

4 - Mise en orbite

Durée : 30 min

Objectifs :

- Observer les effets de la gravité sur différents milieux et objets
- Comprendre comment on peut se libérer de la gravité d'un astre

Matériel : ficelle, boule de polystyrène, scotch, simulateur d'orbite, billes, boule de pétanque

La force de gravité et trajectoires

Grâce à différentes balles, on observe les effets de la gravité sur différents milieux et objets. On va :

- Lâcher une balle sans vitesse de différente hauteur (chute libre)
- Lancer une balle verticalement avec différente impulsion verticale.
- Plonger la balle dans l'eau. La balle normalement remonte.
- Renouveler les expériences avec une bille
- Tirs paraboliques : Imprimer une vitesse à la balle de manière à obtenir 3 types de trajectoire : Quasi verticale, cloche, tendu, et évoquer l'orbite.



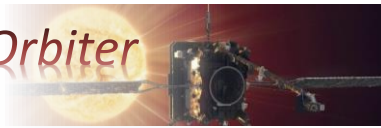
A chaque démonstration on engage la discussion avec le public pour comprendre les causes et effet de la gravité sur Terre.

Orbites et vitesse de libération

Ensuite, nous allons :

- Accrocher la ficelle au plafond avec de la bande adhésive. A l'autre bout, accrocher la bille. Placez le tout à l'aplomb de la demi-sphère de polystyrène posée sur une table.
- Eloigner la bille de la bordure extérieure de l'hémisphère.
- Lâchez-la sans vitesse initiale (chute libre).
- Laissez-la à la surface.
- Donnez-lui une vitesse pour quelle retombe sur un autre point de la surface (tir parabolique).





- De nouveau éloignez la de la surface et essayez de lui imprimer une trajectoire circulaire ou elliptique (mise sur orbite).

A chaque démonstration en engage la discussion avec le public pour comprendre les causes et effet de la gravité dans l'espace.

Simulateur d'orbite

Objectif :

- Montrer de manière simplifiée le principe d'une orbite céleste, c'est-à-dire la trajectoire en courbe fermée d'un objet par rapport à un autre, sous l'effet de la gravitation.
- Constater l'importance de la masse des objets et de leur vitesse.

Durée : 30 min à 1h



1. Déplier la toile du simulateur d'orbite

2. Placer en cercle une série de dossiers de chaises de manière à délimiter un espace central de deux mètres de diamètre, le plus plat possible.

3. Caler le simulateur au centre.

4. Accrocher un poids entre chaque chaise à l'ourlet du drap.

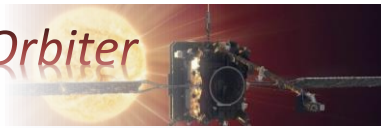
Remarque : le simulateur peut également être simplement tenu par les participants

Dans ce dispositif, le tissu élastique (nappe en lycra) représente l'espace, les billes représentent les corps célestes se déplaçant « sur » l'espace simplifié en deux dimensions.

Le phénomène de gravitation

Enoncer que le drap représente l'espace et une bille un corps céleste de petite taille. Poser la question « Qu'est-ce qui crée le phénomène de gravitation ? »

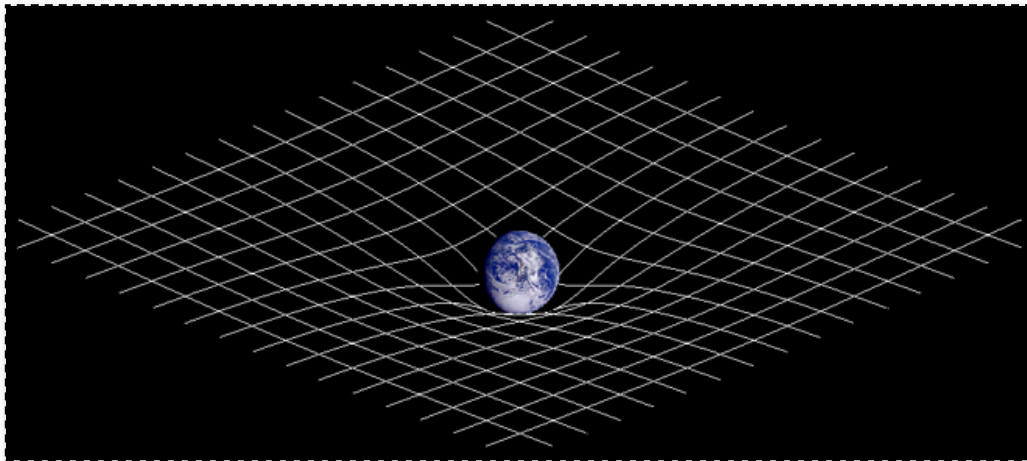
Après discussion ouverte avec les élèves, ils sont invités à se servir du drap et d'une seule bille de petit diamètre. Comme cette première étape n'est pas très parlante visuellement cela doit logiquement les conduire à solliciter les billes de plus gros diamètres, jusqu'à obtenir une courbure manifeste du tissu, en son centre.



Une fois la courbure obtenue, énoncer que l'objet représente le Soleil et proposer d'introduire sur le plan une autre bille de petite taille qui figurerait une planète.

