

Son et lumière (sujet national, juin 2017, exercice 2)

Énoncé

Son et lumière

Pour obtenir un feu d'artifice qui produit son, lumière et fumée, on procède à l'éclatement d'une pièce pyrotechnique. Bien que produisant des effets différents, toutes ces pièces sont conçues selon le même principe. Un dispositif permet de projeter la pièce pyrotechnique vers le haut. Une fois que ce projectile a atteint la hauteur prévue par l'artificier, il éclate, créant l'effet « son et lumière » souhaité.

Le but de cet exercice est d'étudier la couleur observée, la trajectoire du projectile et le son émis.

Les caractéristiques de deux pièces pyrotechniques nommées « crackling R100 » et « marron d'air » sont consignées dans le tableau ci-après :

Caractéristiques constructeur	Crackling R100	Marron d'air
Masse	$2,8 \cdot 10^2$ g	40 g
Vitesse initiale	250 km.h ⁻¹	200 km.h ⁻¹
Niveau d'intensité sonore estimé à 15 m du point d'éclatement	Non renseigné	120 dB
Hauteur atteinte à l'éclatement	120 m	70 m
Durée entre la mise à feu et l'éclatement	3,2 s	2,5 s
Couleur de la lumière émise	Rouge (intense)	Blanc (peu intense)
Distance de sécurité recommandée	130 m	95 m

Données :

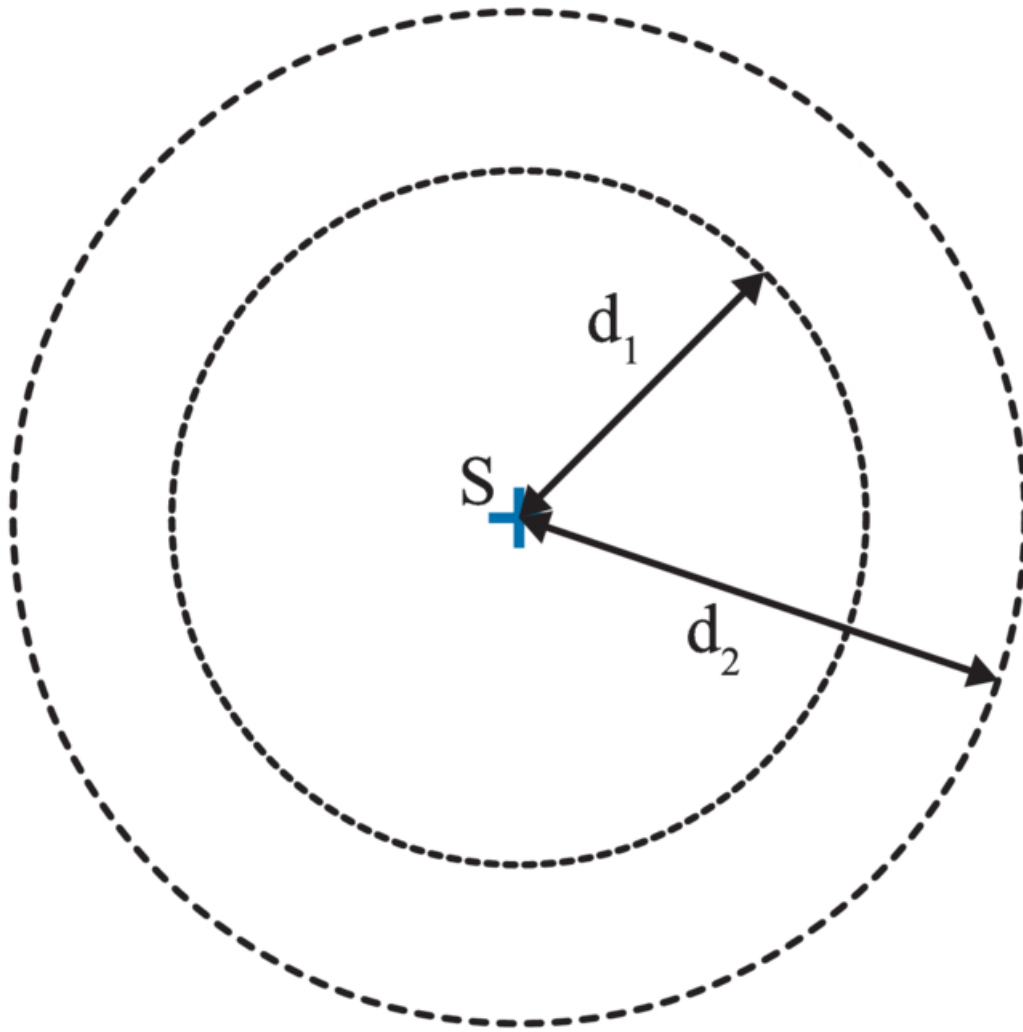
- domaines de longueur d'onde de la lumière visible :

