestre) et c la vitesse de la lumière dans le vide : $\Delta t_0 = \Delta t \cdot \sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}$.

28) Dans le référentiel de la fusée lancée à une vitesse très proche de la célérité de la lumière dans le vide, l'expression de la vitesse ***v'* de la lumière est :**

A) $v' = 0$

B) $v' = c \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

C) $v' = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

D) $v' = c$

29) On souhaite que la phase à vitesse constante dure 100 fois moins longtemps dans le référentiel propre de la fusée que dans le référentiel lié à la Terre. La vitesse *v* de la fusée par rapport à la Terre doit être :

A) $v = c \cdot \sqrt{0,99999}$

B) $v = c \cdot \sqrt{0,9999}$

C) $v = c \cdot \sqrt{0,999}$

D) $v = c \cdot \sqrt{0,99}$

30) À mi-chemin, on envoie depuis la fusée un message radio en direction d'Alpha du **Centaure, à la fréquence f_0 =** 1 GHz. Quelle est l'affirmation **exacte parmi les suivantes :**

A) pour recevoir le message, il faut "écouter" une fréquence supérieure à f_0

B) pour recevoir le message, il faut "écouter" une fréquence inférieure à f_0

C) le message arrivera plus tôt que si la fusée se déplaçait en sens inverse

D) à la réception, le texte du message semblera accéléré

31) Le voyage à bord de la fusée dure environ deux ans. Le message radio que l'on **envoie à mi-parcours** en direction d'**Alpha du Centaure, arrivera à destination :**

A) 1 heure avant la fusée (3×10^3 s)

B) 0,9 an avant la fusée (339 jours)

C) 1,15 an avant la fusée

D) on ne peut pas le dire, cela dépend du référentiel

Exercice 4

En octobre 2012, une équipe de chercheurs européens a découvert une planète en orbite autour d'une des étoiles les plus proches de nous, Alpha du Centaure B.

Quand une planète est en orbite autour de son étoile, l'étoile elle-même n'est pas tout à fait immobile, même quand elle est beaucoup plus massive. En effet, puisque l'étoile exerce une force gravitationnelle sur la planète, la 3$^{\text{ème}}$ loi de Newton implique que réciproquement, la planète exerce la même force gravitationnelle sur l'étoile.

Les chercheurs ont effectué des mesures de la vitesse radiale de l'étoile (la vitesse à laquelle l'étoile s'approche ou s'éloigne de nous). En étudiant les conséquences de l'effet Doppler sur la lumière que l'étoile nous envoie, ils ont déterminé que l'étoile tourne autour du centre de gravité du système {étoile+planète} avec une période de 3×10^5 s (qui correspond aussi à la période de révolution de la planète autour de l'étoile) et une vitesse orbitale moyenne de 0,5 m.s^{-1} (très faible mais mesurable !).

32) On note *T* la période orbitale, *M* la masse de l'étoile, ***a* le demi-grand-axe de la trajectoire elliptique** de la planète autour de l'étoile **et *G* la constante de gravitation universelle : $G = 6{,}7\times10^{-11}$ m^3.kg^{-1}.s^{-2}. La 3ème loi de Kepler est :**

A) $\dfrac{a^3}{T^2} = \dfrac{G\cdot M}{4\pi^2}$

B) $\dfrac{a^2}{T^3} = \dfrac{G\cdot M}{4\pi^2}$

C) $\dfrac{T^3}{a^2} = \dfrac{G\cdot M}{4\pi^2}$

D) $\dfrac{T^2}{a^3} = \dfrac{G\cdot M}{4\pi^2}$

33) La masse *M* de l'étoile **est connue par ailleurs : $M = 2\times10^{30}$ kg. Le demi-grand-axe** de l'orbite elli**ptique de la planète est :**

A) $a = \sqrt{3\times10^{31}} = 5\times10^{15}$ m

B) $a = \sqrt[3]{3\times10^{29}} = 7\times10^{9}$ m

C) $a = \sqrt{3\times10^{27}} = 5\times10^{13}$ m

D) $a = \sqrt[3]{3\times10^{25}} = 3\times10^{8}$ m

On cherche également à déterminer la masse de la planète. Pour cela il faut d'abord calculer le demi-demi-axe de l'orbite que décrit l'étoile autour du centre de gravité du système {étoile+planète}. Pour cela, on suppose que cette trajectoire est circulaire : l'étoile décrit un cercle de rayon *r* à la vitesse orbitale v = 0,5 m.s^{-1}.

