James Bond et la physique

Moonraker

Dans le film Moonraker, James Bond est pris au piège dans une centrifugeuse (photo ci-dessous). À partir de l'extrait vidéo, on peut noter que la période de rotation de la centrifugeuse est d'une seconde.

1. Caractériser le mouvement de Bond.
2. Donner une estimation du rayon de la trajectoire.
3. Quelle est l'accélaration subie par notre héros ?
4. Sur le tableau de contrôle de la centrifugeuse, on peut apercevoir des voyants qui s'illuminent au fur et à mesure que la centrifugeuse accélère. À quelle grandeur physique pourrait se rapporter ces voyants ? Quelle est serait l'unité ? Qu'en déduisez-vous ?

Goldeneye

À la fin du film Goldeneye, le méchant Alec Trevelyan chute du sommet d'une antenne. Grâce à un logiciel de pointé, on peut suivre sa chute. On obtient les données suivantes :

temps t (s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
hauteur h (m)	18	17.97	17.872	17.71	17.49	17.2	16.85	16.43	15.95	15.408	14.8

1. Déduire des mesures précédentes la vitesse puis l'accélération de Trevelyan.
2. Les frottements de l'air ont-ils une influence sur la chute ?
3. Cette scène a-t-elle été tournée par un cascadeur ou a-t-elle été réalisée en images de synthèses ?

Octopussy

Au début du film Octopussy, James Bond, s'échappe dans un petit avion dissimulé au sein d'un van pour cheval. On s'intéresse à différentes parties du film concernant cet épisode.
Dans un premier temps, partant d'une vitesse nulle, l'avion atteint en 7,0 s une vitesse de 100 nœuds (qu'on peut lire en knots sur l'anémomètre du tableau de bord) en roulant sur une piste rectiligne en direction de camions occupés par des soldats cubains et décolle juste avant la collision. On suppose qu'il accélère de manière uniforme. On rappelle qu'un nœud correspond à une vitesse de 1,9 km.h^{-1}.

1. Déterminer l'accélération nécessaire et la comparer à l'accélération de pesanteur $g = 9{,}8$ m.s^{-2}. Quelle distance a-t-il alors parcourue ?
2. Stabilisée à une vitesse $v = 250$ nœuds en mouvement rectiligne uniforme à l'altitude h, l'avion est visé par un missile tiré avec un angle α par rapport à l'horizontale et se déplaçant à une vitesse v_0 constante. Le missile est tiré alors que l'avion est à une distance d devant le lanceur :

Établir l'équation vérifiée par $\sin(\alpha)$ pour que le missile atteigne sa cible si l'avion ne dévie pas de sa trajectoire.

3. Cette équation admet-elle une solution quelle que soit la valeur de v_0 ?
4. Calculer α pour $v_0 = \frac{3v}{2}$; $d = 300$ m et $h = 150$ m.
5. Quelle est la durée du trajet effectué par le missile avant l'impact ?
6. En fait, dans le film Octopussy, le missile est équipé de capteurs infrarouges qui lui permettent de s'aligner en permanence sur la direction que prend l'avion. Après son mouvement rectiligne, l'avion effectue un demi-tour circulaire de rayon R dans le plan horizontal pour échapper à l'impact. On suppose qu'il garde sa vitesse initiale v constante durant cette manœuvre. Donner la valeur minimale de R afin que James Bond ne subisse pas une accélération de plus de $5g$ qui entrainerait une perte de connaissance. Quelle est alors la durée de ce demi-tour ?
7. L'avion perd alors de l'altitude et arrive en rasant le sol en direction d'un hangar de forme rectangulaire muni de deux lourdes portes coulissantes en entrée et des mêmes en sortie. Dans le film, voyant l'avion arriver sur le hangar, les soldats ferment progressivement les quatre portes en les poussant à vitesse constante v_1. L'avion passe alors de justesse entre les deux portes d'entrée, continue son trajet à l'intérieur du hangar tandis que les portes de sortie continuent à se refermer progressivement. Il effectue alors une rotation de 90° de manière à positionner ses ailes verticalement et non plus horizontalement : ainsi incliné, il peut franchir de justesse l'étroit passage entre les portes de sortie.

