ビー玉加速器のビー玉の角加速度

武田悠靖

要旨

2 枚の板に挟まれたビー玉が落下する時のビー玉の角速度は接触角条件により変化すると考え、ビー玉の回転軸から接地点までの距離から回転の速さを理論的に求められると仮定した。本研究の目的は、一定距離を進んだビー玉の角速度を最大化するための最適な値を実験的に予想し、理論計算と合わせて考えた。結果、角加速度が最大の値を取る条件があることがわかった。実験結果から角速度が最も大きい値出すときの 1 秒あたりの回転数の最大値は 26[回転数/秒]あたりに落ち着くこともわかった。

キーワード：

ビー玉:均質な球体

接触角:ビー玉の中心を通る地面に対して平行な平面と接触点と中心を通る線分でなす角

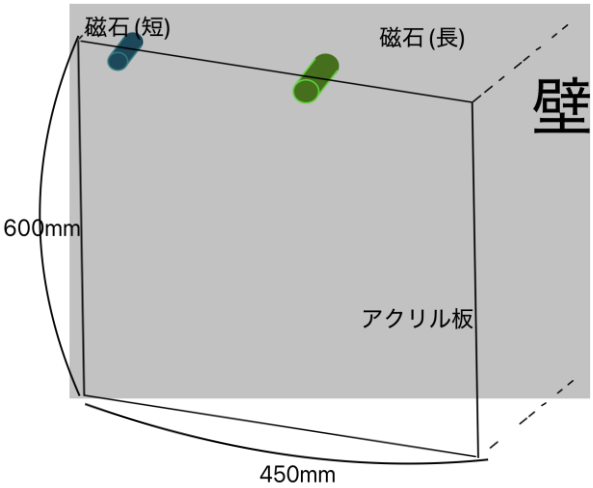
角加速度:回転運動における回転の速さの時間変化率

Ⅰ. はじめに

本研究と同様の先行研究は見つからなかったが、球体を扱う瀬戸内秀規による研究で球体の回転に影響を与える要素は球体の中心から作用点までの距離と、その力の大きさによるものだった。本研究はビー玉加速器のビー玉が一定距離進むまでの回転加速度を大きくすることを目的として行った。

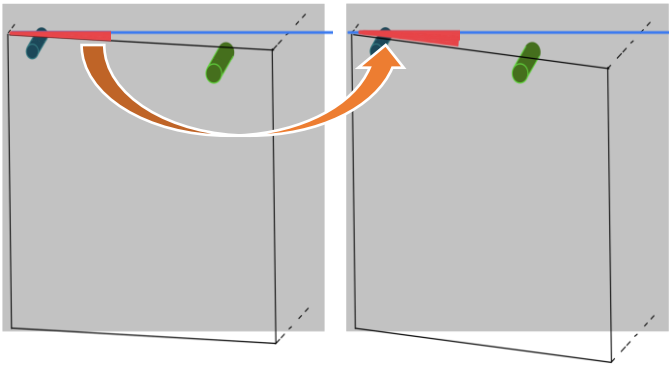
Ⅱ. 手法

本研究に用いた道具はアクリル板(450mm × 600mm,厚さ 5mm(ビー玉の動きで変形しない厚さ))、ビー玉、磁石(角度をつける用)、凧糸(50cm)

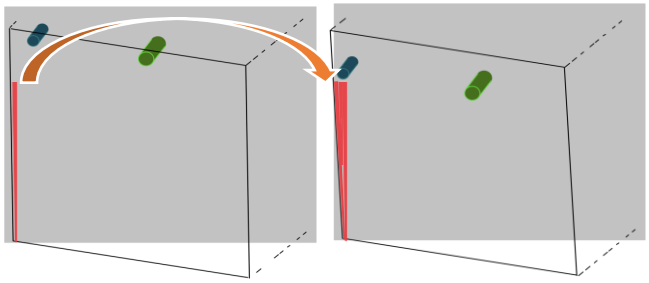


実験の手法はアクリル板を図のように配置し、長さの異なる 2 組の磁石(44mm と 23mm、47mm と 17mm)で角度をつけた。タコ糸を用いて始点から 50cm の円の一部を書き、ビー玉が 50cm 進むまでをハイスピードカメラ(240 コマ/秒)で録画した。また、実験を練習した段階でビー玉は直線的に進むことが確認された為、円の一部に達した時点で 50cm 進んだとみなせることとする。