34) Le rayon de la trajectoire de l'étoile est **:**

A) $r = \dfrac{v\cdot T}{4\pi^2}$

B) $r = \dfrac{4\pi^2\cdot T}{v}$

C) $r = \dfrac{2\pi T}{v}$

D) $r = \dfrac{v\cdot T}{2\pi}$

Pour en déduire la masse de la planète, il ne restera qu'à exploiter les propriétés mathématiques du centre de gravité : $M_{étoile}\cdot r = M_{planète}\cdot a$.

Exercice 5

Une voiture de sport entièrement électrique est équipée d'une batterie de capacité énergétique *E* = 90 kWh. Sa vitesse de pointe est de 200 km/h et son moteur délivre alors une puissance *P* = 300 kW *(soit 400 ch)*. Son autonomie annoncée, en utilisation courante, est de 500 km.

On étudie d'abord le comportement du véhicule aux limites de ses performances.

35) La voiture est lancée à sa vitesse maximale. On considère que la consommation d'énergie pendant la phase de lancement à la vitesse de 200 **km/h est négligeable devant toute la phase où elle roule à sa vitesse de pointe. La durée nécessaire pour décharger la batterie est :**

A) $\Delta t = \frac{E}{P}$

B) $\Delta t = \frac{P}{E}$

C) $\Delta t = P \cdot E$

D) $\Delta t = \frac{1}{P \cdot E}$

36) En négligeant la distance parcourue pendant la phase de lancement, dans ces conditions, l'autonomie $\boldsymbol{D_{max}}$ **de la voiture est :**

A) D_{max} = 15 km
B) D_{max} = 30 km
C) D_{max} = 60 km
D) D_{max} = 90 km

On cherche maintenant quelle est la vitesse moyenne de la voiture lorsqu'elle dispose d'une autonomie D_{max} = 500 km.
On estime que 77 % de l'énergie de la batterie est convertie en énergie mécanique (un rendement excellent par rapport aux moteurs thermiques !). Cette énergie correspond au travail W_{moteur} fourni par la force motrice du moteur. Cette force sera supposée de valeur constante tout le long de la distance D_{max}.

37) La force motrice $\boldsymbol{F_{moteur}}$, supposée constante, est :

A) $F_{moteur} = \frac{W_{moteur}}{D_{max}}$

B) $F_{moteur} = W_{moteur} \cdot D_{max}$

C) $F_{moteur} = \frac{D_{max}}{W_{moteur}}$

D) $F_{moteur} = \frac{1}{W_{moteur} \cdot D_{max}}$

La force motrice moyenne est donc F_{moteur} = 500 N. On estime par ailleurs que l'ensemble des frottements qui s'exercent sur la voiture, durant son trajet à vitesse stabilisée, est assimilable à une force de frottement unique dont l'expression est $F_{frottements} = \lambda \cdot v^2$ où λ est un coefficient de proportionnalité et v la vitesse du véhicule.

38) La dimension du coefficient de frottement $\boldsymbol{\lambda}$ est :

A) sans dimension

B) $[\lambda] = M \cdot T^{-2}$ (unité correspondante : kg.s^{-2})

C) $[\lambda] = M \cdot L^{-1}$ (unité correspondante : kg.m^{-1})

D) $[\lambda] = M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$ (unité correspondante : kg.m^{-1}.s^{-2})

39) On détermine par ailleurs la valeur de λ : λ = 1,7 unité S.I. La vitesse moyenne de la voiture sur le trajet D_{max} = 500 km est :

A) $v = \dfrac{1{,}7}{500} = 34 \text{ m.s}^{-1}$

B) $v = \sqrt{500 \times 1{,}7} = 29 \text{ m.s}^{-1}$

C) $v = \sqrt{\dfrac{500}{1{,}7}} = 17 \text{ m.s}^{-1}$

D) il manque une information reliant F_{moteur} et $F_{frottements}$

Exercice 6

Dans cet exercice, on recherche quelles caractéristiques donner aux disques de freins d'une voiture pour qu'ils évitent de s'échauffer trop violemment au cours d'un freinage d'urgence.
On détermine que l'énergie cinétique maximale de la voiture, lancée à sa vitesse maximale (210 km/h), est de l'ordre de E_{max} = 1,8 MJ.