Le missile qui le poursuit explose alors dans le hangar. On assimilera la trajectoire de l'avion à un mouvement rectiligne uniforme à vitesse v_2. Sachant que les ailes de l'avion ont une longueur de $l_a = 2{,}3$ m, que les dimensions du cockpit sont une largeur de $l_c = 0{,}70$ m et une hauteur h variant entre $h_1 = 0{,}90$ m en tête de l'avion et $h_2 = 1{,}4$ m sur l'aileron de queue et que l'avion met $t_2 = 8{,}0$ s à franchir la distance $L = 40$ m entre les deux portes.

8. Calculer les vitesses v_1 et v_2 nécessaires à la réalisation de la cascade.
9. Dans le film, le tableau de bord affiche une vitesse v_2 de 150 nœuds. Quelle serait alors la longueur L' du hangar ? Est-ce réaliste ?
10. Question bonus : quel acteur incarne James Bond dans Octopussy ?

James Bond et la physique

Goldeneye

1. On peut calculer la vitesse de Trevelyan grâce au taux d'accroissement de h. On aura alors : $v_k = \frac{h_{k+1}-h_k}{\Delta t}$. L'accélération s'en déduit de la même manière : $a_k = \frac{v_{k+1}-v_k}{\Delta t}$. On obtient les valeurs suivantes :

t (s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
h (m)	18	17,96	17,87	17,7	17,48	17,19	16,83	16,4	15,92	15,36	14,75
v (m.s^{-1})	-0,33	-0,98	-1,63	-2,28	-2,93	-3,58	-4,23	-4,88	-5,53	-6,18	
a (m.s^{-2})	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5		

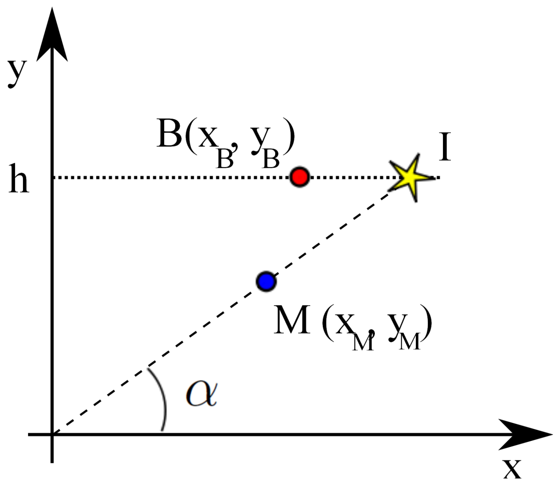
2. On remarque que l'accélération de Treveylan est constante, ce qui signifie que l'on est dans le cas d'une chute libre sans frottement. En effet, en présence de frottements, l'accélération serait du type $a = -g - k * v$ ou $a = -g - \beta v^2$, et l'accélération varierait dans le temps. Ainsi les frottements de l'air sont négligeables.
3. Pour une chute libre sur Terre, l'accélération est $g = 9{,}81$ m.s^{-2}, or la valeur de l'accélération que l'on a calculée est plus faible. Il est probable qu'ils s'agissent d'images de synthèse, mais il est également possible que la scène soit tournée au ralentit avec un mannequin.

Moonraker

1. Bond possède un mouvement circulaire uniforme.
2. D'après la photo, le rayon R de la trajectoire peut être estimé à 3 ou 4 m.
3. Comme le mouvement est circulaire uniforme, alors l'accélération est donnée par $a = R\omega^2$, avec $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi$ rad.s^{-1} d'après l'énoncé. Ainsi, avec $R = 3{,}5$ m, on trouve $a = 138$ m.s$^{-2} \simeq 14\,g$.
4. Les voyants peuvent correspondre à l'accélération subie par la personne dans la cabine, mesurée en g. Cela semble cohérent avec la valeur de a trouvée plus haut.

