7 LE POIDS APPARENT

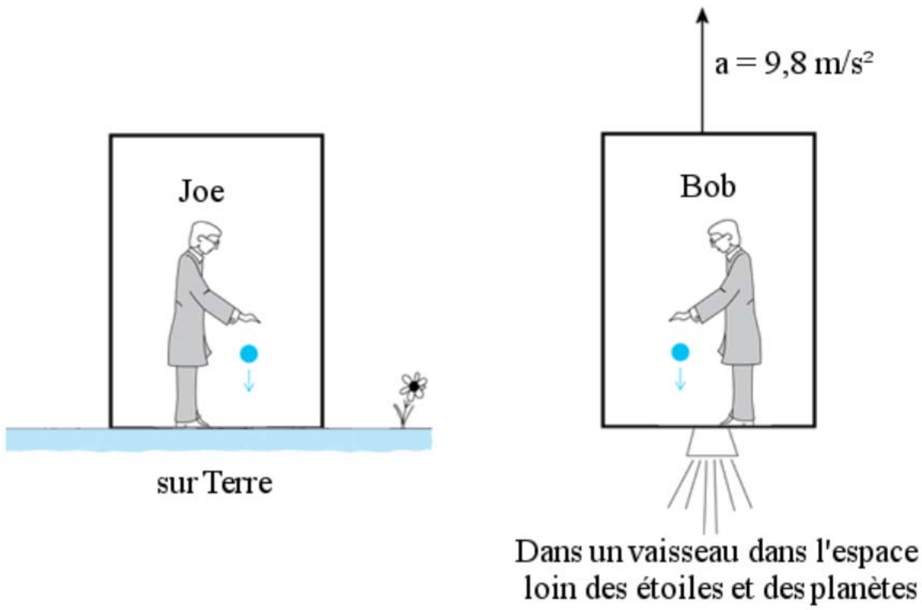
Quels sont le poids apparent (grandeur et direction) et le nombre de g subit par un pilote d'avion de chasse de 70 kg quand il est catapulté d'un porte-avion sachant que, lors du catapultage, l'avion accélère jusqu'à une vitesse de 77 m/s (150 nœuds) sur une distance de 94,5 m (sur le USS Nimitz)?

commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_071006-N-4166B-033_An_F-A-18_Hornet_attached_to_the_Warhawks_of_Strike_Fighter_Squadron_(VFA)_97_conducts_a_touch_and_go_landing_and_takeoff_aboard_the_Nimitz-class_aircraft_carrier_USS_Abraham_Lincoln_(CVN_72).jpg

Voyez la réponse à cette question dans ce chapitre.

7.1 FORMULE DU POIDS APPARENT

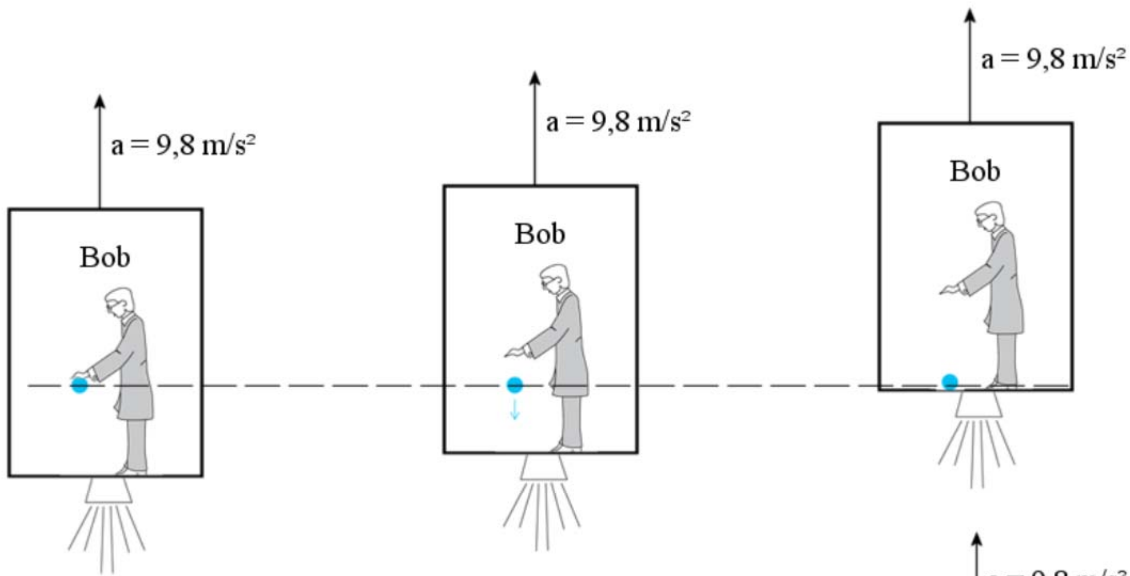
Le point de départ de la relativité générale d'Einstein est le principe d'équivalence. Pour l'illustrer, prenons les deux situations illustrées sur la figure. Dans la figure de gauche, Joe est enfermé dans une boite posée à la surface de la Terre. Dans la figure de droite, Bob, le jumeau identique de Joe, est enfermé dans une boite dans l'espace loin de toutes masses importantes. Cette boite accélère dans la direction indiquée avec une accélération de 9,8 m/s².

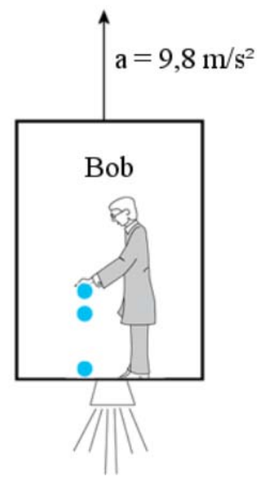


thinkingscifi.wordpress.com/2012/07/21/intelligence-and-imagination/

Selon le principe d'équivalence, tout ce qui se passe dans la boite est absolument identique pour Bob et Joe. Par exemple, examinons ce qui se produit si Bob et Joe lâchent une balle qu'ils tiennent dans leur main. Quand Joe lâche sa balle, la force de gravitation fait tomber la balle vers le sol avec une accélération de 9,8 m/s².

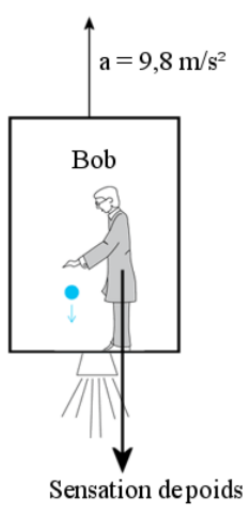
Quand Bob lâche sa balle, il n'y a plus de force sur la balle et elle cesse d'accélérer alors que la boite de Bob continue d'accélérer vers le haut. Supposons qu'au moment où Bob lâche sa balle, la vitesse du vaisseau est nulle. On a alors le mouvement illustré sur la figure suivante.





De l'intérieur de la boite, ça donnera l'impression que la balle s'est dirigée vers le sol avec une accélération de 9,8 m/s². En fait, ce que Joe observe pour le mouvement de la balle est identique au mouvement de la balle que Bob voit.

