

Physique quantique

Il est impossible de connaître avec une précision illimitée la position et la vitesse d'un corps à un instant donné (= principe d'incertitude de Heisenberg).

A toute particule en mouvement on associe une onde (= dualité onde corpuscule).

Théorie de la relativité (restreinte) Einstein 1905

Le déroulement du temps dépend du mouvement du système considéré.

La mécanique classique reste une bonne approximation si $v \ll c$ où v est la vitesse du corps considéré, et c la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

Référentiel : {repère d'espace lié à un solide de référence + repère temporel} = observateur muni d'une horloge

Repère d'espace : $\mathcal{R}(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ O point arbitraire du repère lié à (S_{ref}) . Base cartésienne définie par trois points fixes appartenant à (S_{ref}) .

Repère temporel : {date origine + horloge de référence}

Pour un point M en mouvement par rapport à un référentiel $\mathcal{R}$ de centre O (l'observateur est lié à $\mathcal{R}$) :

vecteur position : $\vec{OM} = \vec{r}$ vecteur vitesse : $\vec{v}(M/\mathcal{R}) = \frac{d\vec{OM}}{dt} \Big|_{\mathcal{R}}$

vecteur accélération : $\vec{a}(M/\mathcal{R}) = \frac{d\vec{v}}{dt} \Big|_{\mathcal{R}} = \frac{d^2\vec{OM}}{dt^2} \Big|_{\mathcal{R}}$ Déplacement élémentaire $d\vec{l} = \vec{MM'}$ où M(t) et M'(t+dt).

Coordonnées cartésiennes :

Base orthonormée directe $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$

Repère orthonormé $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ lié au référentiel : $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ sont indépendants de M, donc du temps.

M a pour coordonnées $(x, y, z) \in]-\infty; +\infty[$

Vecteur position : $\vec{OM} = \vec{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z$

Vitesse : $\vec{v} = \dot{x}\vec{e}_x + \dot{y}\vec{e}_y + \dot{z}\vec{e}_z$ Accélération : $\vec{a} = \ddot{x}\vec{e}_x + \ddot{y}\vec{e}_y + \ddot{z}\vec{e}_z$

Déplacement élémentaire $d\vec{l} = \vec{MM'} = dx\vec{e}_x + dy\vec{e}_y + dz\vec{e}_z$

Coordonnées cylindriques : (ou coordonnées polaires dans le plan notés (r, θ))

Base orthonormée directe instantanée $(\vec{e}_\rho, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$. M (ρ, θ, z) $\rho \in [0; +\infty[$; $\theta \in [0; 2\pi[$; $z \in]-\infty; +\infty[$

rayon polaire $\rho = OH$ $\vec{OH} = \rho\vec{e}_\rho$ angle polaire $\theta = (\vec{e}_x, \vec{e}_\rho)$ cote $z = \vec{OI} = \vec{HM}$ $\vec{HM} = z\vec{e}_z$

$\vec{e}_\rho$ vecteur unitaire radial, $\vec{e}_\theta$ vecteur unitaire orthoradial.

$x = \rho \cos\theta$, $y = \rho \sin\theta$.

Vecteur position : $\vec{OM} = \vec{OH} + \vec{HM} = \rho\vec{e}_\rho + z\vec{e}_z$

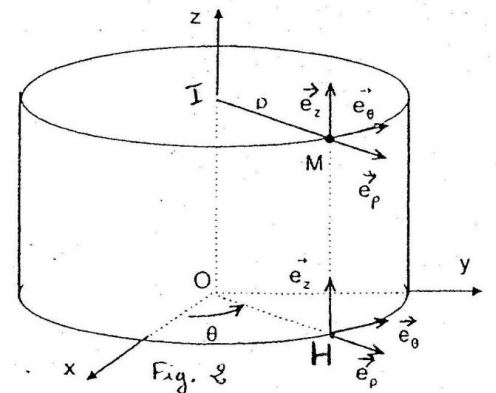
Vecteur vitesse : $\vec{v} = \dot{\rho}\vec{e}_\rho + \rho\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\vec{e}_z$ (à démontrer)

car $\frac{d\vec{e}_\rho}{dt} = \dot{\theta}\vec{e}_\theta$ $\frac{d\vec{e}_\theta}{dt} = -\dot{\theta}\vec{e}_\rho$ (à démontrer)

Vecteur accélération : $\vec{a} = (\ddot{\rho} - \rho\dot{\theta}^2)\vec{e}_\rho + (\rho\ddot{\theta} + 2\dot{\rho}\dot{\theta})\vec{e}_\theta + \ddot{z}\vec{e}_z$ (à démontrer)

Déplacement élémentaire $d\vec{l} = \vec{dr} = d\rho\vec{e}_\rho + \rho d\theta\vec{e}_\theta + dz\vec{e}_z$

(à démontrer)



Coordonnées sphériques :

base orthonormée directe instantanée $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\varphi)$: $M(r, \theta, \varphi)$:

H projection orthogonale de M sur (Oxy).

