

6. ガウス加速器の研究Ⅲ

静岡県立掛川西高等学校自然科学部

3 年 大庭伸一 他 5 名

1 動機・目的

本研究は 2012 年夏にガウス加速器という磁力を利用した加速器を使って永久機関をつくることができないかと考えたことに始まる。しかし、実験を進めていくうちに永久機関を作り出すことは理論的にできないと判断した。

実験の途中で、鉄球を 2 つ以上連ねて磁石に衝突させると、衝突球の何個が弾き返される現象を発見した。面白い現象であったため、2012 年秋から 2013 年春にかけてなぜこのような現象が起こるのかを解明しようとした。

2 永久機関への挑戦

ガウス加速器は、強力なネオジム磁石につけた鉄球に反対方向から鉄球を衝突させると磁石につけた鉄球が勢いよく射出される現象である。この時、射出球は衝突球より速度が大きい。このため、加速器と呼ばれているものである。

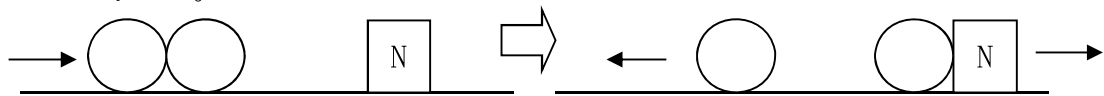
弓なりになっているレールの中央にネオジム磁石を置き、射出側となる方に鉄球を設置し、反対側から鉄球を転がす。衝突側の鉄球が磁石に衝突し、射出側の鉄球が加速され射出されると鉄球が斜面を登る。斜面を登った鉄球は速度を失って止まり、逆方向に斜面を転がって磁石に衝突する。このときの磁石には反対側に前に衝突球が結合しているので、この鉄球を打ち出す。これが繰り返されることで、永久機関ができると予測した。

射出側の鉄球数を変化させ、鉄球が射出される条件を探る。

衝突球数	1					
射出側の鉄球数	1	2	3	4	5	
射出が起こるか	×	○	○	○	○	
射出球数	0	1	1	1	1	
衝突球数	2					
射出側の鉄球数	0	1	2	3	4	5
射出が起こるか	○	×	○	○	○	○
射出鉄球数	1	0	1	1	1	2
射出が起こる方向	逆方向	—	順方向	順方向	順方向	順方向

[表 1] 衝突球 1 個の場合と 2 個の場合

[表 1]から射出される条件として、〈衝突球数 < 射出側につけた鉄球数〉であることがわかる。この条件を最初の考えた永久機関予想に当てはめると、1 回目の衝突時に射出された鉄球が戻って磁石と鉄球に衝突した時、反対側の鉄球数が射出条件を満たさなくなること示している。よって最初に予想した永久機関が成立しないことがわかる。このため永久機関はあきらめざるを得なかった。この実験を進める中で見られた[表 1]の逆方向とある鉄球が逆向きに射出される現象がまるで弾き合うように見え、衝突時より激しく反発するように思われた。全く予想外の現象で不思議に思えたため、この現象について探ってみることを考えた。

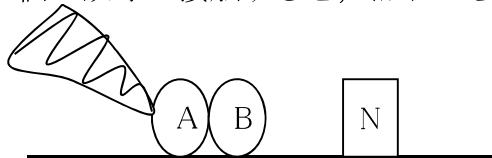


[図 1] 逆向きに弾き合う現象

3 反発するガウス加速器の運動解析

鉄球の速度を計測するために 1 コマ 1/1, 200 秒を撮影できるカメラを使い計測した。同時に計測値が正しいことを確かめるため、衝突時に運動量保存の法則が成立しているかどうか、確認することにした。

レール上にネオジム磁石を固定せずに置く。鉄球 2 個を密着させてネオジム磁石から離して並べて置く。この時、2 個の鉄球は引き合って接触し静止している。これをこよりを使い押すと途中から磁力により加速され磁石に衝突する。2 個の鉄球が接触すると、磁石から離れた側の 1 個が激しく跳ね返される。



[図 2] 実験の概略図

2 つの鉄球及び磁石の質量

A…7.122g, B…7.122g

ネオジム磁石 (N) …7.125g

(円盤型磁石を 3 つ重ねたもの)

