

ジェットコースターの物理

香田 沙羅 仲村 阿沙子

1 研究の目的

力学的エネルギーの保存の法則は本当に成り立つのかを調べ成り立たない場合その原因を解明する。

2 研究の動機

物理の授業で力学的エネルギーの法則を学び、自分たちの手で本当に成り立つのか調べてみたかったから。

3 使用道具

おもり, カッター, 定規, セロハンテープ, 速度測定器, タコ糸, 鉄球(14g), 電動ドライバー, ビー玉(6g), ボンド, マスキングテープ, 木板, 木ネジ, 油性ペン, 両面テープ, レール

4 実験内容

- [1] ジェットコースターモデルを作成
- [2] モデルの円を一周する為に必要な出発点の高さ(h)を測定
- [3] 力学的エネルギーの保存の法則から求めた理論値(H)と比較する
- [4] 成り立たなかった場合はその原因を調べる

5 円を一回転する為に必要な出発点の高さ(H)の求め方

半径rの宙返りジェットコースターがある。

一回転するためにHが満たすべき条件は何か。摩擦や空気抵抗は無視するものとする。

力学的エネルギーの保存の法則を用いて、円の最高点での速さを求めると

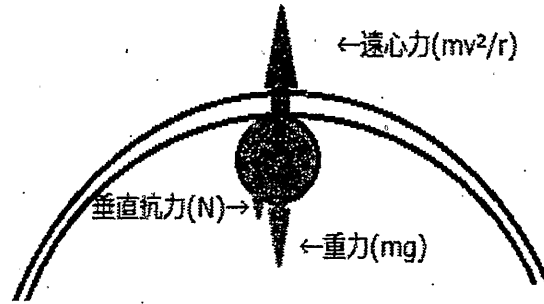
$$0 + mgH = \frac{1}{2}mv^2 + mg \times 2r \text{---①} \quad V = \sqrt{2g(H - 2r)}$$

ビー玉がレール上を円運動するとき

受ける力は重力(mg)、遠心力(mv^2/r)、垂直抗力(N)の3つであり、力はつりあっている

このときの力のつりあいの式は

$$mg + N - mv^2/r = 0 \text{---②}$$



ビー玉がコースターから離れないための条件は $N \geq 0$ が成り立つことである。

$$\therefore \text{②より } N = mv^2/r - mg \geq 0$$

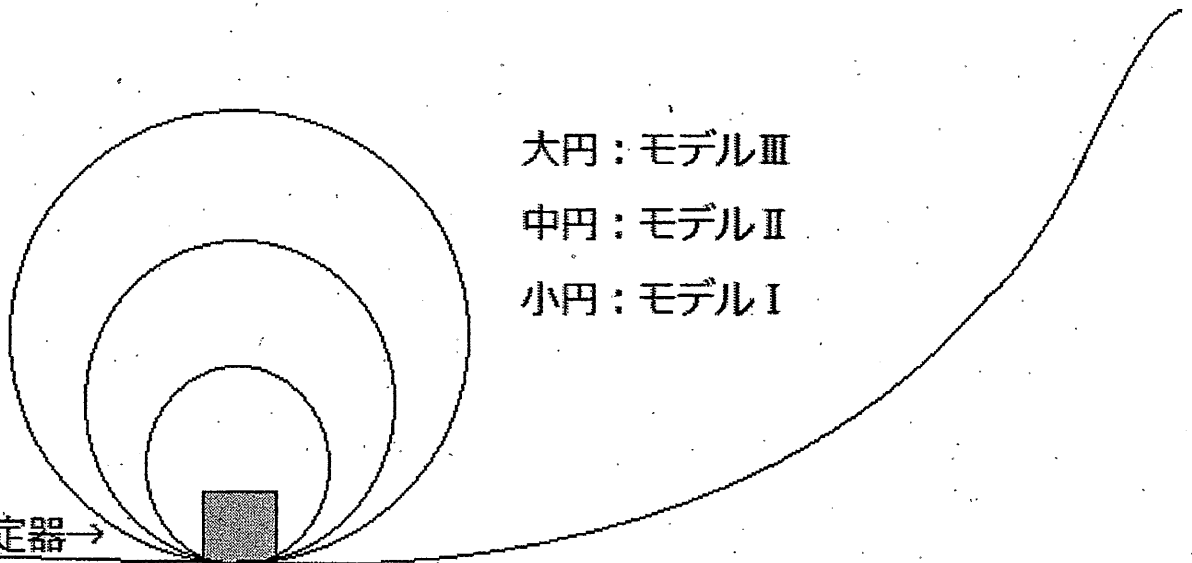
さらに、①より V を代入すると

$$m/r(2g(H - 2r)) - mg \geq 0$$

$$H \geq 5/2r$$

参考資料: 教科書 高等学校 物理Ⅱ改訂版 (啓林館)

6 実験の手順



- ①レールの傾きをそろえてモデルを設置する。
- ②モデルⅠⅡⅢから其々ビー玉を転がし、 h を求めて H と比較する。
- ③ h から転がしたビー玉の速度を測定する。
(転がって初めて最下点を通過した速度を V_1
円運動をして再び最下点を通過する際の速度 V_2 とする)
- ④鉄球でも実験を行う。
- ⑤力学的エネルギーの保存の法則から求めた速さの理論値 (V) と③との速度とを比較する。

7 モデルの紹介[m]

I 円周:0.5 半径:0.794 H:0.199 h:0.301

II 円周:1.0 半径:0.159 H:0.394 h:0.623

III 円周:1.5 半径:0.239 H:0.598 h:1.030

(H:回り始める最小の高さの理論値 h:回り始める最小の高さの実測値)

Hとhが等しくないということは、力学的エネルギー保存の法則が成り立たなかったということである。その原因を考えてみた。

8 実験(ビー玉 ver.)