はじめの磁石の位置は短いものは左上の角、長い方は右上の角から 20cm 左のところから実験する。右側の長い磁石を 5cm ずつ右にずらしていって角度を大きくしていって比較する。

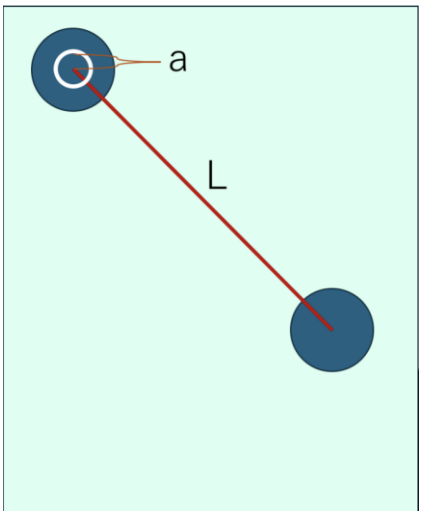


次は短い方の磁石を真下に 1 度だけ 5cm 移動させる。そして右の磁石を 5cm ずつずらして、角度を大きくしていって比較する。

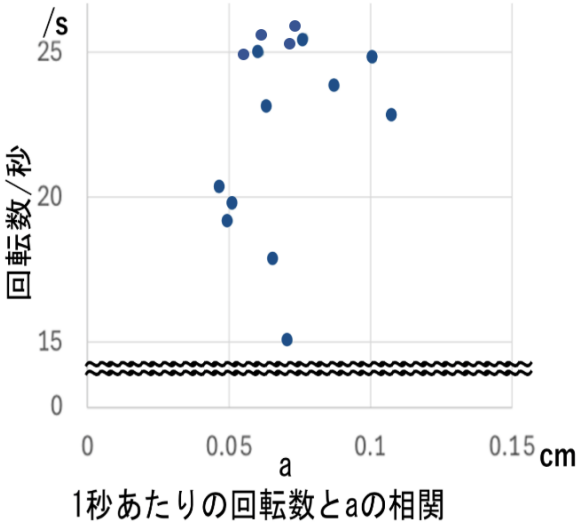


この操作を 2 組の磁石で行った。また、結果を見て最も早くなった磁石の組み合わせと位置は追加で 2 度実験を行い正当性を高めた。

回転数を測定たら、図のように考えて回転数 n と回転軸と接地点の距離a、進んだ距離 L(=50cm)の関係式$L = 2\pi a \times n$ を用いてaを計算した。



III. 結果

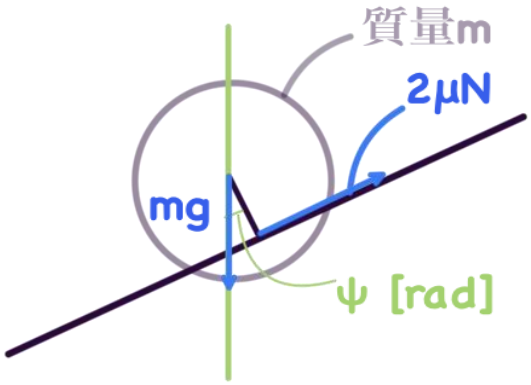


aと回転数/s にはグラフのようになった。

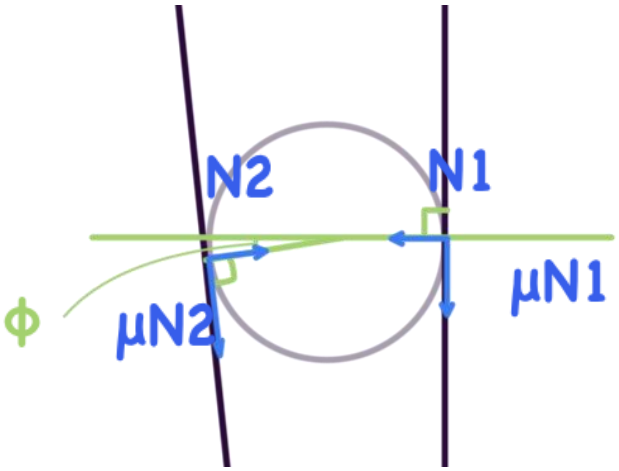
IV. 考察

aの値が 0.6,0.7,0.8 あたりだと回転数が大きくなるとわかった。また、それより大きいとなだらかに回転数が減少し、それより少ないと急激に回転数が落ちたとわかった。また、理論計算を考えると、図のようにそれぞれ横、正面、真上から装置を見ると、