40) La masse de la voiture étant de l'ordre de ***m* = 1000 kg, la vitesse retenue pour ce calcul est :**

A) $v = \dfrac{2\,E_{\max}}{m}$

B) $v = \dfrac{E_{\max}}{2\,m}$

C) $v = \sqrt{\dfrac{2\,E_{\max}}{m}}$

D) $v = \sqrt{\dfrac{E_{\max}}{2\,m}}$

Les disques de freins des véhicules de série sont en fonte, un matériau bon marché et résistant. La capacité thermique massique de la fonte est C = 500 J.kg^{-1}.K^{-1}. Pour éviter une usure prématurée des disques, on doit éviter de dépasser la température de 900 °C.
Au cours d'un freinage d'urgence, une grande partie de l'énergie cinétique du véhicule est dissipée en chaleur au niveau des freins. On considère ici que chaque disque de frein absorbe une chaleur $Q = E_{cinétique} / 4$.

41) La relation entre la chaleur *Q*, la masse *m*' du disque et la variation de température ΔT est :

A) $m' = \dfrac{Q}{C \cdot \Delta T}$

B) $m' = Q \cdot C \cdot \Delta T$

C) $m' = \dfrac{C}{Q \cdot \Delta T}$

D) $m' = \dfrac{Q \cdot \Delta T}{C}$

42) On déduit de ce calcul que la masse de chacun des disques de freins doit être de l'ordre de ***m'* = 1 kg. Quand la voiture passe de 72 km/h (20 m.s^{-1})** à l'arrêt **(freinage** d'urgence), l'élévation de la température des freins (en négligeant les autres sources **de dissipation) est :**

A) $\Delta T = 50$ K
B) $\Delta T = 100$ K
C) $\Delta T = 200$ K
D) $\Delta T = 400$ K

Exercice 7

La température est liée à l'agitation thermique de la matière.
Pour refroidir des atomes à très basse température (moins d'un kelvin), une technique, développée dans les années 80, consiste à diminuer l'agitation thermique à l'aide d'un laser. En effet quand l'atome absorbe une photon de fréquence appropriée, ce phénomène s'accompagne d'un transfert de quantité de mouvement.

43) Avec *h* la constante de Planck et *c* la vitesse de la lumière dans le vide, la relation entre l'énergie d'un photon et sa fréquence ***f*** ou sa longueur d'onde λ **est :**

A) $E_{photon} = h \cdot \lambda$

B) $E_{photon} = \dfrac{h \cdot c}{f}$

C) $E_{photon} = \dfrac{h \cdot f}{c}$

D) $E_{photon} = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$

44) La quantité de mouvement du photon, en fonction de sa longueur d'onde est **:**

A) $p = \dfrac{h}{\lambda}$

B) $p = \dfrac{h \cdot \lambda}{c}$

C) $p = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$

D) $p = h \cdot \lambda$

45) Dans cet expérience, on souhaite refroidir des atomes de rubidium. Pour cela, on choisit un laser de longueur d'onde **λ = 780 nm. Pour se proté**ger les yeux d'un retour **accidentel du faisceau, on doit utiliser des lunettes colorées, constituant un filtre qui** ne laisse passer que certaines longueurs d'ondes, les plus éloignées possibles de celle que l'on souhaite bloquer. Ces lunettes de sécurité d**oivent être de couleur :**

A) violette
B) verte
C) jaune
D) rouge

46) La quantité de mouvement de l'atome de masse ***m*** **se déplaçant à la vitesse *v* est :**

A) $p_{atome} = \frac{1}{2} m \cdot v$

B) $p_{atome} = m \cdot v$

C) $p_{atome} = m \cdot v^2$

D) $p_{atome} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

47) Au cours de l'absorption d'un photon par un atome, **en négligeant la gravitation, la quantité de mouvement du système {atome + photon} :**

A) diminue
B) est constante
C) augmente
D) cela dépend de la situation initiale

48) On note *p_{atome}* la quantité de mouvement initiale de l'atome, et ***p'_{atome}*** **cette** grandeur après l'absorption du photon. Dans le cas où le photon et l'atome se dirigent l'un vers l'autre, la relation entre les quantités de mouvem**ent est :**