Selon le principe d'équivalence, tout ce qui va se passer dans la boite de Joe sera identique à ce qui se passera dans la boite de Bob si ce dernier fait les mêmes choses. Autrement dit, si vous êtes enfermé dans une boite et que les objets sont attirés vers le bas de la boite, il n'y a aucun moyen de déterminer si c'est parce qu'il y a de la gravitation ou parce que vous êtes dans une boite qui accélère. Aucune expérience ne pourra vous dire si vous êtes sur Terre ou dans un vaisseau qui accélère à 9,8 m/s².



Si tout est exactement identique, cela veut dire que Bob ressent une sensation de poids tout comme Joe se sent attiré par la Terre. Remarquez que Joe se sent attiré vers le bas et que si tout doit être identique pour Bob, il doit se sentir attiré aussi vers le bas, donc dans la direction opposée à l'accélération. De plus, si la force de gravitation est proportionnelle à la masse, l'effet sur Bob doit aussi être proportionnel à la masse de Bob. La grandeur de cette force sur Bob doit donc être *ma*.

Si on accélère et qu'on subit une force de gravitation, la sensation de poids sera simplement la somme de ces deux effets. C'est cette somme qui est le poids apparent.

Le poids apparent

$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$$

Erreur fréquente : Mettre directement les chiffres dans l'équation $\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$

Cette équation est une équation vectorielle. Ainsi, on obtient rarement la bonne réponse en mettant directement les valeurs de g et de a dans cette équation. Il faut plutôt travailler avec les composantes x et y de cette équation.

Les composantes de cette équation sont (avec l'axe des x horizontale et l'axe des y vers le haut)

Le poids apparent (en composantes)

$$P_{app\,x} = -ma_x$$
$$P_{app\,y} = -mg - ma_y$$

avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut

Erreur fréquente : Utiliser les mauvais axes avec les composantes du poids apparents

Les équations des composantes obtenues sont faites pour un axe des y vertical pointant vers le haut et un axe des x horizontal.

On peut également obtenir une autre formule pour calculer le poids apparent en utilisant la deuxième loi de Newton. Cette formule est

$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$$
$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-\sum \vec{F}\right)$$

Ce qui donne

Le poids apparent

$$\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$$

Erreur fréquente : Mettre directement les chiffres dans l'équation $\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$

Cette équation est une équation vectorielle. Ainsi, on obtient rarement la bonne réponse en mettant directement les valeurs de g et de F dans cette équation. Il faut plutôt travailler avec les composantes x et y de cette équation.

Cette formule nous dit qu'on peut trouver le poids apparent en faisant la somme des forces sur l'objet, mais en ne comptant pas la force de gravitation. Le poids apparent est égal à cette somme des forces, mais dans la direction opposée. C'est ce qui fait que certains définissent le poids apparent comme la force qu'on doit faire pour soutenir l'objet.

En composantes, toujours avec les mêmes axes, cela donne

Le poids apparent (en composantes)

$$P_{app\ x} = -\sum F_x$$
$$P_{app\ y} = -\sum F_y - mg$$

avec l'axe des x horizontal et l'axe des y vers le haut

Pour montrer que cette idée fonctionne, regardons ce qui se passe quand vous prenez l'ascenseur pour monter quelques étages. Quand l'ascenseur commence son mouvement de montée, elle accélère vers le haut, ce qui devrait donner une sensation de poids dans la direction opposée, soit vers le bas. Cette sensation s'ajoute donc à la sensation de poids fait par la force de gravitation et on se sent alors plus lourd. Quand l'ascenseur arrive à destination, elle freine et accélère vers le bas. Cela ajoute une sensation de poids vers le haut à la sensation faite par la force de gravitation vers le bas. On se sent alors plus léger.

On peut d'ailleurs mesurer ce changement de poids apparent en faisant ce tour d'ascenseur sur une balance. Dans le cas de l'ascenseur, il n'y a qu'une seule force qui agit sur la personne si on exclut le poids : c'est la normale. Cela veut dire que la normale est de même grandeur (mais de direction opposée) que le poids apparent puisque

$$P_{app\ y} = -\sum F_y - mg$$
$$P_{app\ y} = -\left(-mg + F_N\right) - mg$$
$$P_{app\ y} = -F_N$$

Comme une balance mesure la force de contact entre la personne et la balance, donc la normale, on peut voir le changement de poids apparent sur la balance. On verra la valeur indiquée par la balance changer au départ et à l'arrivée. C'est ce qu'on peut voir sur ce vidéo.
http://www.youtube.com/watch?v=z42xuQLkkGQ

Il est souvent utile de comparer le poids apparent au poids réel sur Terre pour se donner une meilleure idée de la sensation de poids. En faisant le rapport de la grandeur du poids apparent sur le poids réel, on obtient le nombre de *g*.

Le nombre de g (n_g)

$$n_g = \frac{\left|P_{app}\right|}{P_{\text{reel sur Terre}}} = \frac{\left|P_{app}\right|}{m \times 9{,}8\,\frac{m}{s^2}}$$

Ainsi, si le nombre de *g* vaut 1,2, cela signifie qu'on se sent 1,2 fois plus lourd que normalement.

7.2 LE POIDS APPARENT AVEC DES ACCÉLÉRATIONS EN LIGNE DROITE

Exemple 7.2.1

Quels sont le poids apparent et le nombre de *g* subit par une personne de 60 kg dans un ascenseur…

a) qui monte à vitesse constante?

Il n'y a qu'une seule chose qui peut changer le poids apparent, c'est l'accélération. Comme l'accélération est nulle ici, le poids apparent est donc égal au poids. On a donc

$$P_{app\ y} = -mg = -60kg \times 9{,}8\,\tfrac{m}{s^2} = -588N$$

Le poids apparent est donc de 588 N vers le bas.

Le nombre de *g* est

$$n_g = \frac{588N}{588N} = 1$$

Tout semble donc normal dans l'ascenseur en mouvement à vitesse constante

b) qui accélère vers le haut avec une accélération de 2 m/s²?

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \times 9,8\,\tfrac{m}{s^2} - 60kg \times 2\,\tfrac{m}{s^2} \\ &= -708N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 708 N vers le bas.

Le nombre de *g* est

$$n_g = \frac{708N}{588N} = 1,204$$

La personne dans cet ascenseur semble donc 1,204 fois plus lourde que normalement. C'est ce genre de sensation qu'on est dans un ascenseur qui amorce son mouvement vers le haut (et qui accélère donc vers le haut).

c) qui accélère vers le bas avec une accélération de 2 m/s²?

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \times 9,8\,\tfrac{m}{s^2} - 60kg \times \left(-2\,\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= -468N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 468 N vers le bas.

Le nombre de g est

$$n_g = \frac{468N}{588N} = 0,796$$

La personne dans cet ascenseur semble donc avoir un poids égal à 0,796 fois son poids qu'il a normalement sur Terre. C'est ce genre de sensation qu'on a dans un ascenseur qui arrête son mouvement vers le haut (et qui accélère donc vers le bas).

d) qui accélère vers le bas avec une accélération de 9,8 m/s²?

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \times 9{,}8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \times \left(-9{,}8\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= 0N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 0 N.

Le nombre de *g* est

$$n_g = \frac{0N}{588N} = 0$$

La personne dans cet ascenseur semble donc avoir un poids nul. C'est ce genre de sensation qu'on est dans un ascenseur dont le câble casse et qui tombe en chute libre. Les personnes dans cet ascenseur ont l'impression qu'il n'y a plus de gravitation et elles flottent librement dans l'ascenseur (jusqu'à ce qu'ils deviennent de l'écrapou)

e) qui accélère vers le bas avec une accélération de 15 m/s²?