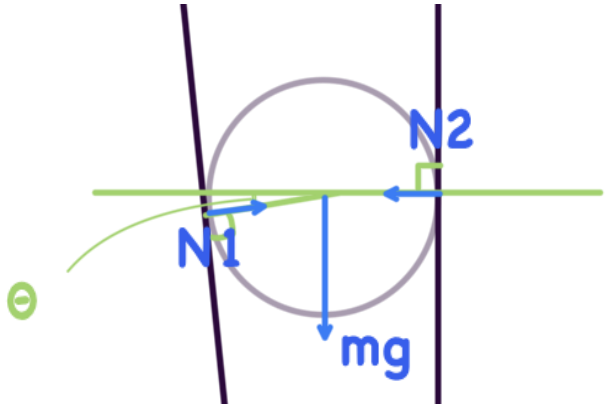
横



真上



正面



$$N_1 = N_2 = N$$

として

鉛直方向の運動方程式は

$$m\beta_{え} = mg - 2Nsin\theta cos\psi - 2\mu Ncos\varphi sin\psi = F_{え}$$

水平方向の運動方程式は

$$m\beta_{す} = 2Ncos\theta sin\varphi - 2\mu Ncos\psi cos\varphi = F_{す}$$

よって鉛直方向においては N が大きい方が下向きの加速度が小さくなる為、50cm 進むまでの加速の時間を大きくすることができる為 1 秒あたりの回転数が大きくなると思われる。水平方向に関してはさθ、φ、ψによって変わる

回転の運動方程式は

$$トルク = 慣性モーメント \times 角加速度 \quad ・・・①$$

と表せることから、

ビー玉の半径を R とし、

$$慣性モーメント I = \frac{2}{5}mR^2$$

$$角加速度 k$$

として、①より

$$2\mu Na = Ik$$

$$k = \frac{5\mu}{mR^2} \times Na$$

また、ビー玉が滑らない条件で、

$$mgsin\psi \leq 2\mu Ncos\varphi$$

$$N = \frac{mgsin\psi}{2\mu cos\varphi}$$

が N の最大値

転がり条件というものを導入すると、

$$回転軸から接地点までの距離 \times 角加速度$$

$$= 全体の加速度$$

全体の加速度$\beta_{全}^2 = \beta_{え}^2 + \beta_{す}^2$として

$$ak = \beta_{全}$$

$$a = \frac{\beta_{全}}{k}$$

よって、aと N を k の式に代入して

$$k = \sqrt{\frac{5g}{2R^2} \bullet \frac{\beta_{全} sin\psi}{cos\varphi}}$$

V. 結論

以上のことから、角加速度には最大の値を取る条件があることがわかった。また、$\beta_{全}$がaの関数なのでそれはaに依存するとわかった。$\beta_{全}$が$\beta_{え}$と$\beta_{す}$の三平方で、θ、φ、ψ、aも相互に関係があることからこの現象はとても複雑で k の値を具体的に出すことは難しいが、実験結果から角速度が最も大

きい$k_{最大}$を出すのはaの値が 0.6 から 0.8.あたりで

1 秒あたりの回転数の最大値は 26[回/秒]あたりに落ち着くと予想される。

謝辞

堀先生を中心に物理科の先生方いろいろ準備手伝ってくれてありがとうございました。庵原先生もアクリル板等実験材料で配慮してくれたことに感謝します。

【提出に関する連絡】
提出は word データで行うこと。
★　初稿提出：2026 年 1 月 8 日（木）23:59 まで（別に担当教員から指示があればそれに従う）
★　最終稿提出：2026 年 2 月 21 日（土）
　→この論文で評価を行います。
★　修正稿提出：2026 年 3 月 24 日（火）（任意）
　→この時点での論文を論文集として残します。