

身の回りの物理を体験しよう

車輪と回転台による角運動量の体感

〔角運動量〕

車輪などの回転の様子は、ベクトル量である角運動量で表され、「重くて、速く回転している車輪ほど大きな角運動量を持ち、回転の速さや方向を変えるのを嫌がる。」という性質がある。

〔体感その１ ―車輪の意思を感じる―〕

床に立ち、回転していない車輪の軸を両手で持ち、車輪を傾けてみる。別におかしな感覚は無い。次に車輪をなるべく速く回転させてもらい、同様に傾けてみる。今度は車輪がそれ自身で意思を持つかの如く、こちらの思う様には傾かない。

なぜなら大きな角運動量を持つ車輪が、回転の方向を変えられるのを嫌がっているから。

〔体感その２ ―角運動量保存―〕

滑らかな回転台に足を踏ん張って乗り、やはり車輪をなるべく速く回転させてもらい、同様に車輪を傾けてみる。傾けるにしたいがい、今度は自分が回転台と共に回転しだす。回転の方向を変えられるのを嫌がる車輪が、「なにくそ、傾けるならまわしてやる！」と言っている様に感じる。

この現象は、角運動量保存則で一番簡単に説明できる。最初は回転する車輪を、軸を横にして両手で持っているので、角運動量に体の軸方向（上下方向＝ z 軸）の成分は無い。車輪を傾けると、車輪は z 軸方向の角運動量成分を持つ事になる。今、 z 軸方向に自由に回転できる回転台に乗っている為、 z 軸方向の角運動量は保存する。つまり車輪、回転台、体全体として z 軸方向の角運動量成分はゼロになる事が要求される。従って、体は、傾いた車輪が持つことになった z 軸方向の角運動量成分を打ち消す様に回転しだす。



回転台と重りを使う角運動量保存則の体験

〔角運動量の定義〕

角運動量 L は、ある軸の周りの回転の勢いを表し、中心軸からの距離 r と回転している物体の運動量 P の（ベクトル）積で定義される。また運動量は、物体の質量 m と速度 v の積で表される。

〔角運動量保存則〕

同一質量のものが、a) 回転の軸から遠くをゆっくり回る場合と、b) 近くを早く回る場合で、角運動量 L の大きさを同じに保つ事ができる。よく回る円盤状の回転台に乗り、重りを持った手を広げたり縮めたりして、重りを遠ざけたり、近づけたりすると回転が速くなったり、ユックリになる様子を体験できる。つまり「角運動量の保存」が実感できる。

フィギュアースケートの選手は手を大きく広げて回転に入り、手を縮めて速く回転し、最後に手を広げて回転を落として止まりポーズを取る。そんな様子を思い浮かべてみよう。彼らもうまく物理法則を使っていることがわかる。

- ・両手に持つのは、それぞれ 1kg 程度の重りが効果的。水を入れたペットボトルの方が、安全ではあるが、迫力に欠ける。
- ・回転台はよく回る。体験者が乗るときには、転ばぬように要注意。
- ・重りを持つ手を広げた状態から、体験者をゆっくり回す。
- ・手を縮めると 2 倍程度の速さで回転する。あまり速く回さないように。
- ・長く続けると、目が回る。バレエを習った学生さんは、上手。

〔装置〕

ベアリングが入り、よく回る回転台。

重り(ダンベル、又は水を入れた 1 リットル程度のペットボトル)



a) 回転の軸から遠くをゆっくり回る場合



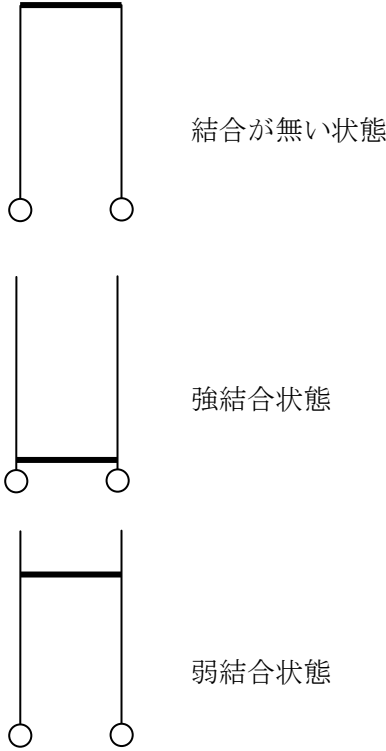
b) 近くを早く回る場合

連成振り子の運動

[連成振り子]

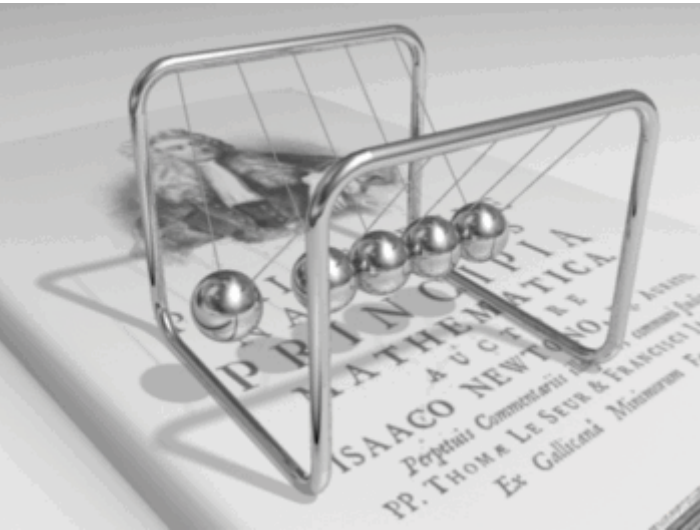
二つ（以上）の振り子を“弱く”つないだものを連成振り子（または連結振り子）と呼ぶ。
下の写真のような連成振り子で、左右二つの振り子をつなぐバーの位置を振り子のヒモの上端に置いた場合、これら二つの振り子は独立に振動する。結合が無い状態である。バーの位置を錘の所まで下げると、二つの振り子は完全に結合して振動する。つまり「強結合状態」である。バーの位置をヒモの中間にもってくると、いわゆる「弱結合状態」ができる。

この連成振り子は、一方だけが振れている状態は不安定状態で、振動が互いに伝わる奇妙な、楽しい動きをみせてくれる。「運動エネルギー保存則」を目の前で実感できる装置としても面白い。物理では、「振動子の弱結合問題」と呼ばれ、力学、電磁気学、固体物理、原子核物理、またニュートリノ振動のモデルにも使われている。



ニュートンのゆりかご

運動量保存の法則（Conservation of momentum）とは、ある系に外部から力が加わらないかぎり、その系の運動量の総和は不変であるという物理法則。運動量保存則ともいう。デカルトによって発見された。



二個の質点が衝突した場合の運動量保存則
質量が m_1, m_2 の二つの質点が、速度 v_1, v_2 で衝突し、衝突後の速度がそれぞれ v'_1, v'_2 となった場合。

$$m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} = m_1\mathbf{v'_1} + m_2\mathbf{v'_2}$$

N 質点系の運動量保存則
一般的に N 個の質点があり、i 番目の質点の運動量が p_i としたときの運動量保存則

$$\sum_{i=1}^N p_i = const.$$

あるいは、

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N p_i = 0$$

はじめの式は、外力のない場合のニュートンの運動方程式を時間で積分することで得られる。外力のある場合は右边に力積を導入することで運動方程式とまったく同値となる。二つ目の式ははじめの式の微分で、運動方程式そのものである。

（出典：フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』）