Le glissement de la petite bille vers l'ensemble plus massif illustre le phénomène de gravitation. On peut ainsi illustrer le fait que la gravitation n'est pas une « force » et que le déplacement d'un objet dans l'espace ne s'opère jamais véritablement « en ligne droite ».

Cette représentation de la déformation de l'espace-temps découle de la théorie de la relativité générale d'Einstein.



Echapper à la gravitation

Poser la question « Comment échapper à la gravitation ? »

L'objet massif est laissé au centre du drap. Après discussion ouverte avec les participants sur les différentes solutions possibles, les inviter à reproduire les solutions énoncées.

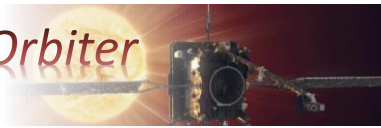
Ils devraient réussir à formuler et à reproduire deux solutions : se déplacer suffisamment loin de l'objet plus massif, aux extrémités du drap (afin de ne pas « subir » son influence gravitationnelle), ou se déplacer suffisamment vite (afin « d'échapper » à son influence gravitationnelle).

Mise en orbite

Poser la question « Comment mettre un satellite ou un vaisseau spatial en orbite autour d'une planète ? »

L'objet massif, qui figure maintenant une planète comme Jupiter, est laissé au centre du drap. Après discussion ouverte, confier des billes aux participants pour les laisser rechercher, en multipliant les essais, l'équilibre nécessaire entre distance, angle et vitesse de déplacement de la bille afin de réaliser le plus de révolutions possibles.





Pour qu'un objet puisse aller dans l'espace en partant d'un objet massif il faut qu'il atteigne la **vitesse de libération**. Pour la Terre cette vitesse est de ~ 11 km/s ($= 40\,000$ km/h). Celle du Soleil est de 617 km/s.

Tous les corps dans le système solaire sont en équilibre entre leur vitesse et l'attraction gravitationnelle.

L'animateur pourra conclure par :

- une question posée sur la vitesse à laquelle il faut propulser un satellite pour que son orbite autour de la Terre soit suffisamment persistante (environ 28 000 km par heure)
- une indication de l'altitude minimale du satellite pour qu'il ne soit pas freiné par l'atmosphère (au moins 100 km)
- une évocation du problème lié à l'énergie (et donc au poids du carburant) qu'il convient de dépenser pour faire quitter l'atmosphère à un vaisseau spatial, puis le faire voyager dans l'espace, c'est-à-dire « transiter » d'une orbite à une autre.

Approfondissements

Assistance gravitationnelle :

On peut aussi parler de l'effet d'assistance gravitationnelle : un vaisseau passant à proximité d'un objet avec la bonne vitesse et le bon angle peut profiter de l'accélération générée par sa masse (accélération de la pesanteur) pour... accélérer. Mais cela implique un changement de direction de trajectoire.



Pour l'observer sur le simulateur, lancer une bille vers le poids central en passant le plus proche possible sans le toucher. Cela va créer une ellipse très excentrée. Il ne reste plus qu'à faire observer les vitesses de déplacement.

Aérofrenage :

On peut poser la question de l'illustration utilisée : en réalité, les objets s'attirent parce qu'ils sont massifs, et restent en orbite parce qu'il n'y a pas de frottements dans l'espace (c'est du vide).

On peut alors parler de la technique d'aérofrenage : pour ralentir un vaisseau, on peut lui donner une trajectoire rasante sur une atmosphère afin de le ralentir avec les frottements.

On peut aussi parler des vaisseaux cargos et habités qui une fois amarrés à la Station Spatiale Internationale sont utilisés pour rehausser la station en allumant leurs réacteurs. La Station n'étant

qu'à 300 km d'altitude, il y a encore un peu d'air, et donc de frottements. La station tomberait sans ces actions !

Orbite de transfert

On peut ajouter un second objet massif, pour simuler le principe d'une orbite de transfert, « en huit ».

C'est par exemple le cas lorsque l'on envoie une sonde orbiter autour de la Lune ou de Mars. Pour cela poser 2 poids, écartés l'un de l'autre, sur le simulateur et lancer des billes pour tenter de passer entre les 2 poids. Le but du jeu est de faire des trajectoires en « 8 ».

Système planète-lune

Le simulateur d'orbite peut également montrer comment fonctionne un système planète-lune autour d'un soleil.

Pour cela il suffit de laisser un poids au centre, puis de lancer en même temps 2 billes de tailles différentes. La plus grosse, la planète, crée une déformation dans l'espace autour d'elle dans laquelle la lune est piégée.

Sens de rotation des astres du système solaire

Autre manipulation possible :

- Poser un poids au centre
- Prendre une poignée de billes dans chaque main
- Lancer les billes de la main droite vers la droite et ce de la main gauche vers la gauche (en y mettant la même énergie)
- Observer

Répéter la manipulation en prenant un peu plus de billes dans l'une des mains et en identifiant bien dans quel sens ces billes sont lancées.

Cela simule le début d'un système solaire. Au début, il n'y a pas de sens de rotation particulier. Les éléments tombent vers le centre et vont soit former l'étoile, soit se mettre en rotation autour de celle-ci. Mais comme il y a toujours un petit déséquilibre, au fil des chocs, des éléments vont perdre en vitesse et tomber au centre et les autres vont continuer de tourner et ainsi le sens majoritaire va s'imposer.