

ガウス加速器の鉄球の数と飛距離の関係

静岡県立御殿場南高等学校
2年河野竜大

要約 ガウス加速器の鉄球の飛距離に、並べる鉄球や磁石の数が関係しているのかを調べるために、実験を行った。鉄球や磁石の数を変え、飛距離がどう変わるのがかを調べたところ、鉄球が5個までは鉄球を増やすにつれ飛距離が伸びたが、6個から飛距離が短くなり7個以上の飛距離はほぼ一定となった。ネオジム磁石の磁力による磁場のポテンシャルエネルギーは一定であり、鉄球を引く磁力は鉄球の数と反比例し、損失エネルギーは底が1より大きい対数関数のようになると仮定すると、飛距離はポテンシャルエネルギーから鉄球を引く磁力と損失エネルギーを引いたエネルギーとして説明できる。

1 動機

文化祭でガウス加速器の実験をおこなったところ、磁石に付ける鉄球の数を変えると飛んでいく鉄球の速度が変わって見えた。そこで、鉄球の数と飛距離の関係を調べたいと思い、実験を始めた。

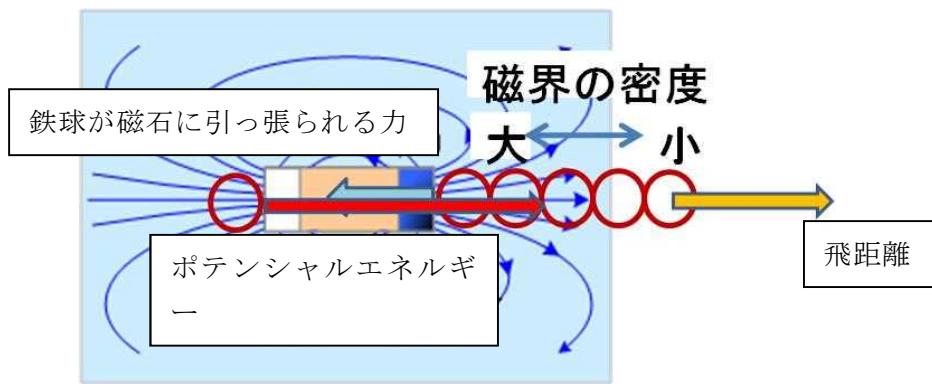
2 加速器の説明

ガウス加速器とは、ネオジム磁石と2個以上の鉄球を並べたものに、鉄球を転がして衝突させると、反対側の鉄球が転がされた鉄球以上の速度の運動を始める。これは、転がした鉄球が、衝突の直前にネオジム磁石の磁力による磁場のポテンシャルエネルギーを得て加速されるため、反対側の鉄球に多くの運動エネルギーを与えることにより起こる現象である。

3 実験 1

(1) 目的 鉄球の数と鉄球の飛距離の関係を調べる。

(2) 仮説 鉄球の数が増えるほど磁石から飛び出す鉄球までの距離が大きくなり、磁界の密度が小さくなることによって鉄球が磁石に引っ張られる力が弱くなる。そのため、鉄球の数を増やすほど飛距離が伸びると考えた。これを模式図に表したもののが図1である。



(3) 準備 実験には直径1.00cmのネオジム磁石と同直径の鉄球、発射装置、着地台を使用した。発射装置は、高さ47.80cm、横の長さ91.10cmのものを使用し、着地

台はコンテナに砂を入れたものを用意した(図2)。着地台は砂の高さが鉄球の発射装置の末端と同じ高さになるように調節して計測した。衝突させる鉄球を衝突球、並べる鉄球を静止球、飛び出す鉄球を飛球と呼ぶこととする。

(4) 方法

ア 発射装置にネオジム磁石を6個置く。磁石を置く位置は、位置エネルギーが0になる水平部分に差し掛かるところとした。磁石から発射装置の末端までは50.30cmである。発射装置のレールはコンセントのコードカバーを使用したので、鉄球と接する面が小さいために、摩擦は考えないものとした。

