

ガウス加速器における衝突前後の運動エネルギーの変化について

5年A組 伊東 綾那

指導教員 守本 寛治

1. 要約

本研究は、ネオジウム磁石（以下、磁石とする）による磁力を測定することでガウス加速器の加速機構について調べたものである。衝突前後における磁石が鉄球にする仕事とエネルギーを測定し、この入射球と射出球のエネルギー変化について調べた。

2. 研究の背景と目的

ブラックホールの内部構造を理解する研究をしていたが、専門的知識の不足から、研究内容を変更した。ブラックホール周辺には強力な磁場があることや、周囲の物質を引き付けるという点において磁場とブラックホールには共通点があると考え、研究内容の変更先として磁場に目を付けた。そこで、ガウス加速器という磁力を利用した加速器の一種を用いると、入射球に対して射出球の速度が著しく加速されることに興味を持った。そしてガウス加速器におけるネオジウム磁石のする仕事と、磁石によって加速された入射球と射出球の運動エネルギーをそれぞれ求め、さらにそのエネルギー効率を考えることを目標とした。

3. 研究方法

3.1 研究概要

実験により磁石のする仕事 w_M 、摩擦力のした仕事 w_f を求める。次に入射球に与える初速を v_0 、磁石によって加速された後の入射球の衝突直前の速度を v_1 、射出球の飛び出した速度を v_2 とおき、エネルギー保存則の考えを用いて加速後の入

射球の運動エネルギー $\frac{1}{2}mv_1^2$ を求める。

(この v_1 は速すぎるため速度測定器による計測は不可能。)この $\frac{1}{2}mv_1^2$ と射出球の運動エネルギー $\frac{1}{2}mv_2^2$ を比較してエネルギー効率を考える。また、実験には一様に質量 5.45g, 半径 11mm の鉄球を用いた。

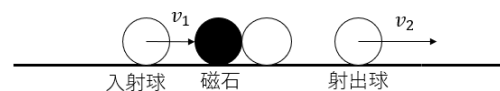


図1 ガウス加速器

3.2.1 実験①

x [m] 離れた磁石によっておもりの重さが何 kg 変わるかを計った。磁石と鉄球間の距離の初期位置を $x = 0.035$ としてそこから 0.002m ずつ、最終的に $x = 0.005$ まで近づけ、質量計の示す値と元の鉄球の質量との差を記録した。それぞれの地点で求めた質量差 Δm [kg]を用いることにより、 Δm [kg] $\times 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\Delta m$ [N] から磁石の力 F を求めた。求めた値を F, x グラ

フにプロットして出来上がったグラフの面積は磁石が鉄球にした仕事 w_M に等しい。

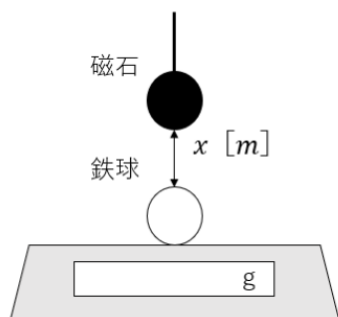


図 2 実験①の様子

[実験結果]

x が小さいときほど F は大きく、 x が大きくなるほど F は小さくなった。また、 $0.015 \leq x \leq 0.035$ のときは F の値に大きな変動は見られなかったが、 $x < 0.015$ になると F は大きく変動した。

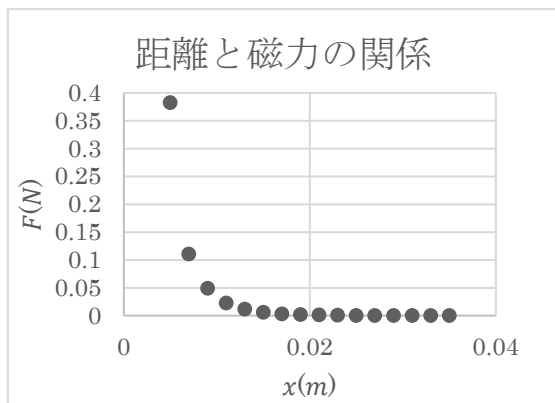


図 3 磁石と鉄球間の距離と鉄球にはたらく磁力のグラフ

磁力による仕事 $w_M = 2.33 \times 10^{-3} \text{ J}$

3. 2. 2 実験②

位置 A において静止している鉄球に初速 v を与えて、 $v = 0$ となる地点を B として AB 間の距離を l [m] とおいた。エネルギー保存則から

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mu' mgl (\mu': \text{動摩擦係数}) \text{ が成り立ち、}$$