A) $\vec{p}_{photon} = -\left(\vec{p}_{atome} + \vec{p'}_{atome}\right)$

B) $\vec{p}_{photon} = \vec{p}_{atome} + \vec{p'}_{atome}$

C) $\vec{p}_{photon} = \vec{p}_{atome} - \vec{p'}_{atome}$

D) $\vec{p}_{photon} = \vec{p'}_{atome} - \vec{p}_{atome}$

Après l'*absorption* du photon (supposée instantanée), l'atome se désexcite spontanément en une durée moyenne de l'ordre de $\Delta t = 10^{-8}$ s. Comme la réémission du photon se fait dans une direction aléatoire, en moyenne la phase de *désexcitation* de l'atome ne modifie pas son mouvement, contrairement à la phase d'absorption.
Au bout de la durée Δt, l'atome est donc prêt pour un nouveau cycle absorption/désexcitation.

49) En appliquant le théorème du centre d'inertie (2**ème** loi de Newton) à l'atome de **masse *m*, son accélération moyenne en valeur algébrique dans le référentiel du laboratoire est :**

A) $a = \frac{1}{m} \frac{p'_{atome} - p_{atome}}{\Delta t}$

B) $a = \frac{1}{m} \frac{p_{atome} - p'_{atome}}{\Delta t}$

C) $a = \frac{1}{m} \frac{v'_{atome} - v_{atome}}{\Delta t}$

D) $a = \frac{1}{m} \frac{v_{atome} - v'_{atome}}{\Delta t}$

Un atome de rubidium qui absorbe des photons de longueur d'onde 780 nm est ralenti et subit alors une décélération moyenne de 6×10^5 m.s^{-2}. Par ailleurs on calcule qu'à température ambiante, les atomes de rubidium à l'état gazeux sont animés d'une vitesse d'environ v = 300 m.s^{-1}.

50) La durée nécessaire pour arrêter les atomes est :
A) 2×10^{-5} s
B) 5×10^{-4} s
C) 2×10^{-3} s
D) 5×10^{-2} s

Pour arrêter un atome, les calculs montrent qu'il faut lui faire absorber environ 50 000 photons. On veut refroidir environ 1 pg de rubidium, soit 10^{10} atomes. Le rendement quantique est estimé à 50 % (1 photon sur 2 interagit effectivement avec un atome).
Les photons utilisés portent chacun le quantum d'énergie $E_{photon} = 2{,}5\times10^{-19}$ J.

51) L'énergie lumineuse **fournie par le laser, nécessaire pour arrêter tous les atomes, doit être au minimum :**
A) $2{,}5\times10^{-4}$ J
B) $2{,}5\times10^{-2}$ J
C) 2,5 J
D) 250 J

52) Le laser utilisé fournit une puissance lumineuse de 0,5 W. Sachant que son rendement est faible : $\eta \approx$ 1 %, la puissance perdue sous forme de chaleur est :
A) 4,95 W
B) 49,5 W
C) 50 W
D) 499 W

53) Les très basses températures obtenues permettent de réaliser des horloges atomiques dont l'erreur relative est de l'ordre de 10^{-13}. Cela signifie qu'en une année, elles se décalent d'environ **:**
A) 1 s
B) 1 ms
C) 1 µs
D) 1 ns

Exercice 8

Un jour d'hiver, on veut maintenir à $T_{int} = 20$ °C un bureau sans fenêtre alors que la température extérieure est $T_{ext} = 0$ °C. La surface du mur extérieur est $S = 8$ m^2.

54) La résistance thermique d'un matériau d'épaisseur ***e*, de surface *S* et de conductivité thermique λ (en W.m^{-1}.K^{-1}) est :**

A) $R_{th} = \dfrac{S \cdot e}{\lambda}$

B) $R_{th} = \dfrac{\lambda \cdot e}{S}$

C) $R_{th} = \dfrac{S}{\lambda \cdot e}$

D) $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \cdot S}$

Pour calculer la résistance thermique totale d'un ensemble, on se réfère aux deux règles suivantes :
- quand plusieurs matériaux sont superposés sur une même surface, la résistance thermique totale est la somme des résistances thermiques de chaque matériau.
- quand un mur est constitué de différents panneaux, l'inverse de la résistance thermique totale est la somme des inverses des résistances thermiques de chaque panneau : $\frac{1}{R_{th\ totale}} = \frac{1}{R_{th\ panneau\ 1}} + \frac{1}{R_{th\ panneau\ 2}}$.