イ 磁石に静止球を付け、発射装置の一番上から衝突球を転がし磁石にぶつけて飛球を飛ばす。

ウ 発射装置の先端から飛びだす鉄球の落下地点までの距離を測る。

エ 鉄球の数(静止球+飛球)を2個から7個まで順に増やし、同じように計測していく。

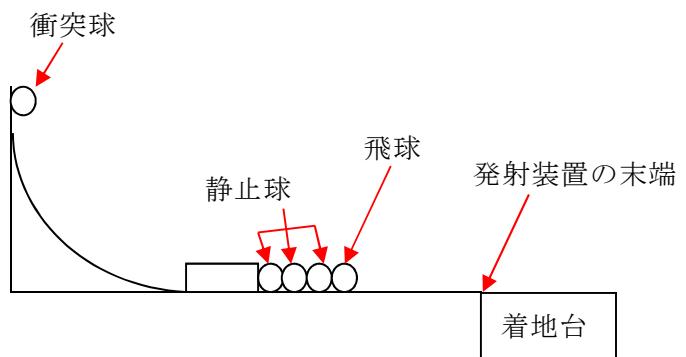


図2 実験装置の全体像と模式図

(5) 結果 鉄球の数と飛距離の関係を図3に表す。

グラフの横軸が鉄球の数、縦軸が飛距離、太線で示した線は10回の平均値で、その他の点は10回の計測値をそれぞれプロットしたものである。鉄球1個の時は全く飛ばなかつたので、グラフには入れなかった。鉄球の数を増やすにつれ、予想どおり飛距離が伸び、鉄球が5個の時に飛距離が最大になったが、予想に反して6個以上になると逆に飛距離が短くなっていた。

(6) 考察 飛距離は衝突球が磁石に引かることによって生じる運動エネルギーすなわちポテンシャルエネルギーから、飛球が磁石から受ける磁力の差によって決まる(図4)。鉄球が5個までは磁界の密度が小さくなることで、磁石が飛球を引く磁力が弱くなり、飛距離が伸びる。6個の時から飛距離が縮むのは、鉄球を増やすことによって鉄球間での損失エネルギーが大きくなるためと考えられる。磁力は距離の逆数に比例するので5個と6個の間で飛距離の伸びより失われるエネルギーが大きくなり、ポテンシャルエネルギーと磁力と損失エネルギーの差である飛距離が短くなると推測した。

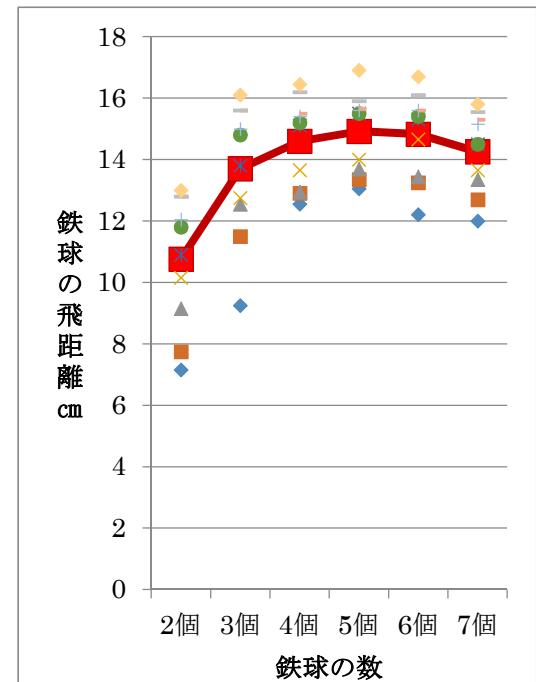


図3 鉄球の数と飛距離の関係

4 実験 2

実験 2 は磁石 3 個で行い、実験 1 と同様に鉄球の数を 1 個ずつ増やして計測していく。

- (1) 目的 磁石を 3 個に減らした時の鉄球の数と飛距離の関係を調べる。
- (2) 仮説 磁石によるポテンシャルエネルギーが小さくなるため、磁石 6 個の時より飛距離が短くなり、飛距離が短くなり始める鉄球の個数は変わらないと考えた。
- (3) 方法 磁石の数を 3 個に変え、その他の条件は実験 1 と同様にして測定した。
- (4) 結果 飛距離は予想に反して磁石 6 個の時とほぼ同じだった。鉄球の数を増やすにつれ飛距離が伸びたが、磁石 6 個の時とは異なり、鉄球が 3 個の時に飛距離が最大になり、4 個以上で飛距離が短くなっている。
- (5) 考察 磁石 3 個の時と 6 個時で飛距離はほぼ同じになったのは、ポテンシャルエネルギーと、飛球が磁石から受ける磁力が、ともに 6 個の時より小さくなるため、その差は変わらないと考えた（図 4）。