(1) 速度測定器の精度

hからの自由落下の理論値と実測値の比較[m/s]

	理論値(V)	実測値	差の割合
I	2.43	2.38	2.0%
II	3.49	2.38	3.2%
III	4.49	4.40	2.0%

結果:差の割合は2.0~3.4%で、これは測定器の誤差範囲である。

したがって実験方法は適切であると判断した。

(2) レールが曲線の場合の速度(Vと V_1 の比較)

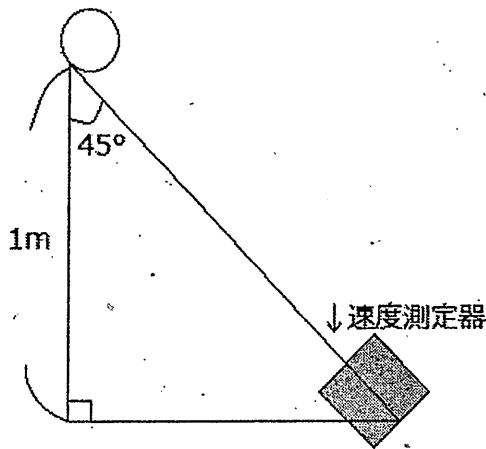
	理論値(V)	実測値(V_1)	差の割合(α)
I	2.43	1.83	24.7%
II	3.49	2.47	29.2%
III	4.49	3.30	26.5%

結果:速度の差の割合 α は平均して26.8%となった。

最初私たちは仮説として、「摩擦力によって速度が失われている」と考えていたが、摩擦を減らすためにレールとビー玉を用いたので26.8%の差の割合は、「全て摩擦と考えるには大きすぎる為、他の何らかの力も関与しているのではないか」と考えた。

(3) レールが直線の場合の速度(高さ1m)

	理論値	実測値	差の割合
I	4.4	3.92	10.9%



結果: 差の割合は 10.9% となりレールが曲線の場合に比べて速度が減っていない。
 よって 10.9% は直線、曲線双方で失われる摩擦と、球体が転がる際の回転エネルギーなどの影響であると考え、残りの 15.5% は、曲線特有の遠心力などの力が関わっていると考えた。
 加えて、私たちの製作したジェットコースターは支柱などを立てておらず、遠心力に加え、レールの横揺れや、たわみによっても余計にエネルギーが失われたと考えた。

(4) 円運動前後の速度の変化

	円運動前 (V_1)	円運動後 (V_2)	差の割合 (β)
I	1.83	1.56	14.8%
II	2.47	2.25	8.9%
III	3.30	2.84	13.9%

結果: V_1 と V_2 の差の割合 β は 8.9~14.8% とかなり幅がある。
 この原因として、モデル II は綺麗な円で安定していたが、コースター I は無理矢理小さな円を作っていたため少々形が歪で、コースター III は不安定だったので上から押さえて円を安定させて測定したので、そこに違いがあるのではないかと考えているが、正確な原因は分かっていないので、今後の課題としたい。

9 実験(鉄球の場合)

ビー玉と鉄球を h から転がした速度の比較

<予想>

力学的エネルギーの保存の法則より

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad v = \sqrt{2gh}$$

よって、速度に m の値は関係がないので、値に差は見られないだろう。

<結果>

	V_1			V_2		
	ビー玉	鉄球	差の割合	ビー玉	鉄球	差の割合
III	3.3	3.3	0%	2.84	2.86	0.7%

結果: 予想通り転がすものの重さによる違いはなかった。

8 まとめ

今回の研究により、力学的エネルギー保存の法則を適用するには、いくつかの条件があることが分かった。

<条件>

- ・レールとビー玉の摩擦をなくす
- ・レールには支柱を立てて安定させ、無駄なエネルギーの消費を防ぐ

しかし、回転エネルギーや、遠心力や、今回考えていないが空気抵抗なども関与してくるので、完全に理論値と一致させるのは上記の条件だけでは不可能ではないかと考えている。今後は残った課題の解明と、上記の条件を満たした、より理論値に近い値を出すジェットコースターを製作してみたい。

9 感想

今回の課題研究を通して、自分たちの手で実験を行うことの大変さや内容を構成する難しさを改めて感じました。先が見えず不安になることも多々ありましたが、ここまでやってきたことで少しだけ成長したのではないかと思います。本当に貴重な体験をさせてもらったと感謝しています。今まで私たちをそっと支えてくださった小玉先生、いつも私たちをサポートしてくださった國盛先生、やさしく見守ってくださった後藤先生、先生方にはご迷惑をおかけしましたが、最後までお付き合いいただきありがとうございました。

香田

当初は、自分たちの実験方法は正しいのか？意味のある実験なのか？と考えて足踏みを踏んでいることが多かったのですが、終盤へ行くにつれて、考えているだけでは何も進歩しないこと、無駄な実験など1つもないこと知ることができました。トータルすると失敗が多かったように思いますが、その失敗1つ1つから数々の新しいことを学ぶことができました。自分自身、とても得るものが多かった課題研究です。ご協力をいただいた先生方にとっても感謝しています、本当にありがとうございました。

仲村