

1 目的

導電性のカーボン紙を利用することで電位を直接観測することにより、等電位線と電気力線を実際にかき、無限に広い平面上での理論と実験結果を比較することにより、等電位線と電気力線の間にどのような関係があるのか考察する。

2 原理

伝導性のあるカーボン紙に電極を塗布して、カーボン紙上の等電位点をたどることで等電位線を描く。実際に観測しているのは、カーボン紙上に生じる定常電流の場合における等電位線と電流線である。

いくつかの簡単な場合においては定常電流の静電場における等電位と電気力線は簡単な式で表される。

無限に広い導電性平面上に、距離 D を隔てて半径 R の2つの円形電極がある場合を考える。ただし円形電極の半径 R は D に比べて十分に小さいものとする。($R \ll D$) 電極の一方の電位を0、他方の電位を V_0 とする、このとき電位0の電極の中心から距離 r 電位 V_0 の電極の中心から距離 r' の点 P における電位 V は次式で与えられる。

$$V = \frac{V_0}{2} \frac{\log\left(\frac{R}{D} \cdot \frac{r'}{r}\right)}{\log\left(\frac{R}{D}\right)} \quad (1)$$

これを r'/r に関して解くと、

$$\frac{r'}{r} = \left(\frac{R}{D}\right)^{\frac{2V}{V_0}-1} \quad (2)$$

となる。

したがって、等電位線は $r'/r = \text{const}$ を満たす曲線、すなわちアポロニウスの円となる。

3 実験方法

3.1 実験1

以下のような手順で実験を行った。

- カーボン紙の中央付近に距離 $D = 18 \text{ cm}$ を隔てた半径 $r = 2.0 \text{ cm}$ 、幅 5 mm の2つの円形電極を塗布した。このとき導電性塗料は銀ペーストを用いた。
- 直流電源の正極の一方の電極に、負極を他方の電極に接続した。
- 電極上が等電位であることを確認した。
- 0.5 V 間隔で等電位の点をプロットしていき等電位線を描いた。

- (2) 式に V の値を代入し r'/r の値を求めた.
- 両電極の中心 A, B の間を $1:r'/r$ に内分する点 C と外分する D を求めた.
- CD を直径とする円を描いた.

3.2 実験 2

以下のような手順で実験を行った.

- カーボン紙の上下端に幅 5 [mm] の電極を, 中央に半径 $r = 2.0$ cm, 幅 5 mm の円形導体を塗布した.
- 直流電源の正極の一方の電極に, 負極を他方の電極に接続した.
- 電極上が等電位であることを確認した.
- 0.5 V 間隔で等電位の点をプロットしていき等電位線を描いた.
- YY 軸上の V の実測値を測った.
- (4) 式,(12) 式に従い, 等電位線を描いた.
- YY 軸上の V の計算値を求めた.

4 結果

4.1 実験 1

実験によって得られた数値は以下ようになった. 表記している座標は両極の中心を A, B としたとき直線 AB を x 軸とし, A を原点にとったときのものである. また, 書き込んだカーボン紙は末尾に添付した.

$$V_0 = 6.0 \text{ V}, R = 4.0 \text{ cm}, D = 15.8 \text{ cm}.$$

表 1

電位 V / V	$\frac{r'}{r}$	内分点	外分点	円の中心	円の半径
4	1.580	6.122	-27.205	-10.541	16.664
3.5	1.257	6.999	-61.411	-27.205	34.205
3	1	7.9	∞	∞	∞
2.5	0.795	8.800	77.211	43.005	34.205
2	0.632	9.677	43.005	26.341	16.664
1.5	0.503	10.511	31.800	21.155	10.644
1	0.400	11.284	26.341	18.812	7.528

4.2 実験 2

YY 軸上の V の実測値と計算値は以下のようになった。また、書き込んだカーボン紙は末尾に添付した。

$$V_c = 2.83 [V], R = 3.0 [cm], D = 15.8 \text{ cm}.$$

電位 V / V	c	y	$y(\text{実測値})$
5.5	12.816	13.48	12.85
5	10.416	11.21	10.89
4.5	8.016	9.014	8.90
4	5.616	6.917	6.88
3.5	3.216	5.011	4.85
3	0.816	3.435	3.40
2.5	-1.584	-3.894	-4.01
2	-3.984	-5.593	-5.50
1.5	-6.384	-7.572	-7.82
1	-8.784	-9.710	-10.00
0.5	-11.184	-11.937	-12.00

課題 4 のグラフは末尾に添付した。

5 考察

まず実験 1 であるが、引いた線は中央付近では確かに近い感じであるが、端の方では大きく外れている。これは紙の端の方では電場が一様でなくなっており、そのためにずれが生じていると考えられる。またカーボン紙は一様な電場を発生させていると考えられるので、今回の等電位線は左右対称になっていると考えられる。

次に実験 2 であるが、 $V = 5.5 \text{ V}$ の線が端に届いていなかった。カーボン紙は一様な電場を発生させていると考えられ、また式の形から、等電位線は左右対称になっていると考えられる。したがって、ペーストが塗り足りなかったのか、あるいはカーボン紙に触れてしまっていたのかのどちらかが悪かったと考えられる。それ以外の点では、やはり端の方では理論的な等電位線と実際の線はずれていた。

6 参考文献

- 基礎科学実験 A(物理学実験) 平成 29 年度版