また、鉄球が 4 個の時から飛距離が短くなるのは、鉄球間の損失エネルギーはほぼ同じだが、飛球が磁石から受ける磁力が急激に小さくなるため、磁石 6 個の時より逆転が起こる鉄球の数が少なくなると考えた。

よって、磁石の数を減らすと、静止球を増やしたときの飛球が磁石から受ける磁力の弱まり方が変化すると考えられる。

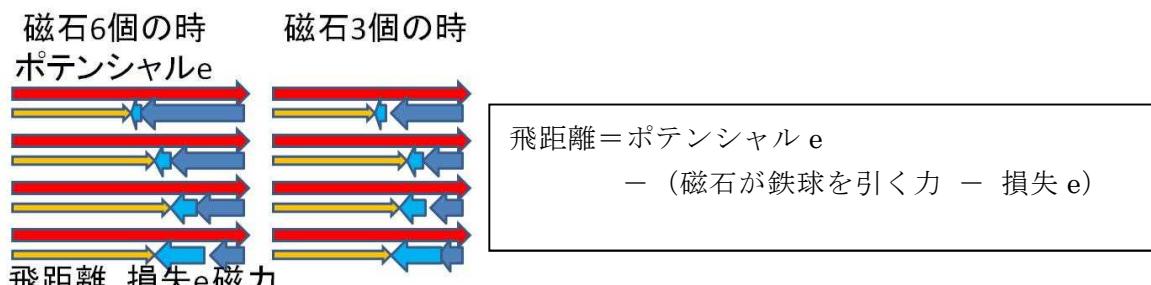


図 4 磁石 6 個の時と 3 個のときに飛距離に影響を与えるエネルギーの模式図

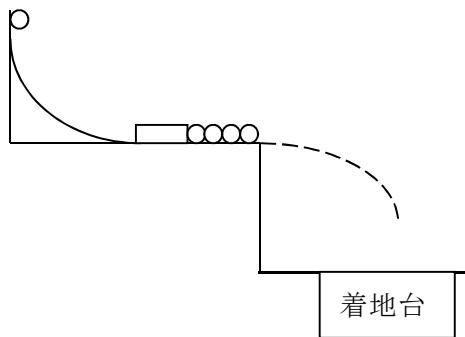
5 実験 3

実験 3 は鉄球の数を 10 個まで増やし、実験装置に改良を加えた。衝突球の位置と、磁石の位置を実験 1、2 の時より発射装置の末端に近づけた。

- (1) 目的 実験 1 では鉄球の数を 7 個までで計測を行ったので、鉄球の数がそれ以上のときに飛距離がどのように変化するのかを調べる。また、実験 1、2 では飛距離のばらつきが大きかったため、ばらつきを小さくする。
- (2) 仮説 鉄球の数が増えると、鉄球間で失われるエネルギーが増加するため、実験 1 と同じように鉄球 5 個で飛距離が最大になり、6 個以上になると鉄球の数を増やすにつれ飛距離が短くなっていくと考えた。
- (3) 準備 実験 1 と同じく直径 1.00cm のネオジム磁石と同直径の鉄球、発射装置、着地台を使用した。実験 1 では飛距離のばらつきが大きかったが、これは飛球が砂に埋もれてしまい、計測誤差が生じたためと考えた。そこで、コンテナに PVA と蒸留水を 3 : 7 で作成したスライムを流し込んだものを使用した。着地台は床に置いて着地地点が明確になるようにして計測した（図 5）。



図 5 実験 3 の実験装置の全体像と模式図



(4) 方法

- ア 発射装置にネオジム磁石を 6 個置く。磁石を置く位置は、発射装置の末端の近くとした。鉄球の数を増やしても、飛球の末端が発射装置の末端と揃うように磁石の位置も移動させた。
- イ 磁石に鉄球を付け、発射装置の一番上から衝突を転がし磁石にぶつけて飛球を飛ばす。
- ウ 発射地点の真下から、飛球の落下地点までの水平距離を測る。
- エ 鉄球の数を 10 個から 2 個に順まで減らし、同じように計測していく。