Le poids apparent est

$$\begin{aligned} P_{app} &= -mg - ma_y \\ &= -60kg \times 9{,}8\tfrac{m}{s^2} - 60kg \times \left(-15\tfrac{m}{s^2}\right) \\ &= 312N \end{aligned}$$

Le poids apparent est donc de 312 N vers le haut (puisqu'il est positif).

Le nombre de *g* est

$$n_g = \frac{312N}{588N} = 0{,}531$$

La personne dans cet ascenseur semble donc avoir un poids vers le haut de l'ascenseur. Ils vont donc se retrouver au plafond où ils pourront marcher et avoir une sensation de poids valant 0,531 fois leur poids normal.

Exemple 7.2.2

Quel est le nombre de *g* subit par une personne dans une fusée au décollage si l'accélération de la fusée est de 6 m/s² vers le haut?

Le poids apparent est

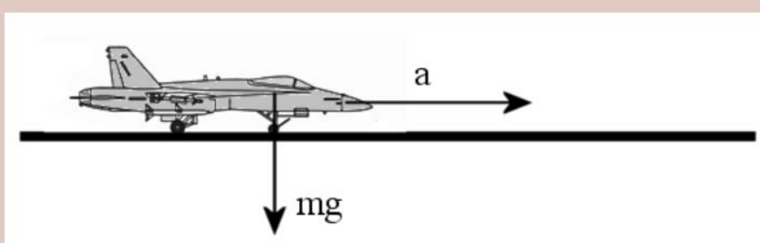
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y = -m\left(g + a_y\right)$$

On ne peut pas le calculer puisqu'on ne sait pas la masse de l'astronaute. On peut cependant trouver le nombre de *g* puisque

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{\left|P_{app}\right|}{mg} \\ &= \frac{\left|-m\left(g + a\right)\right|}{mg} \\ &= \frac{\cancel{m}\left(9{,}8\frac{m}{s^2} + 6\frac{m}{s^2}\right)}{\cancel{m}9{,}8\frac{m}{s^2}} \\ &= 1{,}61 \end{aligned}$$

Exemple 7.2.3

Quels sont le poids apparent (grandeur et direction) et le nombre de *g* subit par un pilote d'avion de chasse de 70 kg quand il est catapulté d'un porte-avion sachant que, lors du catapultage, l'avion accélère jusqu'à une vitesse de 77 m/s (150 nœuds) sur une distance de 94,5 m (sur le USS Nimitz)?



www.fas.org/programs/ssp/man/uswpns/air/fighter/f18.html

Ici, il n'y a que de l'accélération en *x*. On doit donc calculer les deux composantes du poids apparent. On a donc

$$\begin{aligned} P_{app\ x} &= -ma_x \\ P_{app\ y} &= -mg \end{aligned}$$

Pour la calculer, il faudra l'accélération. Comme on sait que la vitesse passe de 0 à 77 m/s sur une distance de 94,5 m, l'accélération est

$$2a_x(x - x_0) = v^2 - v_0^2$$
$$2a_x(94,5m - 0m) = (77m/s)^2 - 0$$
$$a_x = 31,4\tfrac{m}{s^2}$$

Le poids apparent est donc

$$P_{app\ x} = -ma_x = -70kg \times 31,4\tfrac{m}{s^2} = -2198N$$
$$P_{app\ y} = -mg = -70kg \times 9,8\tfrac{m}{s^2} = -686N$$

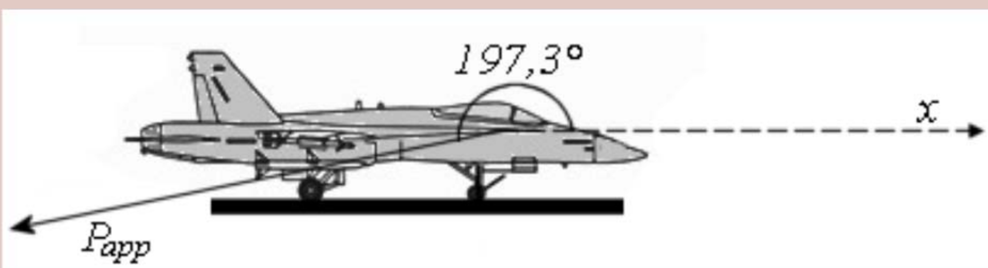
La grandeur du poids apparent est donc

$$P_{app} = \sqrt{P_{app\ x}{}^2 + P_{app\ y}{}^2} = 2302N$$

La direction du poids apparent est

$$\theta = \arctan\frac{P_{app\ y}}{P_{app\ x}} = 197,3°$$

Ce qui donne la direction suivante.



Le pilote se sent donc attiré vers l'arrière de l'avion et un peu vers le bas.

Le nombre de *g* subit est

$$n_g = \frac{P_{app}}{mg}$$
$$= \frac{2302N}{686N} = 3,36$$

Notre pilote se sent donc 3,35 fois plus lourd.

Les pilotes d'avion peuvent subir un nombre important de g au cours de manœuvre avec beaucoup d'accélération, ce qui se produit lors de virage très serré. Ils doivent donc être en mesure de supporter de telles variations de poids apparent.

Il peut toutefois être difficile de supporter un nombre important de g. Si par exemple on subit 5 g vers le haut, le sang de notre corps s'accumulera dans nos membres inférieurs et il y aura un manque de sang dans le cerveau, ce qui entrainera une perte de conscience. Si cela se produit pendant qu'on pilote un avion de combat, le résultat risque de ne pas être très joli. Pour pouvoir supporter un nombre de g plus grand et donc pouvoir faire des virages plus serrés, on a développé des culottes qui serrent les jambes quand il y a des accélérations importantes. En serrant les jambes, on empêche ainsi le sang de s'accumuler à cet endroit. On peut faire encore mieux si on contracte les muscles de jambes en même temps.

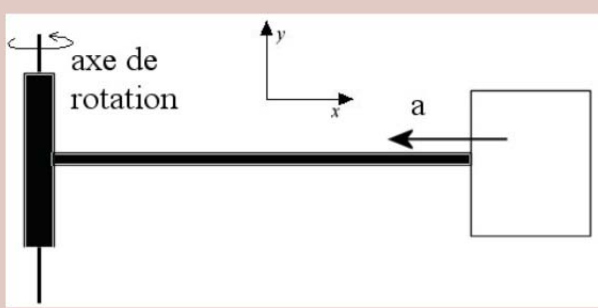
Les futurs pilotes américains doivent passer un test avant de devenir pilotes d'avion de combat. Ils doivent supporter 9 g pendant 10 secondes. Ils ont deux chances pour réussir ce test sinon ils ne seront pas pilotes de combat. Voici certains de ces pilotes
http://www.youtube.com/watch?v=jKNDhEdHoBc
http://www.youtube.com/watch?v=dUkUC8QWa8g

7.3 LE POIDS APPARENT AVEC DES ACCÉLÉRATIONS DUES À DES MOUVEMENTS CIRCULAIRES

Pour atteindre le nombre de g important montré dans les tests précédents, on place les pilotes dans une centrifugeuse. Essentiellement, on les assoit dans une boite qu'on fait tourner. Avec l'accélération qu'il y a lors d'un mouvement circulaire, le poids apparent augmente. Plus ça tourne vite, plus il y a d'accélération, plus le poids apparent devient grand. Voici une centrifugeuse de ce type en action.
http://www.youtube.com/watch?v=sG6PPWxjgu0

Exemple 7.3.1

Une centrifugeuse ayant un rayon de 5 m fait un tour en 1,5 seconde. Quel est le nombre de g subit par la personne dans la centrifugeuse?