55) La résistance thermique d'un mur de béton recouvert, sur sa face intérieure, d'une **épaisseur notée *e* de polystyrène extrudé est :**

A) $R_{mur} = R_{béton} + R_{polystyrène}$

B) $R_{mur} = \frac{1}{R_{béton}} + \frac{1}{R_{polystyrène}}$

C) $R_{mur} = \frac{R_{béton} \cdot R_{polystyrène}}{R_{béton} + R_{polystyrène}}$

D) aucune des expressions ci-dessus ne convient

56) Le flux thermique φ est :

A) proportionnel à l'écart de température entre les faces du mur
B) proportionnel à la résistance thermique du mur
C) inversement proportionnel à l'épaisseur de polystyrène
D) inversement proportionnel à la surface du mur

Dans une autre pièce dont les dimensions sont identiques à la première, le mur extérieur est cette fois percé d'une fenêtre, de surface $S' = 1$ m^2. On calcule séparément la résistance thermique de la fenêtre, notée $R_{fenêtre}$, et celle du reste du mur (béton recouvert de polystyrène), notée R_{mur}.

57) La résistance thermique totale du mur (S = 8 m^2, fenêtre incluse) est :

A) $R_{totale} = R_{mur} + R_{fenêtre}$

B) $R_{totale} = \frac{1}{R_{mur}} + \frac{1}{R_{fenêtre}}$

C) $R_{totale} = \frac{R_{mur} \cdot R_{fenêtre}}{R_{mur} + R_{fenêtre}}$

D) aucune des expressions ci-dessus ne convient

Exercice 9

Pour identifier une molécule complexe, on peut utiliser un certain nombre de procédés physiques. L'un d'eux consiste à étudier le spectre d'absorption de la molécule dans l'infrarouge. Les raies correspondent, dans ce domaine spectral particulier, à des niveaux de vibration des atomes à l'intérieur de la molécule.
On s'intéresse plus particulièrement à la liaison covalente entre un atome de carbone et un atome d'oxygène. On la modélise comme un ressort de raideur k reliant les deux atomes. On pourra considérer qu'une des extrémités du ressort est fixe et que l'autre est fixée à une masse $m = 1 \times 10^{-26}$ kg, libre d'osciller rectilignement sans frottement dans la direction du ressort.

On identifie sur le spectre d'absorption la raie correspondante : elle a pour fréquence $f = 5\times10^{13}$ Hz, ce qui correspond à la fréquence des oscillations du ressort.
La raideur du ressort est $k = 1\times10^{3}$ N.m^{-1} et l'élongation maximale (distance maximale de la masse par rapport à sa position d'équilibre) est $\Delta L_{max} = 8\times10^{-12}$ m.

58) D'après la loi de Hooke, la force de rappel qui s'exerce sur un ressort de raideur ***k*,** lorsque la masse est écartée d'une distance Δ***L*** de sa position d'équilibre, est **:**

A) $F = k \cdot \Delta L$

B) $F = k \cdot \Delta L^2$

C) $F = \dfrac{1}{2} k \cdot \Delta L^2$

D) $F = \dfrac{k}{\Delta L}$

59) On étudie la demi-oscillation qui correspond au passage du ressort, de son état de compression maximale à son état d'élongation maximale. Le travail de la force ***F*** **sur cet intervalle est :**

A) $W_F = \dfrac{F}{2\,\Delta L}$

B) $W_F = -2\,F \cdot \Delta L$

C) $W_F = +2\,F \cdot \Delta L$

D) aucun des résultats précédents n'est correct

60) Quand le ressort est dans son état d'élongation maximale, l'énergie mécanique du **système est** $E_{méca} = 3\times10^{-20}$ **J** (correspondant ici à l'énergie d'un photon infrarouge ***absorbé*). Une demi-oscillation plus tard, quand le ressort est dans son état de** compression maximale, l'énergie ***potentielle*** **du système est alors :**

A) $E_{pot} = -3\times10^{-20}$ J

B) $E_{pot} = -1{,}5\times10^{-20}$ J

C) $E_{pot} = 1{,}5\times10^{-20}$ J

D) $E_{pot} = 3\times10^{-20}$ J

<u>FIN DE L'EPREUVE</u>