結果を [表 2] のように集計した。

動画回数

時刻		1 回目	…	10 回目	平均	速度
-40/4800	一コマ間に動いた距離	0.03	…	0.03	0.03	36
-36/4800		0.03	…	0.01	0.02	24
-32/4800		0.03	…	0.02	0.025	30
-28/4800		0.02	…	0.06	0.04	48
-24/4800		0.06	…	0.03	0.045	54
-20/4800		0.04	…	0.05	0.045	54
-16/4800		0.08	…	0.05	0.065	78
-12/4800		0.08	…	0.06	0.07	84

-8/4800		0.08	...	0.11	0.095	114
-4/4800		0.07	...	0.13	0.10	120
-1/4800		0.08	...	0.04	0.06	144

〔表 2〕 衝突前後 4 コマを使ったグラフ

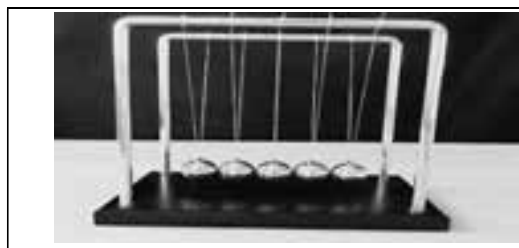
〔表 2〕 から横軸を期待される時刻，横軸を速度としてグラフを描き，エクセルの中で様々な関数を使用して近似した。しかし，どれも十分な近似はできなかった。このため，最も近いと思われた指数関数で近似したものを使うことにした。グラフから得られた関数に $t=0$ を代入し，それぞれの速度を求めると次のようになった。

衝突直前の磁石の速度 $V_1=209.3\text{cm/s}$ ，衝突直前の鉄球の速度 $V_2=293.6\text{cm/s}$ ，衝突直後の磁石の速度 $V_1'=214.9\text{cm/s}$ ，衝突直後の鉄球の速度 $V_2'=203.2\text{cm/s}$ であった。

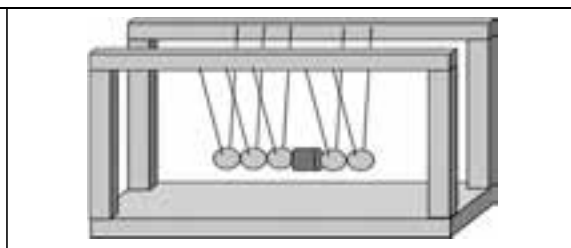
ここで，得られた速度から衝突前後の運動量を計算すると，衝突前の運動量 $\text{和}=2.69 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{cm/s}$ ，衝突後の運動量 $\text{和}=1.61 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{cm/s}$ であった。また，運動量 和 の差は $1.08 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{cm/s}$ であった。

まず速度変化を緩めるために，鉄球の大きさを大きくすることを考えた。最初に使用した鉄球は直径 1 cm，質量 7.12 g だったので，この 10 倍以上の質量にすれば加速度は大きく低下するはずである。作りやすさから直径 3 cm を考えた。質量は鉄の質で違うかもしれないが，25 倍程度になるはずである。

次に，鉄球の回転を排除することを考えた。物理の授業で使う衝突実験機は鉄球を 2 点で吊っているため，回転運動を起こすことはない。基本的にこの形をまねることで鉄球の回転を避けられると考えた。



〔図 3〕



〔図 4〕

4 大型 2 本吊り振り子を使ったガウス加速器の解析

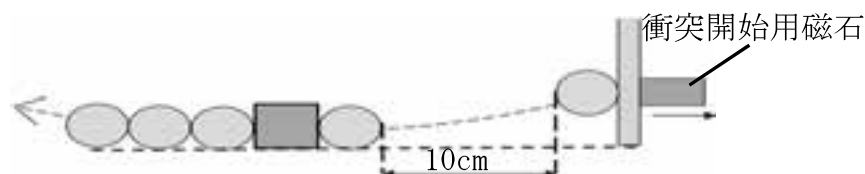
実験 I 重力による位置エネルギーの変化を求める

〈方法〉

衝突球の最初の位置は，〔図 5〕のように鉄球の衝突面から水平に 10 cm 離れた点にした。初速度を一定にするため，板を挟んで裏側から衝突開始用磁石と衝突球をくっ付けておき，衝突開始用磁石を遠ざけることで自然に衝突球を落下させる方法をとった。衝突開始用磁石は，実験に使われている磁石あるいは

鉄球には力が働かないことを確認してこの方法を選んだ。

衝突時には磁石と磁石につけた鉄球も磁力で衝突球に引かれるように動く。磁石と磁石についた鉄球を総合して磁石複合体と考え、衝突球，射出球，衝突前後の磁石複合体の4つの速度を求めた。