Comme il n'y a que de l'accélération en *x*, les composantes du poids apparent sont

$$P_{app\ x} = -ma_x$$
$$P_{app\ y} = -mg$$

La grandeur du poids apparent est donc

$$P_{app} = \sqrt{(mg)^2 + (ma_x)^2}$$

Il nous faudra la grandeur de l'accélération. Dans un mouvement circulaire uniforme, on peut la trouver avec

$$\begin{aligned} a_x &= -\frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ &= -\frac{4\pi^2 5m}{(1,5s)^2} \\ &= -87,73\tfrac{m}{s^2} \end{aligned}$$

On ne peut pas trouver le poids apparent, car on ne sait pas la masse de la personne dans la centrifugeuse. Cependant, on peut trouver le nombre de *g* avec

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{P_{app}}{mg} \\ &= \frac{\sqrt{(mg)^2 + (ma_x)^2}}{mg} \\ &= \frac{\sqrt{m^2g^2 + m^2a_x^2}}{mg} \\ &= \frac{\sqrt{m^2\left(g^2 + a_x^2\right)}}{mg} \\ &= \frac{\cancel{m}\sqrt{g^2 + a_x^2}}{\cancel{m}g} \\ &= \frac{\sqrt{\left(9,8\tfrac{m}{s^2}\right)^2 + \left(87,73\tfrac{m}{s^2}\right)^2}}{9,8\tfrac{m}{s^2}} \\ &= 9,01 \end{aligned}$$

Dès qu'on est en mouvement circulaire, notre poids apparent n'est plus égal à notre poids réel, car il y a alors une accélération. C'est d'ailleurs ce qui se passe à cause de la rotation de la Terre : notre poids apparent n'est pas véritablement *mg* à cause de la rotation de la Terre.

Exemple 7.3.2

spaceplace.nasa.gov/geo-orbits/en/

Quel est le nombre de *g* subit par une personne à l'équateur?

Le poids et l'accélération sont tous les deux vers le centre de la Terre. La grandeur du poids est donc

$$P_{app\ y} = -mg - ma$$

Il faut donc trouver l'accélération de la personne pour déterminer le nombre de *g*. Comme la personne fait un cercle d'un rayon de 6380 km en 24 h (en fait un peu moins), l'accélération centripète, vers le centre de la Terre, est

$$a_y = -\frac{4\pi^2 r}{T^2} = -\frac{4\pi^2\left(6,38\times 10^6 m\right)}{\left(86400s\right)^2} = -0,03374\tfrac{m}{s^2}$$

Le poids apparent est donc

$$\begin{aligned} P_{app\ y} &= -mg - ma \\ P_{app\ y} &= -m\times 9,8\tfrac{m}{s^2} - m\left(-0,03374\tfrac{m}{s^2}\right) \\ P_{app\ y} &= -m\left(9,8\tfrac{m}{s^2} - 0,03374\tfrac{m}{s^2}\right) \end{aligned}$$

Le nombre de *g* est

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{\left|P_{app}\right|}{mg} \\ &= \frac{\left|-m\left(9,8\tfrac{m}{s^2} - 0,03374\tfrac{m}{s^2}\right)\right|}{mg} \\ &= \frac{\cancel{m}\left(9,8\tfrac{m}{s^2} - 0,03374\tfrac{m}{s^2}\right)}{\cancel{m}g} \\ &= \frac{\left(9,8\tfrac{m}{s^2} - 0,03374\tfrac{m}{s^2}\right)}{9,8\tfrac{m}{s^2}} = 0,9965 \end{aligned}$$

Ainsi à l'équateur, notre poids semble être 99,65 % de celui qu'on aurait si on était au pôle (où il n'y a pas d'accélération due à la rotation de la Terre.)

7.4 L'IMPESANTEUR[1]

On remarque, comme on l'a vue avec l'ascenseur, qu'il est très possible que l'effet de poids dû à l'accélération annule complètement l'effet de poids dû à la gravitation. Quand l'ascenseur était en chute libre, le poids apparent devenait nul dans la cage de l'ascenseur. Les occupants pourraient alors flotter dans la cage comme s'il n'y avait pas de gravité. On dit alors qu'ils sont en état d'impesanteur ou d'apesanteur.

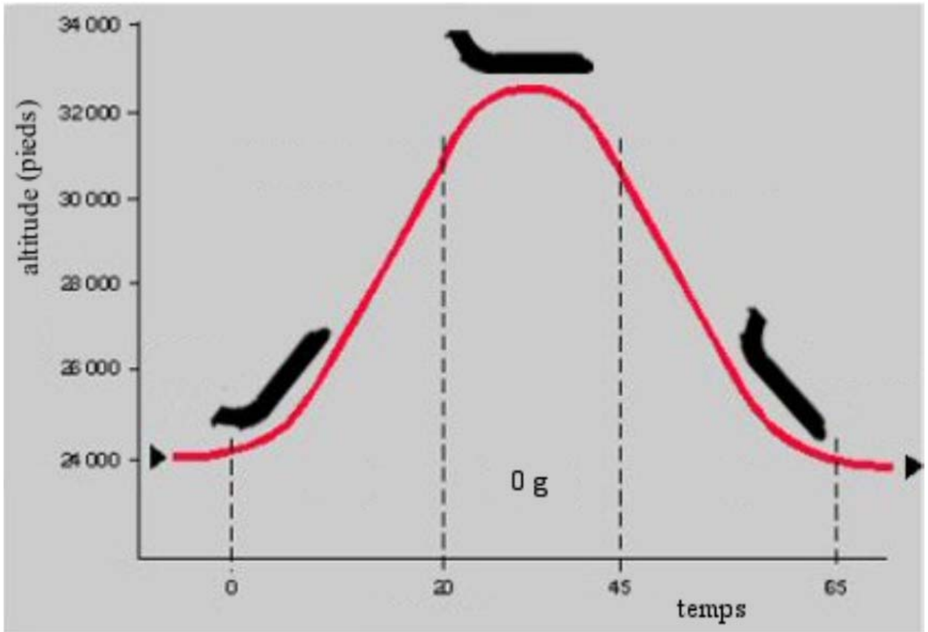
En fait, dès qu'on accélère vers le bas avec la même accélération que l'accélération gravitationnelle, notre poids apparent devient nul. Cela inclut évidemment tous les cas de chute libre. C'est d'ailleurs ce qui se passe pour les occupants de la station spatiale en orbite. On a vu que la station spatiale en orbite autour de la Terre fait un mouvement de chute libre sans fin vers la Terre. Comme il s'agit d'une chute libre, l'accélération de la station spatiale est exactement la même que l'accélération gravitationnelle et le poids apparent des astronautes est nul.

Erreur fréquente : La force de gravitation sur les astronautes en orbite est nulle.

