

## Vaja 45: Tuljava v magnetnem polju

Matevž Demšar

26. julij 2024

**Uvod.** Pri vaji opazujemo navor na tuljavo v magnetnem polju, skozi katero teče tok. V splošnem velja:

$$\vec{M} = NI \vec{S} \times \vec{B}$$

Ker pri vaji uporabljamo magnetno polje, ki ga ustvarjata Helmholtzovi tuljavi, lahko gostoto magnetnega polja v izračunih izrazimo kot:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N_H I_H}{R_H}$$

Na tuljavo, skozi katero teče tok  $I$ , torej deluje navor z velikostjo

$$M = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N N_H S \sin \varphi}{R_H} \cdot I \cdot I_H$$

Kot  $\varphi$  predstavlja kot med vektorjem gostote magnetnega polja  $B$  in površinskim vektorjem  $S$ . Pri merjenju bo  $\varphi$  enak  $\pi/2$ . Z merjenjem navora v odvisnosti od produkta tokov  $I$  in  $I_H$  lahko ocenimo vrednost induksijske konstante  $\mu_0$ .

**Meritve.** Najprej moramo izmeriti dimenzije in število ovojev tuljav. Za Helmholtzovi tuljavi uporabimo podani vrednosti  $R_H = 200 \text{ mm}$  in  $N_H = 154$ , izmeriti pa moramo ročico sile na tuljavo  $l$ ,  $S = \pi R^2$  in število navojev  $N$ .

$$l = 0,114 \text{ m}$$

$$R = 6,0 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$S = 11,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \pm 0,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N = 3$$

Nato spreminjamo tok skozi tuljave (z  $I_H$  označimo tok skozi Helmholtzovi tuljavi, z  $I$  pa tok skozi tuljavo med njima) in merimo silo na tuljavo - to pomnožimo z  $l$ , da dobimo navor. Podatke zapišemo v Tabelo 1.

$I$ [A]	$I_H$ [A]	$F$ [mN]
0	0	0
0,5	0,5	0,1
0,5	1,0	0,2
0,5	2,0	0,2
1,0	1,0	0,3
1,0	1,5	0,4
1,0	2,0	0,5
1,5	1,5	0,5
1,5	2,0	0,7
2,0	2,0	0,9
2,0	2,5	1,1
2,5	2,0	1,1
2,5	2,5	1,4
2,5	3,0	1,6
3,0	0,5	0,3
3,0	1,0	0,6
3,0	1,5	1,0
3,0	2,0	1,3
3,0	2,5	1,6
3,0	3,0	1,9

Tabela 1: Hitro lahko opazimo, da pri konstantnem toku  $I = 3,0$  A navor narašča linearno v odvisnosti od toka  $I_H$ .

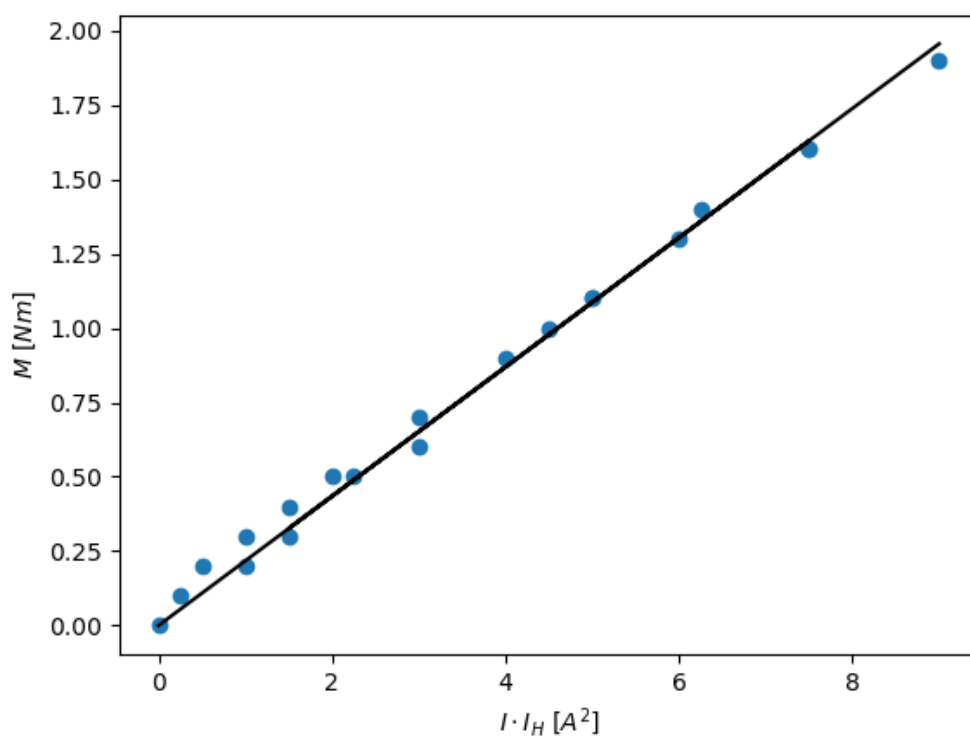
Ker pričakujemo, da bo navor linearno odvisen od produkta  $I \cdot I_H$ , narišemo graf  $M(I \cdot I_H)$ . Le-tega prikazuje Slika 1. Iz koeficienta premice ( $k$ ), ki jo priredimo podatkom, lahko izračunamo induksijsko konstanto  $\mu_0$ .

$$\begin{aligned}
M &= k \cdot I \cdot I_H \\
k &= \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N N_H S}{R_H} \\
\mu_0 &= \left(\frac{4}{5}\right)^{-3/2} \frac{k R_H}{N N_H S} \\
\mu_0 &= 9,5 \times 10^{-7} \frac{Vs}{Am}
\end{aligned}$$

**Ocena napake.** Do napak je prišlo pri vrednostih  $k$  in  $S$ . Predvidevamo:

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta k}{k} &= 0,1 \\
\frac{\Delta S}{S} &= 0,04 \\
\mu_0 &= 10 \times 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \pm 1 \times 10^{-7} \frac{Vs}{Am}
\end{aligned}$$

Odstopanje od znane vrednosti  $\mu_0 = 12,5 \times 10^{-7} Vs/Am$  ni v okviru ocenjene napake, znaša pa okoli 20%, s čimer sem še kar zadovolje.



Slika 1: S pythonovo knjižnico *scipy.optimize* poiščemo linearno funkcijo, ki najbolj ustreza podatkom. Dobimo premico s smernim koeficientom  $k = 2,48 \times 10^{-5}$ . Napako pri vrednosti smernega koeficienta *scipy.optimize* ocenjuje na red velikosti  $10^{-13}$ , kar je nenavadno, saj imajo podatki gotovonapako reda velikosti okoli 10%. Za nadaljnje računanje napake torej uporabimo kar 10%.