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Domaine de longueur d'onde en nm	380-446	446-520	520-565	565-590	590-625	625-780

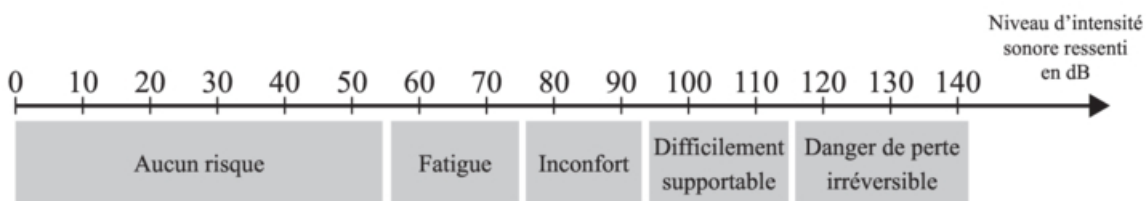
- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue du candidat ;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J ;
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;
- au cours de la propagation d'une onde et en l'absence d'atténuation, le niveau d'intensité sonore L diminue avec la distance d à la source S suivant la formule :

$$L_2 = L_1 + 20 \cdot \log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$$

, où L_2 est le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_2 de la source et L_1 le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_1 de la source (voir schéma ci-dessous) ;



- échelle des niveaux d'intensité sonore en décibel (dB) et risques auditifs associés :



Tout en couleur

« Les feux d'artifice émettent de la lumière. Les phénomènes mis en jeu sont notamment l'incandescence et l'émission atomique. Il y a tout d'abord l'incandescence des particules d'oxyde métallique, formées lors de la combustion, qui va du « blanc rouge » (aux alentours de 1 000 °C) jusqu'au blanc éblouissant (vers 3 000 °C). Pour l'émission atomique, les électrons de l'atome sont excités thermiquement, ce qui leur permet de passer du niveau d'énergie fondamental à un niveau d'énergie supérieur ; au cours de leur retour vers le niveau d'énergie fondamental, l'énergie qu'ils avaient absorbée est émise sous forme de photons dont la longueur d'onde est caractéristique de l'atome. »

D'après : www.ambafrance-cn.org/Feux-d-artifice-histoire-et-technologie

1. Le texte fait référence à deux processus d'émission de lumière. Citer chacun de ces processus et

préciser, dans chaque cas, si le spectre de la lumière émise est un spectre de raies ou un spectre continu.

Le texte présente deux phénomènes : l'incandescence et l'émission spontanée.

Un corps chauffé émet de la lumière qui s'enrichit vers le violet plus la température du corps est élevée. L'émission spontanée fournit un photon dont l'énergie est égale à la différence d'énergie entre les deux niveaux considérés lors de la désexcitation de l'électron.