Ce n'est pas le poids (la force de gravitation) qui est nul, c'est le poids apparent. En réalité, le poids des astronautes en orbite est à peine inférieur à ce qu'il est sur Terre. D'ailleurs, si le poids était nul, il n'y aurait pas de force sur les astronautes et il ne pourrait pas faire de mouvement circulaire autour de la Terre, car il n'y aurait pas de force centripète.

Pas besoin d'être dans la station spatiale pour se retrouver en état d'impesanteur, il suffit d'accélérer vers le bas avec une accélération de 9,8 m/s². Évidemment, on peut s'enfermer dans une boite et se laisser tomber, mais il y a quelques problèmes : la friction de l'air qui va diminuer notre accélération et, évidemment, le choc avec le sol. On peut faire un peu mieux avec un avion. On donne une trajectoire parabolique comme celle-ci à l'avion.

[1] Le terme « apesanteur » est souvent utilisé pour désigner l'absence de poids apparent; cependant, les confusions orales fréquentes entre « l'apesanteur » et « la pesanteur » ont conduit à utiliser le terme « impesanteur ». Le dictionnaire de l'Académie française constate cependant que le terme a du mal à s'imposer.



en.wikipedia.org/wiki/Reduced_gravity_aircraft

La partie courbe la plus haute de la trajectoire est une parabole, la même parabole qu'aurait un objet en chute libre. Cela signifie qu'à ce moment on accélère avec une accélération de 9,8 m/s² vers le bas à cet endroit et que le poids apparent devient nul pendant cette partie de trajectoire. On peut ainsi avoir environ 25 secondes d'impesanteur. Voici un vidéo montrant les occupants d'un avion faisant une telle trajectoire.
http://www.youtube.com/watch?v=Lhu198E8z2U

On peut même le faire en touriste
http://www.youtube.com/watch?v=pH2TCEiYwKs

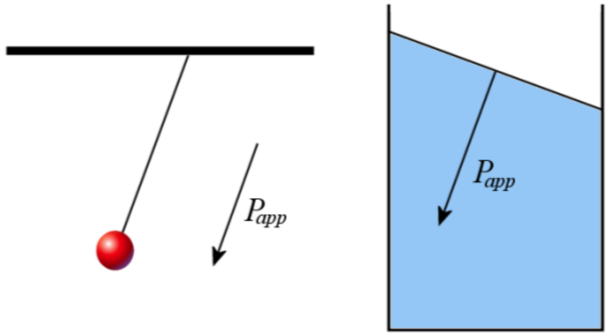
On peut aussi le faire avec son propre avion
http://www.youtube.com/watch?v=CtnXWwzn368

7.5 LA DIRECTION DU POIDS APPARENT

La direction du poids apparent est importante, car elle indique vers quelle direction on se sent attiré par le poids apparent. On remarque aussi

1 – Les objets suspendus s'alignent avec la direction du poids apparent.

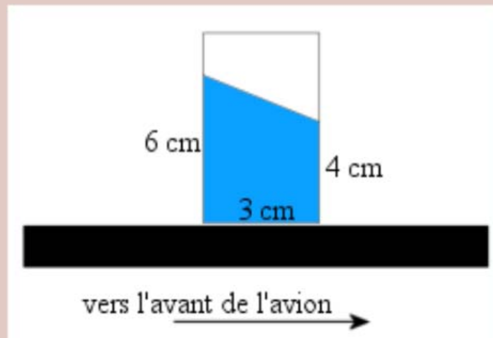
2 – La surface des liquides est perpendiculaire à la direction du poids apparent.

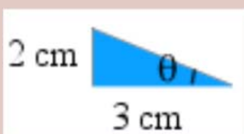


On peut voir ce dernier effet dans ce vidéo montrant comment change l'orientation de la surface d'un liquide dans une voiture quand on prend un virage
http://www.youtube.com/watch?v=yOFERQMtGNM

Exemple 7.5.1

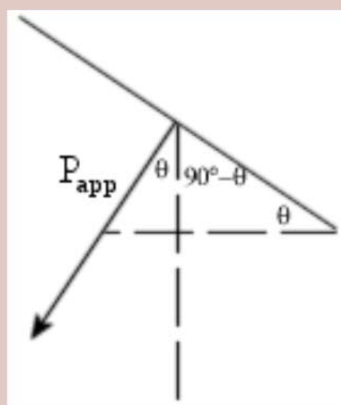
Un verre d'eau est solidement fixé sur une table dans un avion qui décolle. Si la surface de l'eau est orientée comme sur la figure, quelle est l'accélération de l'avion?





Commençons par trouver l'angle d'inclinaison de la surface. Cet angle est

$$\theta = \arctan\frac{2}{3} = 33,7°$$



Cet angle est aussi l'angle entre la verticale et le poids apparent comme on peut le voir sur la figure.

Les composantes du poids apparent sont

$$P_{app\,x} = -ma_x$$
$$P_{app\,y} = -mg$$

L’angle que fait la direction du poids apparent est donc

$$\tan\theta = \frac{P_{app\ y}}{P_{app\ x}}$$

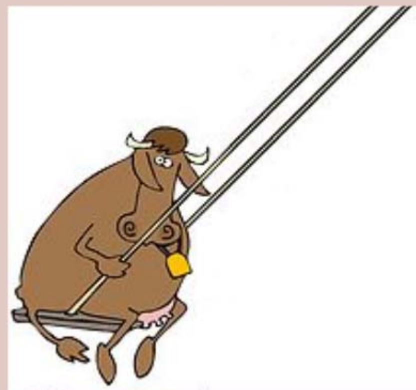
$$\tan\theta = \frac{-\cancel{m}g}{-\cancel{m}a_x}$$

$$\tan(-123{,}7°) = \frac{9{,}8\,\frac{m}{s^2}}{a_x}$$

$$a_x = 6{,}53\,\tfrac{m}{s^2}$$

Exemple 7.5.2

Dans quelle direction est le poids apparent sur cette vache qui se balance s’il n’y a pas de friction de l’air?

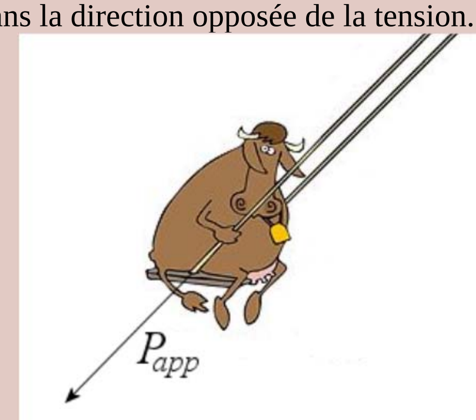


On pourrait penser que la solution de ce problème sera compliquée, car il faudra trouver l’accélération, qui est composée ici de l’accélération centripète et de l’accélération tangentielle. Toutefois, c’est beaucoup plus simple si on utilise la formule avec la somme des forces

ww.clipartof.com/portfolio/djart/illustration/cow-elephant-and-pig-swinging-together-on-a-playground-39760.html

$$\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$$

Cette formule nous dit que le poids apparent est dans la direction contraire de la somme des forces, en ne comptant pas la force de gravitation. Comme ici il n’y a qu’une seule force (la tension) si on exclut la force de gravitation, cela veut dire que le poids apparent est dans la direction opposée de la tension. On a donc



Cette vache pourrait donc tenir un verre d’eau (si elle avait des doigts) et la surface de l’eau serait toujours perpendiculaire à la direction de la corde.