〔図5〕衝突球の衝突開始方法

〈実験結果〉

【衝突直前後の速度】

衝突球，射出球の運動の向きを正とした。速度は全て10回の平均である。

<u>衝突直前</u>	平均速度 (cm/s)	最大値 (cm/s)	最小値 (cm/s)
衝突球	72	77	65
磁石複合体	8.1	11	5.0
<u>衝突直後</u>	平均速度 (cm/s)	最大値 (cm/s)	最小値 (cm/s)
射出球	76	82	70
磁石複合体	8.6	11	5.0

〔表3〕実験1の計測結果

この実験中どのくらいの誤差が生ずるか計算してみたところ，1ピクセルの計測差で18cm/sの差が生ずることがわかった。最大値と最小値は1ピクセル未満の差であり，これ以上の精度は出せない。

〈衝突前後の運動量の比較〉

鉄球1個の質量は103 g，磁石の質量は110 gであった。実験結果から，衝突前後の運動量和を計算すると，衝突前の運動量の和は $3.2 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ，衝突後の運動量の和は $3.4 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ となった。2つの差は10%以下であり，これは実験がうまくできていることを示している。

〈鉄球の重力による位置エネルギーの変化を求める〉

実験前後の鉄球に外部から力をかけていないので，磁石の影響がないならば，衝突球の初期高と射出球の到達高は同じになるはずである。しかし，この実験では衝突球と射出球は異なった高さで停止する。この高さの最下点を基準として計測すると，衝突球の初期高は8.7 mm，射出球の最高到達高は28.6 mmとなった。この高さでの両球の重力による位置エネルギーを計算し，衝突前後の位置エネルギーの差は $2.0 \times 10^{-2} \text{ J}$ と計算された。

実験Ⅱ 衝突球、射出球が磁石から受ける位置エネルギーの計測

衝突球、射出球が磁石から受ける力の大きさをそれぞれ固定した磁石複合体との距離ごとに調べ、衝突球、射出球の持つ磁石による位置エネルギーを算出した。

〈方法〉

木製の工作台上に磁石複合体を水平に固定し、計測する鉄球に糸を通して、磁石複合体に結合した。この後、フォースゲージで糸を引っ張り、磁石複合体と鉄球が離れる瞬間の最大の力を求めた。磁石複合体と鉄球との距離は、厚さ約 1.2 mm のスライドガラスの枚数を変えて挟むことで調整した。衝突時・射出時の計測は磁石と鉄球の配置を変えて対応した。測定は使用したフォースゲージの計測限界である 0.05N 以下になる距離まで測定した。

〈結果〉

距離ごとの 10 回の平均値を求め、衝突球、射出球が磁石に引かれる力と距離の関係をそれぞれグラフにした。

台形を使った区分求積法を使って、衝突球が磁石から得る位置エネルギーと射出球が失う位置エネルギーをそれぞれ算出した。

衝突球が衝突直前に磁石複合体に引かれる力は、射出球の射出直後に磁石複合体から受ける力より倍以上大きい。

さらに、台形を使った区分求積から求めると衝突球が得る磁石による位置エネルギーは $4.4 \times 10^{-2} \text{J}$ 、射出球が失う磁石による位置エネルギーは $2.0 \times 10^{-2} \text{J}$ と計算された。2 つの磁石による位置エネルギーの差は $2.0 \times 10^{-2} \text{J}$ となった。

実験Ⅰ、Ⅱの結果をまとめると、最高点に達した射出球の位置エネルギーと初めの射出球の持つ重力位置エネルギーの差は $2.0 \times 10^{-2} \text{J}$ …①、磁石複合体から受ける力から計算した衝突球と射出球の位置エネルギーの差は $3.4 \times 10^{-2} \text{J}$ …②となった。①はかなりの精度で正確に計測されていると考えられるが、②は本来曲線になる部分を直線として台形による区分求積法を使っているため、実際のエネルギーより大きく計算され、誤差もかなりあると予想される。まだ未知の要素があるかもしれないが、だいたい同じ値になるのではないかと予想している。仮説を完全に証明したとはいえないが、おそらく「ガウス加速器」現象を起こしている第一の要因は衝突球と射出球の磁石から受ける力による位置エネルギーの差だろうと言えるだろう。「ガウス加速器は、衝突前後の鉄球が磁石から受ける力に差があり、この力の差によって生ずる位置エネルギーの差を利用して、あたかも加速しているように見える現象である。」と言える。