Le « crackling R100 » est principalement composé de strontium. Les photons émis par le strontium sont responsables de la couleur perçue lors de l'éclatement du « crackling R100 ». Le tableau ci-dessous regroupe les énergies des photons émis par le strontium :

	Photon 1	Photon 2	Photon 3
Énergie des photons (eV)	1,753	1,802	1,825

2. Déterminer la couleur perçue lors de l'émission du photon 3.

Un photon est une particule qui possède une énergie qui dépend de sa longueur d'onde. Quelques difficultés peuvent persister cependant :

- la célérité de la lumière dans le vide est une constante à connaître ;
- il ne faut pas oublier de convertir l'énergie donnée en eV dans l'unité du système international.

3. Sans effectuer de calcul supplémentaire, montrer que l'émission de ces trois photons permet d'expliquer la couleur de la lumière émise par le « crackling R100 ».

Tous les photons ont une énergie proche. Or, l'énergie est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Comme le photon 3 est de couleur rouge, on pourra déduire qualitativement la couleur des deux autres photons.

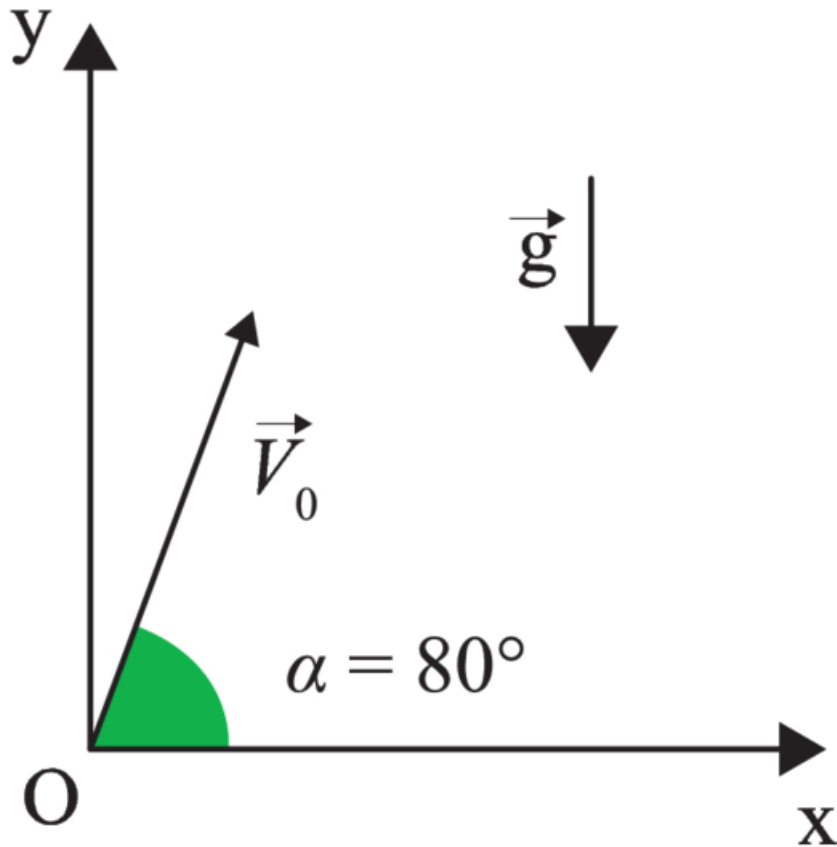
Étude des trajectoires des pièces pyrotechniques

On s'intéresse au mouvement de la pièce pyrotechnique jusqu'à son éclatement dans un référentiel terrestre supposé galiléen muni d'un repère (Ox, Oy). On étudie le mouvement d'un point M de la pièce « crackling R100 ». On prend l'instant du lancement comme origine des temps $t = 0$ s.

À cet instant, le vecteur vitesse initiale

\vec{v}_0

de M fait un angle $\alpha = 80^\circ$ par rapport à l'axe horizontal (schéma ci-après).



1. Donner les expressions littérales des coordonnées du vecteur \vec{v}_0 en fonction de v_0 et α .

Le projectile est lancé avec une vitesse

\vec{v}_0 qui fait un angle α avec l'axe des abscisses. Les coordonnées de ce vecteur sont obtenues avec le cosinus et le sinus de l'angle α .

