

金属パイプ中における磁石の落下実験

茨城県立日立第一高等学校 清水智史 長山歩詩

1. 研究背景

中学生の時、興味のある実験動画を探すという調べ学習の機会があり、その際に銅パイプ中にネオジム磁石を落下させる実験を見つけ、なぜネオジム磁石は普通に落下させる(自由落下運動)よりも金属パイプ中を通したほうがゆっくりと落下するのか疑問に思い、本研究を行った。

2. 実験方法

長さ90[cm]、直径19[mm]の金属パイプ2種類(ステンレスパイプとアルミパイプ)と段ボールでできた筒と、高さ1.5[cm]、直径1[cm]、重さ9.6[g]の磁石を3種類(ネオジム磁石、アルニコ磁石、フェライト磁石)を組み合わせ、合計9通りの落下実験を行った。パイプの外に出た瞬間の磁石の速さを、速度計測器で測る。また、電磁誘導による影響があると予測し実験で得られた値から電気抵抗率の比を求めた。実験で使用した磁石は下の表1のものを使った。

磁石の種類	残留磁束密度「Br」	最大エネルギー積「BH」
ネオジム	12.3~12.9 kG	35~39 MGOe
フェライト	3.9~4.1 kG	3.6~4.0 MGOe
アルニコ	12.5~13.0 kG	4.8~5.5 MGOe

表1 実験で使用した磁石

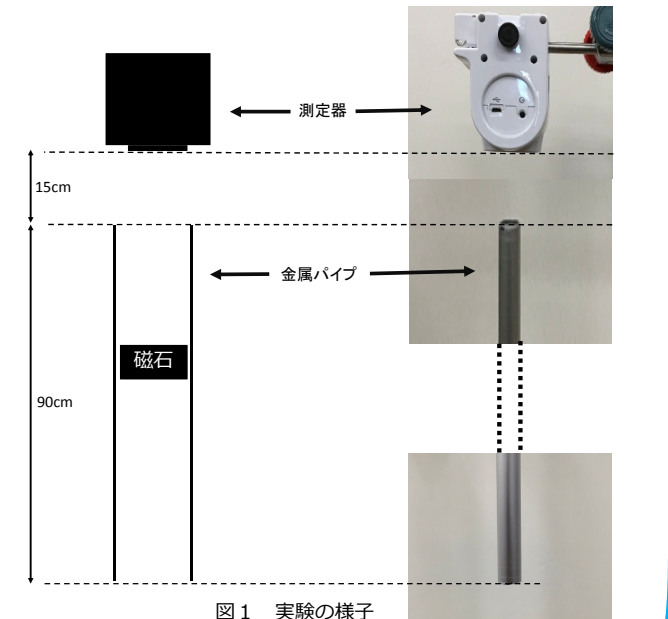


図1 実験の様子

3. 実験結果

アルミパイプ中に磁石を落下させたとき、落下速度の小さかった磁石は順にネオジム磁石、アルニコ磁石、フェライト磁石とステンレスパイプ中に磁石を落下させたときも先ほどと同様に、落下速度の小さかった磁石は順にネオジム磁石、アルニコ磁石、フェライト磁石となった。段ボールでできた筒中に磁石を落下させたときのみ、落下速度は3つともほぼ同じだった。

5. 参考文献

高校生理科研究のためのヒント集 千葉大学先進科学センター
<https://www.cfs.chiba-u.jp/information/hints.html>
[chiba-u.jp/koudairenkei](https://www.cfs.chiba-u.jp/koudairenkei)

パイプの種類	磁石の種類	落下速度v(m/s)
アルミニウム	ネオジム	0.29
	フェライト	3.51
	アルニコ	2.67
ステンレス	ネオジム	3.42
	フェライト	4.18
	アルニコ	3.97
段ボール	ネオジム	4.01
	フェライト	4.03
	アルニコ	4.02

表2 パイプから出た瞬間の速度

この表2から、アルミパイプ中では落下速度は表1の最大エネルギー積が大きいくほど落下速度が小さくなる。ステンレスパイプ中では各数値間の差が小さく、ダンボールの場合はほぼ差がなかったため、電磁誘導の影響をあまり受けなかったと考えられる。(特にアルニコ磁石とフェライト磁石を実験に使用した時。) 段ボールでできた筒においてはどの磁石を落下させても誘導電流は流れないため、落下速度は自由落下速度とほぼ同じになった。

4. 実験の考察とまとめ

今回の実験において、用いたパイプをN回巻のコイルと仮定して理論的な考察を行った。まず、電磁誘導とは、時間 Δt において、コイルを貫く磁束 $\Delta \Phi$ が変化すると、コイルに誘導起電力Vが発生する現象である。高校の教科書では、

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

の式が与えられている。今、図1のように円柱の磁石を地面に垂直な方向(Z軸方向とする)に落下させるので、磁束の変化はZ成分だけである。初速度0で落下させ、十分時間が経ち、磁石の落下速度が一定(v)になった場合に、(1)の式は、

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta Z} v \quad (2)$$

となる。磁石の質量をmとし、重力加速度をgとする。また、磁石が1回巻のコイルを通過する時間を Δt とする。磁石が等速vで運動しているとき、 Δt 間における磁石の位置エネルギーの変化 ΔU が、パイプ内でジュール熱 ΔQ として消費されるので、 $\Delta U = \Delta Q$ 、すなわち、

$$I|V|\Delta t = mgv\Delta t \quad (3)$$

となる。ここで、IとVはそれぞれ、1回巻コイルに流れる電流と電圧を表す。さらに1回巻コイルの抵抗をRとして、オームの法則($V=RI$)と式(2)で $N=1$ とした誘導起電力Vを用いると、 $R=\alpha V$ となる。ここで比例関係 α は使用する磁石に固有の値になる。パイプの抵抗率を ρ として、パイプの内径と1回巻コイルの断面積をSとすると、

$$\rho = \frac{S}{l} \alpha v \quad (4)$$

となる。ステンレスとアルミニウムの抵抗率をそれぞれ ρ_{Fe} 、 ρ_{Al} とすると、

$$\frac{\rho_{Fe}}{\rho_{Al}} = \frac{V_{Fe}}{V_{Al}} \quad (5)$$

となる。理科年表によると、20℃では、 $\rho_{Fe} = 7.40 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ と $\rho_{Al} = 2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ となるので、抵抗率の比は24.5である。実験1の結果をもとにして出した抵抗率の比の値は11.8となり抵抗率の比から求めた値と約54.6%の差が生じた。この差の原因として、摩擦が考えられる。