Notez aussi que la poussée d'Archimède est toujours dans la direction opposée au poids apparent et que la valeur de *g* dans la formule de la force est en réalité la valeur de *g* apparente, qui vaut n_g x 9,8 N/kg. On a donc

Poussée d'Archimède (F_A), version améliorée

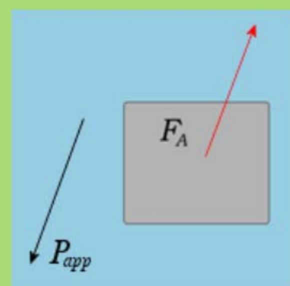
1) Grandeur de la force

$$F_A = \rho n_g \cdot 9{,}8\tfrac{N}{kg} \cdot \left(volume\ immergé\right)$$

où ρ est la densité du fluide
n_g est le nombre de g subit par l'objet
et le *volume immergé* est le volume de l'objet qui est dans le fluide.

2) Direction de la force

dans la direction opposée au poids apparent



www.boundless.com/physics/fluids/density-and-pressure/pressure/

3) Point d'application de la force

Répartie également partout sur la surface de la partie de l'objet qui est dans le fluide.
(Ce qui revient au même que de mettre le point d'application au centre de la partie de l'objet qui est dans le fluide)

7.6 LE NOMBRE DE *g* MAXIMUM QUE PEUT SUPPORTER L'ÊTRE HUMAIN

Sans entrainement, 3 ou 4 *g* peuvent devenir rapidement inconfortables. Le déplacement des fluides dans le corps pouvant priver le cerveau de sang et l'effort musculaire nécessaire pour se maintenir en place peuvent rapidement épuiser quelqu'un. Comme, les pilotes de course peuvent subir jusqu'à 5 *g* dans des virages très rapides, ils doivent préalablement s'entrainer pour pouvoir supporter de tel poids apparent.

On sait déjà que les pilotes d'avion de chasse peuvent supporter 9 *g* pendant 10 secondes avec beaucoup de préparation, mais peut-on aller plus loin? Durant les années 40 et 50, John Stapp chercha à répondre à ces questions avec une série du test avec des accélérations de plus en plus grandes. Voici d'ailleurs un de ces tests.
http://www.youtube.com/watch?v=3UEYxf4fl_A

Stapp survécut à ce test de 46,2 *g*. Remarquez que, puisqu'il avait la tête penchée vers l'avant, le sang s'est accumulé dans sa tête lors du freinage. C'est ce qui a fait éclater les capillaires dans ses yeux le rendant aveugle pendant quelques jours.

Si l'accélération agit pendant un très court laps de temps, les fluides n'auront pas le temps de se déplacer et il n'y aura pas d'effort musculaire déployé pour se maintenir. On peut alors résister à des nombres de *g* beaucoup plus grand. Il n'est pas rare que des gens survivent à des accidents de voiture alors qu'ils ont subi jusqu'à 50 *g*. Au-delà de 50 *g*, de sérieuses blessures peuvent survenir. Toutefois, Kenny Bräck survécut à cet accident au cours duquel il encaissa, durant un très court moment, 214 *g*! (il y a des accéléromètres dans les voitures)
http://www.youtube.com/watch?v=Hy8fgGiI1WA
Bräck fit un retour en course 2 ans plus tard…

RÉSUMÉ DES ÉQUATIONS

Le poids apparent

$$\vec{P}_{app} = m\vec{g} + \left(-m\vec{a}\right)$$
$$\vec{P}_{app} = -\left(\sum \vec{F} - m\vec{g}\right)$$

Le poids apparent (en composantes, première formule)

$$P_{app\ x} = -ma_x$$
$$P_{app\ y} = -mg - ma_y$$

avec l'axe des *x* horizontal et l'axe des *y* vers le haut

Le poids apparent (en composantes, deuxième formule)

$$P_{app\ x} = -\sum F_x$$
$$P_{app\ y} = -\sum F_y - mg$$

avec l'axe des *x* horizontal et l'axe des *y* vers le haut

Le nombre de g

$$n_g = \frac{\left|P_{app}\right|}{P_{\text{reel sur Terre}}} = \frac{\left|P_{app}\right|}{m \times 9{,}8\,\frac{m}{s^2}}$$

Poussée d'Archimède (F_A), version améliorée

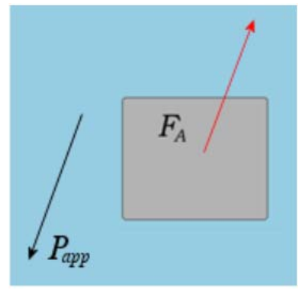
1) Grandeur de la force

$$F_A = \rho n_g \cdot 9{,}8 \tfrac{N}{kg} \cdot (\textit{volume immergé})$$

où ρ est la densité du fluide
n_g est le nombre de g subit par l'objet
et le *volume immergé* est le volume de l'objet qui est dans le fluide.

2) Direction de la force

dans la direction opposée au poids apparent



www.boundless.com/physics/fluids/density-and-pressure/pressure/

3) Point d'application de la force

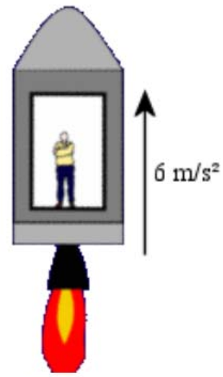
Répartie également partout sur la surface de la partie de l'objet qui est dans le fluide.
(Ce qui revient au même que de mettre le point d'application au centre de la partie de l'objet qui est dans le fluide)

EXERCICES

7.2 Le poids apparent avec des accélérations en ligne droite

1. Karl, d'une masse de 70 kg, est dans une fusée. Au décollage, la fusée a une accélération de 6 m/s² vers le haut.

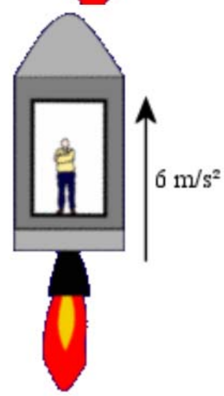
   a) Quel est le poids de Karl (grandeur et direction)?
   b) Quel est le poids apparent de Karl (grandeur et direction)?
   c) Quel est le nombre de g subi par Karl?



www.einstein-online.info/spotlights/geometry_force

2. Karl, d'une masse de 70 kg, est dans une fusée. Cette fois-ci, la fusée décolle verticalement, mais à partir de la surface de la Lune (où *g* ne vaut que 1,6 N/kg). Au décollage, la fusée a une accélération de 6 m/s² vers le haut.

   a) Quel est le poids de Karl (grandeur et direction)?
   b) Quel est le poids apparent de Karl (grandeur et direction)?
   c) Quel est le nombre de g subi par Karl?



www.einstein-online.info/spotlights/geometry_force

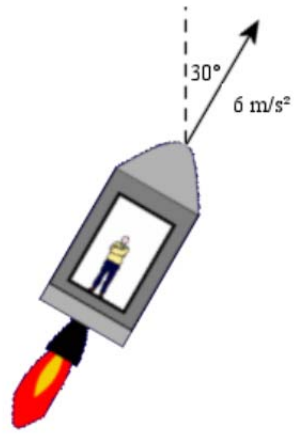
3. White Zombie est une voiture électrique aux allures modestes, mais ayant des performances extraordinaires.

theelectricautoreview.com/2010/03/25/electric-drag-racing-white-zombie/

Elle peut atteindre une vitesse de 100 km/h en seulement 1,8 s, laissant loin derrière des voitures telles que des Ferrari. En supposant que l'accélération est constante, quel est le nombre de g subi par le pilote pendant cette accélération?