2. Montrer que, si on néglige toute action de l'air, le vecteur accélération de M noté \vec{a}_M est égal au vecteur champ de pesanteur \vec{g}

dès que le projectile est lancé.

Le mouvement se fait dans un référentiel terrestre supposé galiléen.

La masse de la pièce pyrotechnique est constante.

La deuxième loi de Newton appliquée à la pièce conduit à la relation demandée.

3. Montrer alors que les équations horaires du mouvement de M sont :

$x_M(t) = 12,1 t$ et $y_M(t) = -4,91t^2 + 68,4t$ en exprimant $x_M(t)$ et $y_M(t)$ en mètres et le temps « t » en secondes.

À partir de la relation trouvée à la question précédente, il suffit de calculer les primitives successives de l'accélération, puis de la vitesse.

Les équations horaires correspondent aux coordonnées du vecteur position.

4. Dans le cadre de ce modèle, déterminer, à l'aide des équations horaires, l'altitude théorique atteinte par le projectile à $t = 3,2$ s.

L'équation horaire selon l'axe des ordonnées permet de déterminer l'altitude pour une date déterminée.

5. Sachant que l'éclatement se produit lors de la montée, expliquer l'écart entre cette valeur et celle annoncée par le constructeur.

L'altitude d'éclatement donnée par le constructeur est bien inférieure à celle calculée précédemment.

Pour faire l'étude du problème, certaines hypothèses ont dû être effectuées. Mais sont-elles plausibles ?

Le « marron d'air »

Au début et à la fin de chaque feu d'artifice, les artificiers utilisent une pièce pyrotechnique appelée « marron d'air » pour obtenir une détonation brève et puissante. Désireux de l'envoyer le plus haut possible, ils effectuent un tir vertical avec une vitesse initiale

v_i

. Par la suite, on suppose que la pièce n'éclate pas avant d'atteindre sa hauteur maximale h .

1. Dans l'hypothèse où l'énergie mécanique de la pièce pyrotechnique se conserve, montrer que la hauteur maximale h atteinte par cette pièce est donnée par la relation :

$$h = \frac{v_i^2}{2g}$$

.