$r = OM$.

colatitude $\theta = (\vec{e}_z, \vec{OM})$

longitude $\varphi = (\vec{e}_x, \vec{OH})$

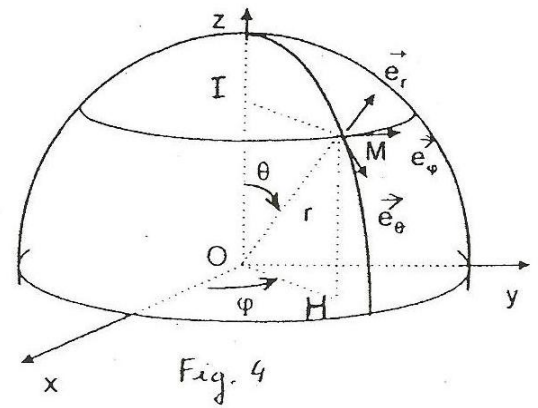
Vecteur position : $\vec{OM} = \vec{r} = r\vec{e}_r$

Relations avec les coordonnées cartésiennes : $\overline{OH} = \overline{IM} = r \sin \theta$

$x = \overline{OH} \cos \varphi = r \sin \theta \cos \varphi$ $y = \overline{OH} \sin \varphi = r \sin \theta \sin \varphi$

$z = r \cos \theta$

$d\vec{l} = d\vec{r} = dr\vec{e}_r + r d\theta \vec{e}_\theta + r \sin \theta d\varphi \vec{e}_\varphi$ (à démontrer)



Un mouvement est uniforme si la norme du vecteur vitesse est constante.

Un mouvement est uniformément varié si $\frac{dv}{dt}$ est constante.

Mouvement rectiligne : La trajectoire est une droite (Ox).

Mouvement circulaire : La trajectoire est un cercle de rayon R, centré sur I, d'axe (Oz). coordonnées cylindriques :

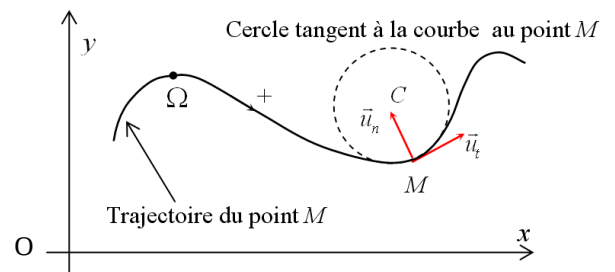
$\vec{OM} = \vec{OH} + \vec{HM} = R\vec{e}_\rho + z\vec{e}_z$ $\vec{v} = R\dot{\theta}\vec{e}_\theta = R\omega\vec{e}_\theta = v\vec{e}_\theta$ $\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{e}_\theta - \frac{v^2}{R}\vec{e}_\rho$ (à démontrer et à savoir)

Mouvement circulaire uniforme : $v = \text{Cte}$ $\vec{a} = -R\omega^2\vec{e}_\rho = -\frac{v^2}{R}\vec{e}_\rho$

Repère de Frenet : repère mobile (M, $\vec{u}_t, \vec{u}_n$)

Vitesse : $\vec{v} = v\vec{u}_t$ Accélération : $\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{u}_t + \frac{v^2}{R}\vec{u}_n$

(obtenu à partir des coordonnées cylindriques)



Application : tir de projectile sans frottements

Cinématique du solide

Translation Un solide est en translation par rapport à un référentiel $\mathcal{R}$ lorsque les vecteurs de base cartésiens liés au solide restent invariables par rapport à $\mathcal{R}$ au cours du temps.

Translation rectiligne : O_1 a une trajectoire rectiligne par rapport à $\mathcal{R}$.

Translation circulaire : O_1 a une trajectoire circulaire par rapport à $\mathcal{R}$.

Tous les points d'un solide en translation ont le même mouvement par rapport à $\mathcal{R}$. Le mouvement du solide est complètement décrit par le mouvement d'un de ses points, par exemple le centre de gravité G.

$$\vec{v}(M/\mathcal{R}) = \vec{v}(O_1/\mathcal{R})$$

Rotation autour d'un axe fixe dans Δ

Un solide est en rotation autour d'un axe fixe Δ si tous ses points sont en mouvement circulaire autour de Δ .

$$\vec{v}(M/\mathcal{R}) = R\omega\vec{e}_\theta = v\vec{e}_\theta$$