(5) 結果 実験の結果を図 6 に示す。グラフは縦軸が鉄球の飛距離、横軸が鉄球の数である。黒で示した線は 10 回の平均値で、その他の点は 10 回の計測値をそれぞれプロットしたものである。予想どおり飛距離は鉄球 5 個の時に最大になり、鉄球が 6 個の時から飛距離が短くなっている。しかし予想に反して、7 個以上の時の飛距離はほぼ一定になった。

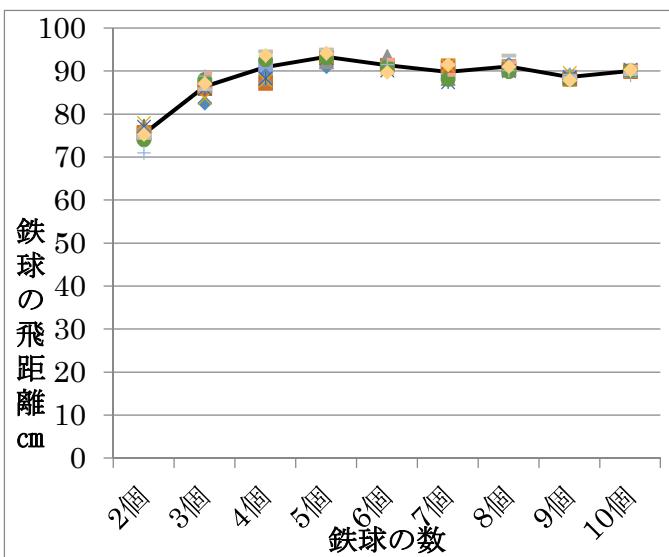


図 6 実験 3 の磁石 6 個の時の鉄球の数と飛距離の関係

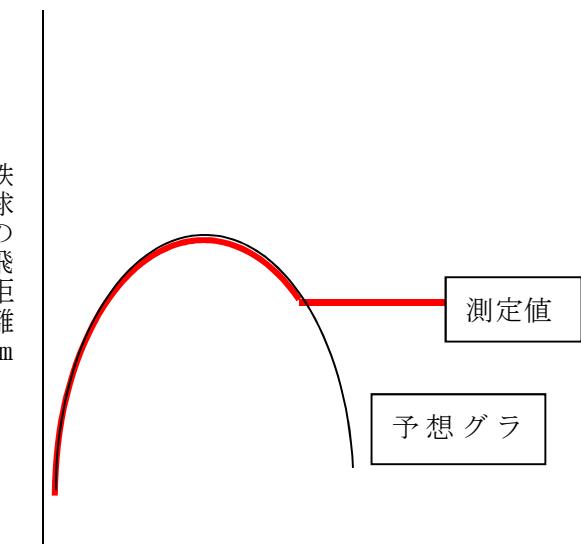
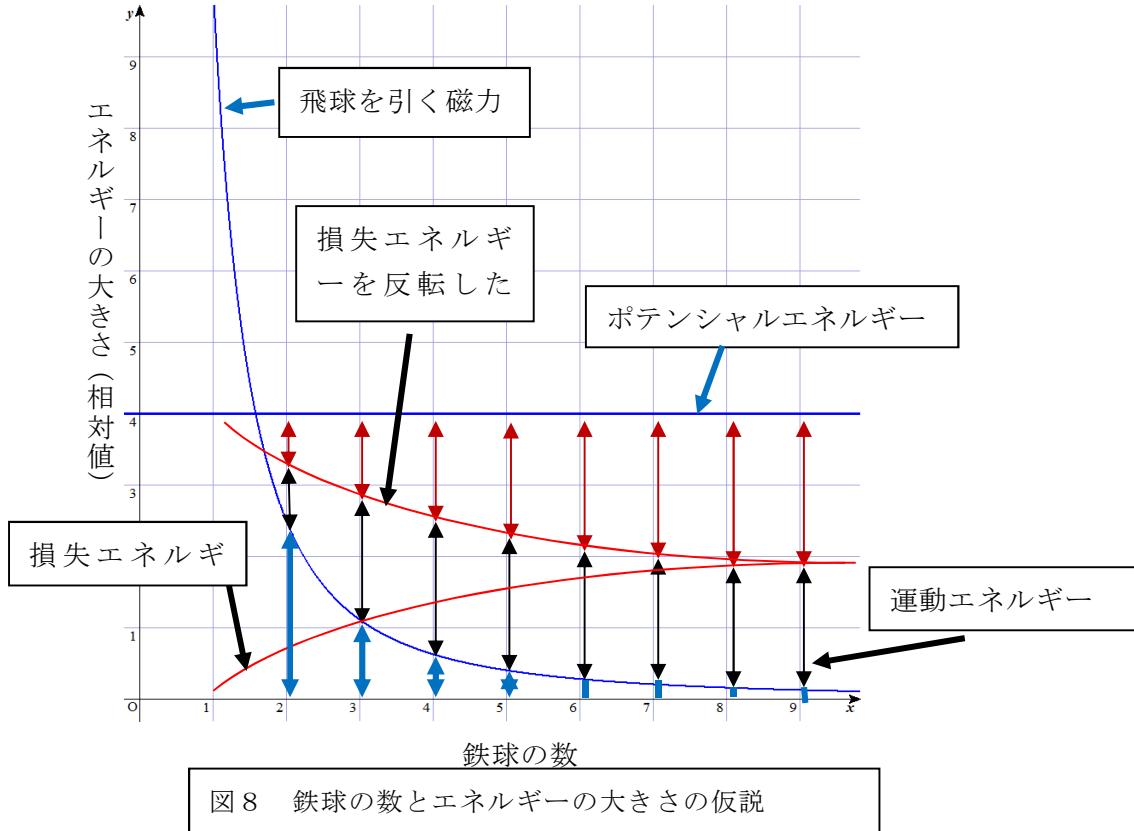