μ' を計算により求めた。試行回数を 100 回としてそれぞれの場合について μ' を求め、その平均値 $\bar{\mu}'$ をこの研究における動摩擦係数とした。

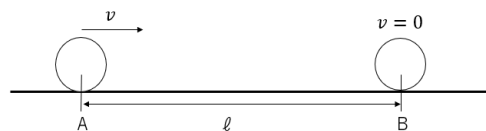


図 4 実験②の様子

[実験データ例]

実験番号	v (m/s)	l (m)
1	0.08	0.517
2	0.05	0.476
3	0.07	0.524

[実験結果]

$$\bar{\mu}' = 4.8 \times 10^{-3}$$

$\bar{\mu}'$ は非常に小さいことが分かった。

3. 2. 3 実験③

v_0 と v_2 を速度測定器を用いて記録する。試行回数を 100 回とする。



図 5 速度測定器

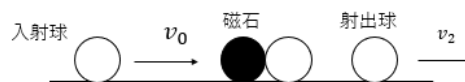


図 6 実験③の様子

[実験データ例]

実験番号	v_0 (m/s)	v_2 (m/s)
1	0.12	1.82
2	0.15	1.83
3	0.19	1.86

4. 考察

実験②の結果から、動摩擦係数 $\bar{\mu}'$ が非常に小さく、速度測定器間の距離は8cmであることから実験③における摩擦で失われたエネルギー w_f は $w_f = \mu' mg \cdot 8 \times 10^{-2}$ より 1.79×10^{-6} [N] となり、 w_f は非常に小さいため無視できることが分かった。次に①,②,③の結果より、エネルギー保存則の考えを用いて加速後の衝突直前の入射球の運動エネルギー $\frac{1}{2}mv_1^2$ を求める。

$\frac{1}{2}mv_0^2 + w_M = \frac{1}{2}mv_1^2$ より、左辺に実験①

～③で得られたデータをそれぞれの実験番号につき代入し、得られた100個の

$\frac{1}{2}mv_1^2$ の値の平均値をとると

$$\overline{\frac{1}{2}mv_1^2} = 2.38 \times 10^{-3} \text{ (J)}$$

さらに、射出球の運動エネルギーの平均

値 $\overline{\frac{1}{2}mv_2^2} = 9.58 \times 10^{-3}$ (J)からエネルギー効

率 $\overline{\frac{1}{2}mv_2^2} / \overline{\frac{1}{2}mv_1^2} = 4.02 \dots$ と求められる。し

かし、衝突時の音などによるエネルギーロスを考慮すると、射出球の運動エネルギーが加速後の入射球の運動エネルギー

を上回ることはなく、この $\overline{\frac{1}{2}mv_1^2}$ の値は

正確ではないと考えられる。したがって実験①によるネオジウム磁石の磁力の測定方法には問題があり、ネオジウム磁石の磁力による仕事を正確に見積もることができていないことが分かった。測定方法の問題点として、鉄球を質量計にしっかりと固定できておらず、磁力により浮いてしまっていたがために質量の変化の測定時にずれが生じたことがあげられる。また、磁石を吊り上げるのに糸を用いたため、磁石と鉄球の距離が近づくとつれ磁石が下に引っ張られる力が大きくなり糸が伸びてしまい、それに応じて質量計の示す値も定まりにくくなってしまったことも一因であると考えられる。

5. 今後の展望

実験①のネオジウム磁石の磁力の測定方法を改善し、精密なデータ得ることが出来れば、磁力と磁石からの距離の関係をグラフに表すことができると考えた。

6. 参考文献

[1] 東京書籍『改訂物理』

[2] 先行研究

・ガウス加速器における仕事とエネルギーの測定(牧原義一,杉本佳隆)