

Physique du Billard : Mécanique du Solide

Introduction

Une boule de billard est un **Solide Rigide**. Elle possède une masse m mais aussi une répartition de cette masse autour de son centre, appelée **Moment d'Inertie I** .

Pour une sphère pleine de rayon R :

$$I = \frac{2}{5}mR^2$$

1. L'Impact (Le coup de queue)

C'est l'instant initial ($t = 0$). La queue transmet une quantité de mouvement instantanée appelée **Impulsion (J)**.

La manière dont la boule va réagir dépend de deux paramètres :

1. La force de la frappe (Magnitude de l'impulsion J).
2. La hauteur de la frappe par rapport au centre (h).

A. Vitesse Linéaire Initiale (v_0) La queue pousse la boule vers l'avant. La vitesse résultante dépend uniquement de l'impulsion et de la masse. Peu importe où l'on tape, la boule partira à la même vitesse linéaire.

$$v_0 = \frac{J}{m}$$

B. Vitesse Angulaire Initiale (ω_0) Si on tape décalé du centre ($h < 0$), on crée un **bras de levier**. Cela génère un couple instantané qui met la boule en rotation.

$$\omega_0 = \frac{h \cdot J}{I}$$

En remplaçant I par sa formule ($\frac{2}{5}mR^2$), on obtient la formule pratique :

$$\omega_0 = \frac{5hJ}{2mR^2} = \frac{5hv_0}{2R^2}$$

Exemple. Interprétation du paramètre h :

- **Centre ($h = 0$)** : $\omega_0 = 0$. La boule part en glissant sans tourner (le « Carreau » parfait).
- **Haut ($h > 0$)** : $\omega_0 > 0$. Rotation avant (« Coulé »).
- **Bas ($h < 0$)** : $\omega_0 < 0$. Rotation arrière (« Rétro »).

2. Le Point de Contact (P)

Une fois la boule lancée, tout dépend de ce qui se passe au point de contact avec le tapis.

La vitesse de ce point (v_p) par rapport au sol est la combinaison de la translation et de la rotation :

$$v_p = v - R\omega$$

C'est cette valeur qui détermine s'il y a friction ou non.

Phase 3 : Friction et Glissement

Tant que $v_p < 0$, la boule glisse. Le tapis exerce une force de friction opposée au mouvement du point de contact.

Force de Friction (f_k) :

$$f_k = \mu_k mg$$

(où μ_k est le coefficient de friction dynamique du tapis).

Cette force a deux effets simultanés qui travaillent à rétablir l'équilibre :

1. **Freinage Linéaire** : Elle réduit la vitesse v .

$$a = -\frac{f_k}{m} = -\mu_k g$$

2. **Accélération Angulaire** : Elle modifie la rotation ω (car la force au sol crée un couple).

$$\alpha = \frac{R f_k}{I} = \frac{5\mu_k g}{2R}$$

Conséquence : v change et ω change jusqu'à ce que $v = R\omega$.

Phase 4 : Le Roulement (Rolling)

Quand la condition $v = R\omega$ est atteinte, le point de contact devient immobile par rapport au sol ($v_p = 0$).

Le glissement s'arrête. La friction dynamique μ_k disparaît. La boule continue de rouler avec une très faible décélération due à la résistance au roulement (μ_r).