図 7 予想と測定値を模式図化したグラフ

(6) 考察 着地台を砂からスライムに変えても計測値の誤差が小さくなることはなかった。

飛距離は予想どおり鉄球 5 個の時に最大になり、6 個の時から短くなつたが、7 個以降は予想に反して飛距離がほぼ一定になつた。これを模式化したものが図 9 であり、予想ではグラフが二次関数のようになると考へたが鉄球測定値は途中から飛距離が一定になつた。これを説明するために、鉄球の数とエネルギーの大きさの仮説を考えた（図 8）。

この実験では、運動エネルギーを飛距離として測定した。ネオジム磁石の磁力による磁場のポテンシャルエネルギーは一定であり、飛球を引く磁力は鉄球の数と反比例するとし、損失エネルギーが赤い線で示したグラフのようになると仮定すると、飛距離すなわち運動エネルギーはポテンシャルエネルギーから飛球を引く磁力と損失エネルギーを引いたエネルギーと考えられるので、鉄球7個の時から一定になることが説明できる。損失エネルギーについては、熱エネルギーまたは音エネルギーもしくは静止球のずれなどを考えているが、詳しくは今後の研究としたい。



6まとめ

鉄球の数を増やすと鉄球が5個までは飛距離が伸びるが、6個以上になると短くなっていく。鉄球の数を増やすと飛距離が伸びるのは、磁界の密度が小さくなるため、飛球を引く磁力が小さくなる。6個から飛距離が短くなっていくのは、鉄球間での損失エネルギーが大きくなっているためと考えた。これは、損失エネルギーが距離による磁力の弱まり方を上回ったところで逆に飛距離が縮むと考えられる。鉄球が7個以上で飛距離がほぼ一定になるのは、ポテンシャルエネルギーは一定であり、飛球を引く磁力は鉄球の数と反比例し、損失エネルギーは底が1より大きい対数関数のようになると仮定すると、飛距離はポテンシャルエネルギーから飛球を引く磁力と損失エネルギーを引いたエネルギーとして説明できる。

7 今後の展望

磁石の数や鉄球の数を変えて飛距離との関係をさらに詳しく調べていきたい。

損失エネルギーは熱エネルギーまたは音エネルギーもしくは静止球のずれによって生じるものではないかと考えているので、それを調べる実験をしていきたい。

8 参考文献

浪速のガリレオ先生教材ノート（東京図書出版）