4. Karl, d'une masse de 70 kg, est dans une fusée. Un peu après le décollage, la fusée a une accélération de 6 m/s² dans une direction faisant 30° avec la verticale.

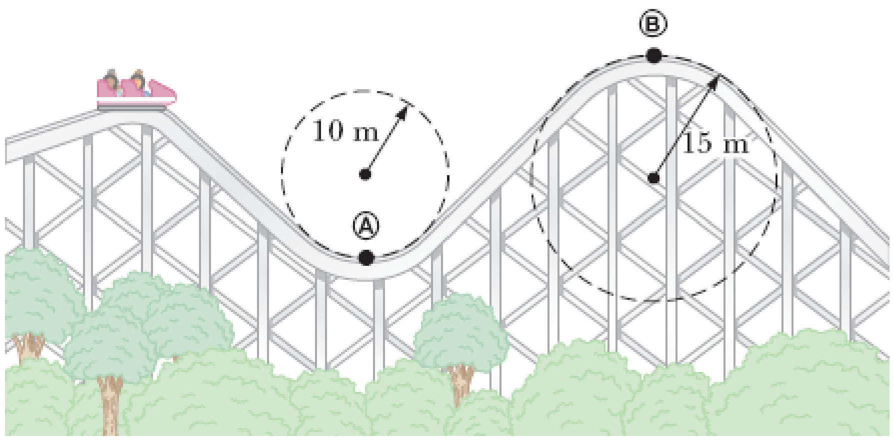
a) Quel est le poids apparent de Karl (grandeur et direction)?
b) Quel est le nombre de g subi par Karl?



www.einstein-online.info/spotlights/geometry_force

7.3 Le poids apparent avec des accélérations dues à des mouvements circulaires

5. Odette, d'une masse de 120 kg, est dans une voiture de montagnes russes qui roule sur la piste montrée sur cette figure.

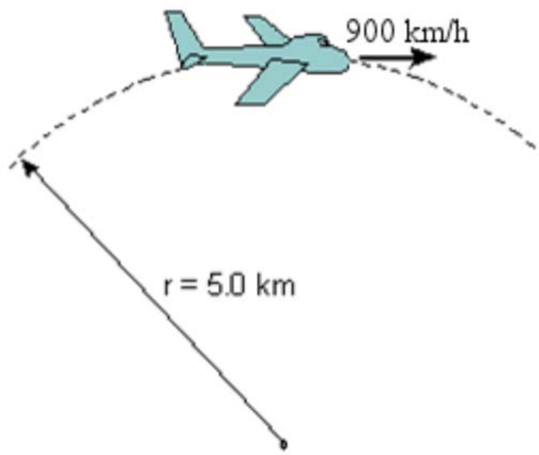


www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/physics-archive-2011-november-02

a) Quels sont le poids apparent et le nombre de *g* subi par Odette quand la voiture passe au point A si la vitesse de chariot est de 25 m/s à cet endroit?
b) Quels sont le poids apparent et le nombre de *g* subi par Odette quand la voiture passe au point B si la vitesse de chariot est de 10 m/s à cet endroit?

6. Quelle devrait être la période de rotation de la Terre si on voulait que le poids apparent d'une personne devienne nul à l'équateur? (Prenez 6378 km pour le rayon de la Terre.)

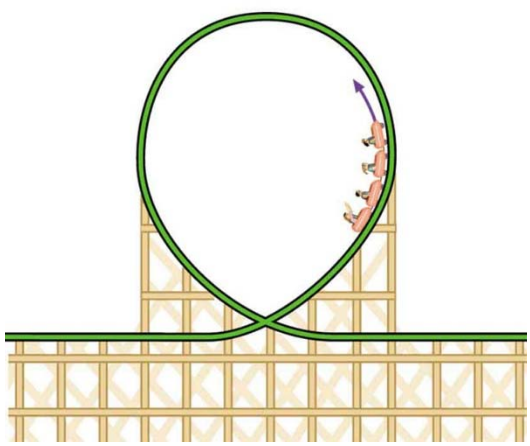
7. Juliette, d'une masse de 60 kg, est dans un avion qui suit cette trajectoire à vitesse constante.



www.physics.fsu.edu/users/ng/Courses/phy2053c/HW/Ch05/ch05.htm

a) Quel est le poids apparent de Juliette (grandeur et direction)?
b) Quel est le nombre de g subi par Juliette?

8. Victor, d'une masse de 50 kg, fait un tour de montagnes russes. Sur le parcours, il y a une boucle telle qu'illustrée sur cette figure.



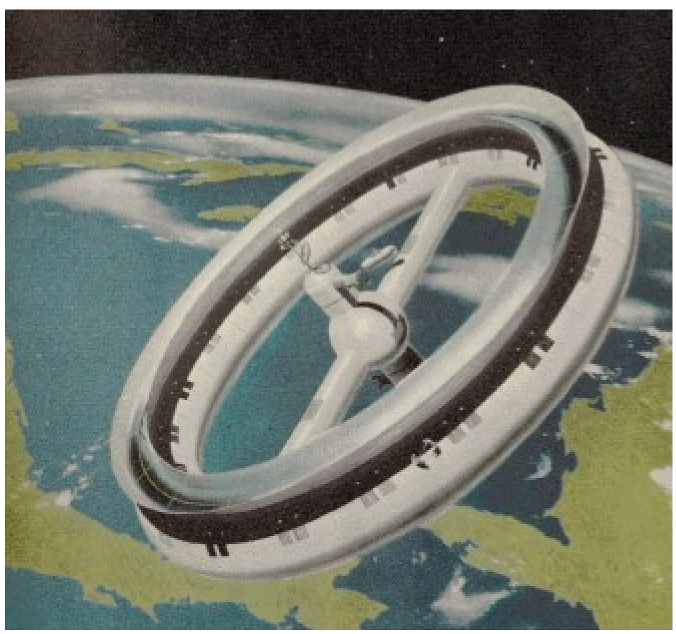
cnx.org/content/m42086/latest/?collection=col11406/latest

Au sommet, le rayon de courbure de la piste est de 10 m. Quel doit être la vitesse du chariot pour que Victor ait un poids apparent vers le haut et que la grandeur de son poids apparent soit le double de la grandeur de son poids?

