

AM-02.08 · SPACE ACADEMY

Gravitation et loi en $1/r^2$: pourquoi la distance compte au carré

Pourquoi la gravité diminue-t-elle rapidement quand on s'éloigne ?

Boussole du cours

Question directrice : Pourquoi la gravité diminue-t-elle rapidement quand on s'éloigne ?

Ressource pédagogique en libre accès : ce contenu n'est ni une formation professionnelle, ni un diplôme, ni une certification, ni une habilitation. Les exemples sont pédagogiques et ne remplacent pas l'ingénierie, les essais et la **qualification** INFO d'un matériel spatial réel.

Réponse essentielle

Gravitation et loi en $1/r^2$: pourquoi la distance compte au carré. La question à résoudre est la suivante : Pourquoi la gravité diminue-t-elle rapidement quand on s'éloigne ? Nous partons du problème concret avant la notation. Le but est de comprendre ce que l'on cherche, puis seulement pourquoi les mathématiques deviennent utiles. La suite du cours montre comment passer de cette idée à un raisonnement contrôlable : unités explicites, hypothèses annoncées, calculs reproductibles, ordre de grandeur et limites d'interprétation. Le résultat n'est utile que si

l'on peut expliquer ce qu'il mesure, d'où viennent les nombres et quelle décision d'ingénierie il éclaire.

Synthèse de départ : les démonstrations, exemples, limites et sources sont développés dans le corps du cours.

Mots clés avant de commencer

accélération INFO · **force** INFO · **masse** INFO ·
gravitation INFO · **unité** INFO

1 — La question physique

Pourquoi la gravité diminue-t-elle rapidement quand on s'éloigne ?

Nous partons du problème concret avant la notation. Le but est de comprendre ce que l'on cherche, puis seulement pourquoi les mathématiques deviennent utiles.

Schéma pédagogique 1 : 1 — La question physique — Gravitation et loi en $1/r^2$: pourquoi la distance compte au carré

1 — La question physique

2 — Comment lire les symboles et les unités

$F = G \times m_1 \times m_2 / r^2$. Lecture : « F égale G fois m un fois m deux, divisé par r au carré ».

F — force gravitationnelle ; G — constante gravitationnelle universelle ; m_1, m_2 — masses ; r — distance entre centres

Schéma pédagogique 2 : 2 —
Comment lire les symboles et les
unités — Gravitation et loi en $1/r^2$:
pourquoi la distance compte au carré

2 — Comment lire les symboles et les
unités

3 — D'où vient la relation ?

Dans le modèle newtonien, l'attraction entre deux masses croît avec chacune des masses et diminue avec le carré de la distance entre leurs centres. La dépendance en $1/r^2$ explique une grande partie de la mécanique orbitale classique.

Chaque nombre utilisé plus bas est explicitement classé comme donnée, convention, hypothèse pédagogique ou résultat calculé.

Schéma pédagogique 3 : 3 — D'où
vient la relation ? — Gravitation et loi
en $1/r^2$: pourquoi la distance compte
au carré

3 — D'où vient la relation ?

4 — A — Distance doublée

D'où viennent les nombres ? Force F à distance r .
Que devient-elle à $2r$?

Calcul pas à pas : $F_2/F_1 = r^2/(2r)^2 = 1/4$.

Doubler la distance divise la force par quatre.

Schéma pédagogique 4 : 4 — A —
Distance doublée — Gravitation et loi
en $1/r^2$: pourquoi la distance compte
au carré

4 — A — Distance doublée

5 — B — Distance triplée

D'où viennent les nombres ? Même masses, distance $3r$.

Calcul pas à pas : $F_2/F_1 = 1/9$.

Le carré rend la baisse rapide.

6 — C — Masse doublée

D'où viennent les nombres ? m_2 devient $2m_2$ à distance identique.

Calcul pas à pas : $F_2/F_1 = 2$.

La masse est linéaire dans la formule, contrairement à la distance.

7 — Sensibilité, calcul inverse et contrôle du résultat

Changez une seule entrée, prévoyez le sens du résultat, calculez, puis contrôlez unités, signe, ordre de grandeur et limites.

Limite essentielle pour Gravitation et loi en $1/r^2$: pourquoi la distance compte au carré : la relation affichée est un modèle d'apprentissage. Un

système réel ajoute géométrie détaillée, propriétés variables, capteurs, incertitudes, transitoires et essais.

Schéma pédagogique 5 : 7 —

Sensibilité, calcul inverse et contrôle du résultat — Gravitation et loi en $1/r^2$: pourquoi la distance compte au carré

7 — Sensibilité, calcul inverse et contrôle du résultat

8 — Pourquoi cela compte en mission

Dans une mission spatiale, pourquoi la gravité diminue-t-elle rapidement quand on s'éloigne ? La compétence utile n'est pas de réciter la formule, mais de savoir quelles données sont nécessaires, lesquelles sont mesurées et à quel moment le modèle devient insuffisant.

10 — Approfondir : du calcul à la compréhension physique

Pourquoi la gravitation décroît avec le carré de la distance

Dans le modèle de Newton, une même influence gravitationnelle se répartit géométriquement quand on s'éloigne. La loi en $1/r^2$ exprime que doubler la distance entre les centres divise la force par quatre, et tripler la distance la divise par neuf. Le lecteur doit retenir cette sensibilité avant même les valeurs de G ou des masses : la distance compte très fortement.

La distance r se mesure entre les centres

Pour deux corps approximativement sphériques, r désigne la distance entre leurs centres de masse, pas l'altitude au-dessus du sol. À la surface de la Terre, r vaut donc environ le rayon terrestre ; à 400 km d'altitude, il faut ajouter ces 400 km au rayon. Confondre altitude et distance au centre produit une erreur systématique dans le calcul.

Pourquoi la masse intervient deux fois

La force augmente avec chacune des deux masses : doubler la masse du premier corps double F , et doubler celle du second la double aussi. Pourtant l'accélération d'un petit objet en chute libre ne dépend pas de sa propre masse dans le modèle idéal, car on divise ensuite la force par cette masse avec $F=ma$. C'est une connexion importante entre deux équations, pas un paradoxe.

Du calcul de force au calcul d'orbite

Pour une trajectoire spatiale, les ingénieurs utilisent surtout l'accélération gravitationnelle et les équations du mouvement, souvent avec plusieurs corps et des modèles plus précis. La loi de Newton reste néanmoins le socle intuitif : elle explique pourquoi l'influence de la Terre domine près de la Terre et pourquoi celle du Soleil devient centrale lors d'un voyage interplanétaire.

9 — Exercices et corrigés

Défi 1

Force F à distance r . Que devient-elle à $2r$?

Corrigé : $F_2/F_1 = r^2/(2r)^2 = 1/4$.

Défi 2

Même masses, distance $3r$.

Corrigé : $F_2/F_1 = 1/9$.

Défi 3

m_2 devient $2m_2$ à distance identique.

Corrigé : $F_2/F_1 = 2$.

Sources primaires et techniques

- [NASA Basics of Space Flight — Gravity & Mechanics](#)
- [NASA Glenn — Newton's Laws of Motion](#)