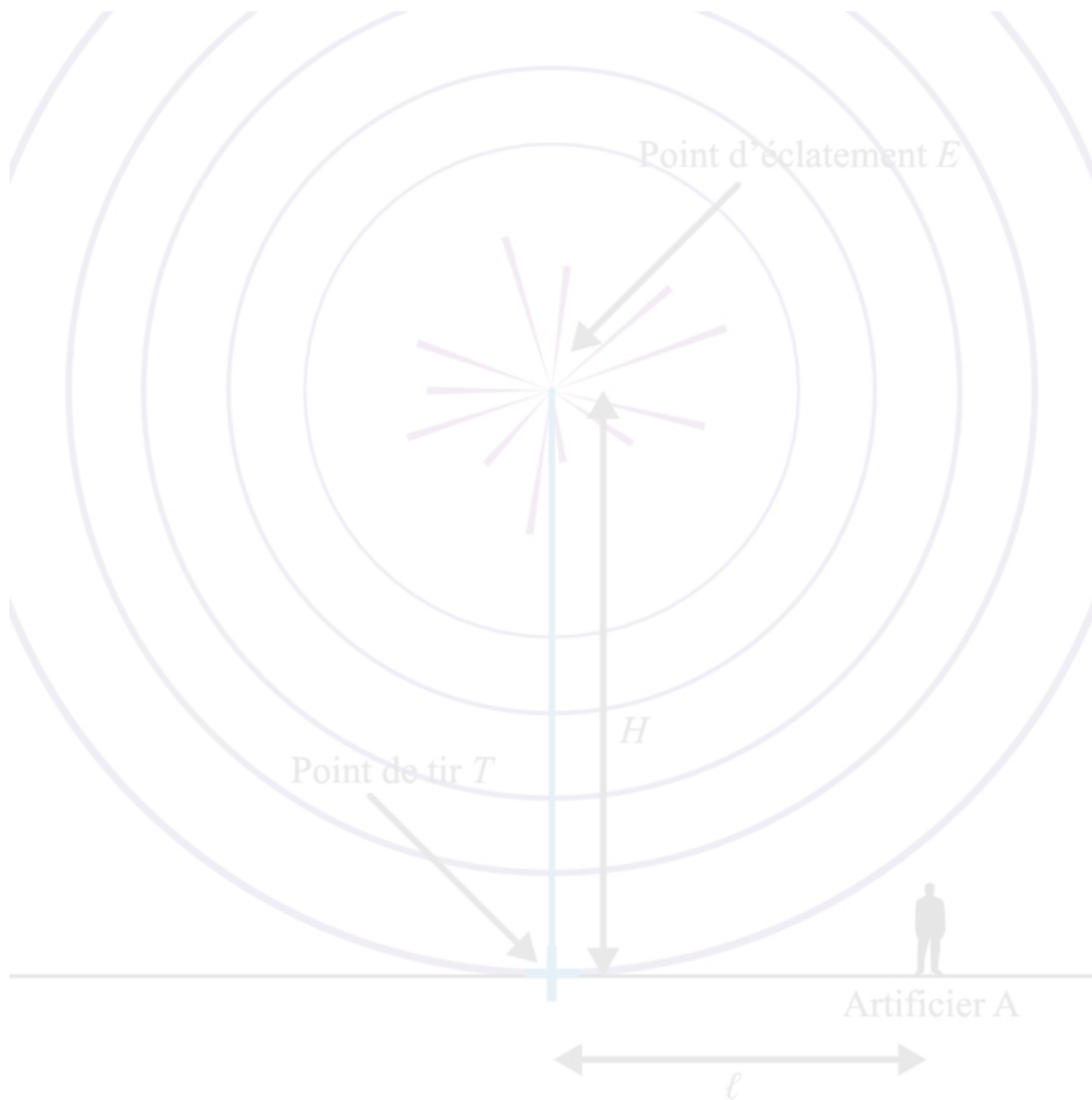
Si les frottements sont négligés, l'énergie mécanique se conserve. Dans ce cas, l'énergie mécanique calculée au départ de la pièce pyrotechnique est égale à l'énergie mécanique lorsque la pièce pyrotechnique a atteint sa hauteur maximale.

De plus, l'énergie mécanique se décompose en énergie potentielle et énergie cinétique.

2. Déterminer la valeur de la hauteur maximale atteinte h .

L'application numérique avec la formule donnée à la question précédente permet de répondre à la question. Attention toutefois à sélectionner la bonne vitesse dans les données ainsi qu'à utiliser les unités du système internationale.

En réalité, arrivé à une hauteur H de 70 m, le « marron d'air » éclate au point E et le son émis se propage dans toutes les directions de l'espace. Un artificier A se trouve à la distance $l = 95$ m recommandée par le constructeur du point de tir T du « marron d'air ».



Remarque : sur ce schéma, les échelles de distance ne sont pas respectées.

3. Doit-on recommander à l'artificier le port d'un dispositif de protection auditive (casque, bouchons d'oreille...) ? Justifier par un calcul.

Le but de cette question est de déterminer le niveau d'intensité sonore au point A (point où se trouve l'artificier).

Pour utiliser la relation donnée dans l'énoncé, il faut au préalable déterminer la distance entre le point d'éclatement E et A. Le triangle AET est un triangle rectangle en T. Le théorème de Pythagore permettra de trouver d_2 .

Les valeurs des autres grandeurs qui interviennent dans la relation se trouvent dans les données du constructeur.

Puis avec la valeur du niveau d'intensité sonore au point A et de l'échelle des niveaux d'intensité sonore et risques auditifs associés, il sera aisé d'en déduire la réponse à la question.