Octopussy

1. L'avion de Bond possède une accélération γ constante, donc par integration on a $v = \gamma t + v_0$ or à $t = 0$ $v = 0$ d'où $v_0 = 0$ et donc $\boxed{\gamma = \frac{v}{t}}$, numériquement on obtient $\gamma = 7{,}5$ m.s^{-2}. On intègre l'expression de v pour trouve la position de l'avion au cours du temps : $\boxed{x = \frac{1}{2}\gamma t^2}$, car à $t = 0$, $x = 0$. Ainsi, au bout de 7 s, l'avion a parcouru une distance : $\boxed{d = 185 \text{ m}}$.
2. Comme souvent en physique, un schéma permet de mettre facilement le problème en équation.



On appelle (x_B,y_B) les coordonnées de James Bond et (x_M,y_M) les coordonnées du missile. Il y a impact au point I si $x_M = x_B$ et $y_M = y_B$. On sait que l'avion de Bond se place à altitude constante et à vitesse constante donc si l'on choisit l'instant $t = 0$ comme étant celui auquel le missile décolle on a : $x_B = d + vt$ et $y_B = h$. L'équation horaire de la trajectoire du missile étant : $x_M = v_0\cos(\alpha)t$ et $y_M = v_0\sin(\alpha)t$. On déduit que l'impact à lieu à l'instant $t = \frac{h}{\sin(\alpha)v_0}$, en reportant cette valeur dans la seconde équalité on obtient : $hv_0\cos(\alpha) = v_0 d\sin(\alpha) + vh$, or on sait que $\cos(\alpha)^2 = 1 - \sin(\alpha)^2$, donc en posant $\epsilon = \frac{d}{h}$ et $\beta = \frac{v}{v_0}$ et $X = \sin(\alpha)$ on arrive à l'équation suivante : $\boxed{X^2(1+\epsilon^2) + 2\epsilon\beta X + \beta^2 - 1 = 0}$.

3. Cette équation admet une solution si le discriminant réduit est positif, c'est-à-dire : $\Delta' = \beta^2\epsilon^2 - (1+\epsilon^2)(\beta^2 - 1) \geq 0$ ce qui implique $\boxed{v_0 \geq \frac{h}{\sqrt{h^2+d^2}}v}$. Cette équation admet donc toujours une solution, car pour que le missile puisse rattraper l'avion il faut $v_0 > v$ or $\frac{h}{\sqrt{h^2+d^2}} < 1$.
4. On prend $\epsilon = 2$ et $\beta = \frac{2}{3}$ on résout donc l'équation du second degré : $5X^2 + \frac{8}{3}X - \frac{5}{9} = 0$, on obtient deux solutions dont une seule est positive : $X = 0{,}16$, soit $\boxed{\alpha = 9°.}$
5. Le temps de parcours du missile est alors : $\boxed{t = \frac{h}{\sin(\alpha)v_0} = 4{,}7\text{ s}}$.
6. Dans cette question, l'avion a un mouvement circulaire uniforme, on sait que son accélération est centripète et vaut $\vec{a} = -\frac{v^2}{R}\vec{e}_r$, on souhaite une accélération inférieure à $5g$, il faut alors : $\boxed{R > \frac{v^2}{5g} = 355\text{ m}}$.
7. Dans cette cascade, l'avion parcourt une distance L' en un temps t_2, sa vitesse est donc $\boxed{v_2 = \frac{L'}{t_2} = 5\ m.s^{-1}}$! Lorsque l'avion entre dans le hangar, les doubles portes sont séparées d'une distance $l_a = 2\times2{,}3+0{,}7 = 5{,}3$ m, puis quand il en ressort elles sont séparées de $h_2 = 1{,}4$ m. Comme elles se rapprochent l'une de l'autre à la vitesse $2v_1$, on trouve $\boxed{v_1 = \frac{2l_a+l_c-h_2}{2t_2} = 24\text{ cm.s}^{-1}}$.
8. Si l'avion volait réellement à 150 nœuds alors la longueur du hangar serait $\boxed{L = 633\text{ m}}$. C'est une longueur réaliste pour un hangar, mais pas pour celui visible dans le film.
9. L'acteur incarnant Bond dans Octopussy est Roger Moore.