9. Le pilote de cette formule 1 subit 4 g dans ce virage. Quel est le rayon de courbure du virage si la formule 1 va à 180 km/h?

digitalcatharsis.wordpress.com/tag/crowne-plaza-hotel/

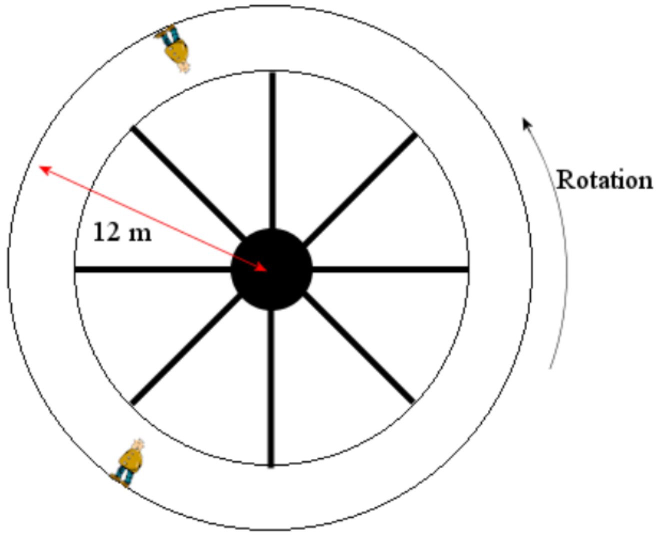
10. Pour éviter de se retrouver en impesanteur, on propose de construire une station spatiale tournante ayant cette forme



www.rogersrocketships.com/page_view.cfm?id=24

Avec la rotation de la station, les astronautes feront un mouvement circulaire qui leur donnerait une accélération et donc un poids apparent.

Les astronautes marcheraient sur le mur externe de la station comme montré sur cette figure.

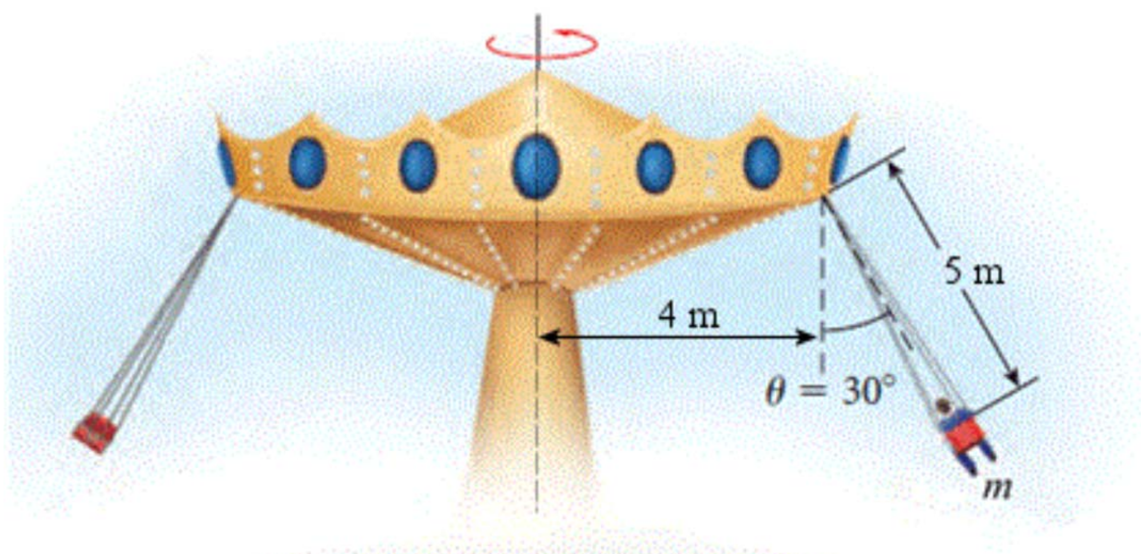


www.batesville.k12.in.us/Physics/PhyNet/Mechanics/Circular%20Motion/answers/assign_4_answers.htm

Avec les dimensions montrées sur la figure, quelle devrait être la période de rotation de la station pour que les personnes dans la station aient un poids apparent égal à leur poids sur Terre si cette station est dans l'espace, loin de toutes planètes ou étoiles?

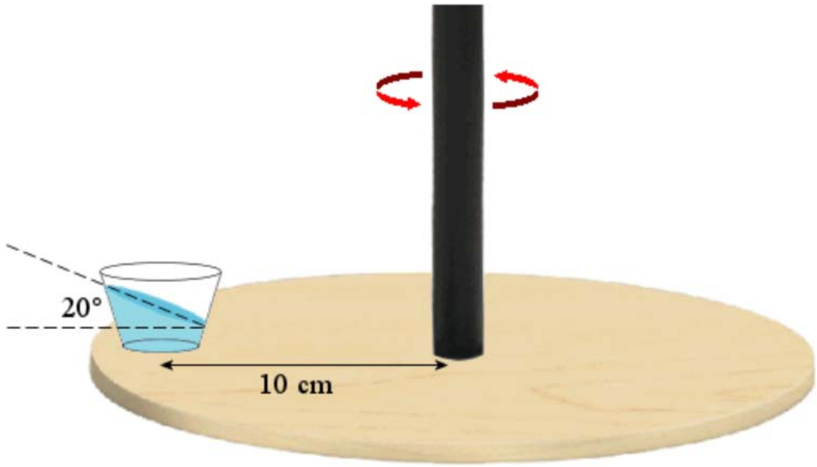
7.5 La direction du poids apparent

11. Quelle est la période de rotation de ce manège qui tourne à vitesse constante?



www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/popular-carnival-ride-consists-seats-attached-central-disk-cables-passengers-travel-unifor-q1568766

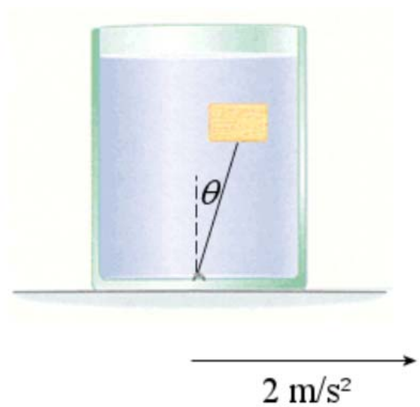
12. La surface de l'eau dans ce verre est inclinée de 20°.



www.foundalis.com/phy/Mach-bucket.htm

Quel serait l'angle d'inclinaison de l'eau si le verre était à 6 cm de l'axe de rotation et que la plaque tournait toujours à la même période?

13. Un bloc de bois de 350 g et ayant un volume de 400 cm³ est attaché au fond d'un récipient rempli d'eau tel qu'illustré sur la figure. Ce récipient est dans une voiture qui accélère vers la droite avec une accélération de 2 m/s².



www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/physics-archive-2012-june-15

a) Quelle est la poussée d'Archimède (grandeur et direction) sur ce bloc de cèdre? (la densité de l'eau est de 1000 kg/m³)
b) Quelle est la tension de la corde?
c) Quel est l'angle θ sur la figure?

RÉPONSES

7.2 Le poids apparent avec des accélérations en ligne droite

1. a) 686 N vers le bas   b) 1106 N vers le bas   c) 1,612
2. a) 112 N vers le bas   b) 532 N vers le bas   c) 0,7755
3. 1,865
4. a) 1070,5 N à -101,3°   b) 1,56

7.3 Le poids apparent avec des accélérations dues à des mouvements circulaires

5. a) 8676 N vers le bas, n_g = 7,378   b) 376 N vers le bas n_g = 0,32
6. 84,48 min
7. a) 162 N vers le haut   b) 0,2755
8. 17,15 m/s
9. 65,87 m
10. 6,953 s

7.5 La direction du poids apparent

11. 6,734 s
12. 12,32°
13. a) 4 N à 78,47°   b) 0,5 N   c) 11,5°