

## 7. Mágneses szuszceptibilitás mérése

PÁPICS PÉTER ISTVÁN

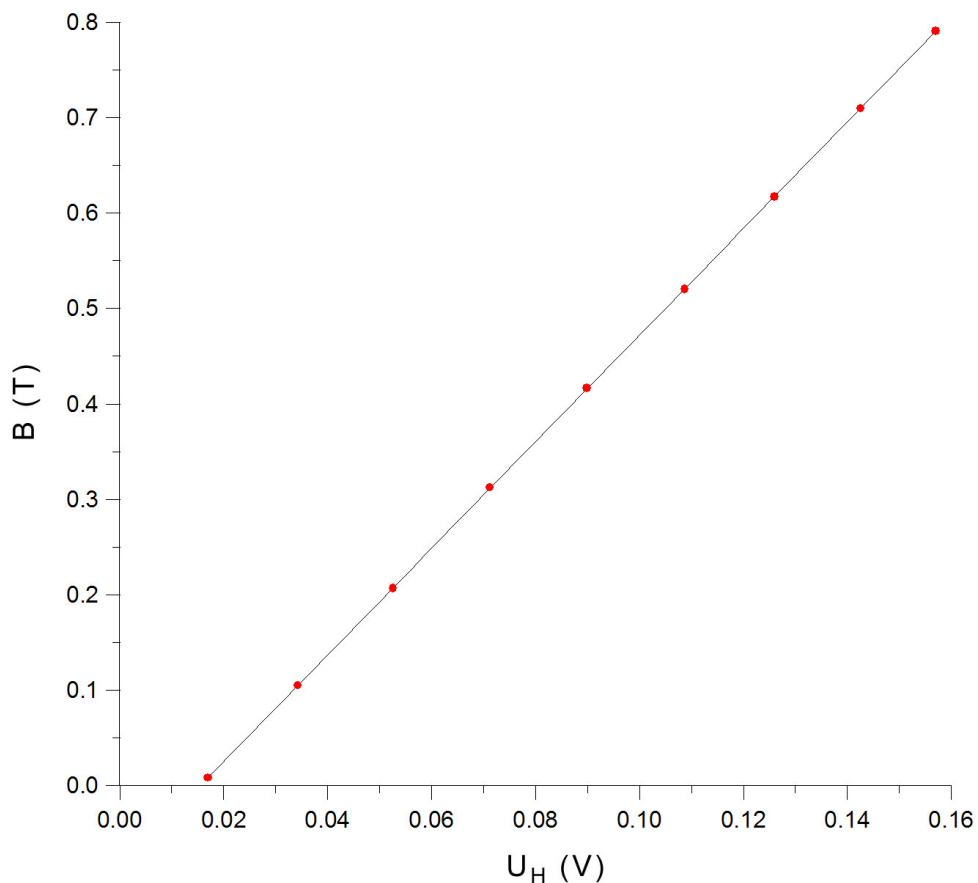
csillagász, 3. évfolyam

2005.09.22.  
Beadva: 2005.09.29.

**1** A 2-ES MÉRŐHELYEN MÉRTEM. Először a Hall-szondát kellett hitelesítenem. Ehhez  $RI_H$ -t konstans (bár a mérés végére pár tized  $mV$  eltérés mutatkozott, melyet a laborvezető jóváhagyása mellett a számolás során elhanyagoltam)  $50mV = 0,05V$  értéken tartottam, és a DC tápegységen az áramhatároló gombbal változtattam  $0,5A$  lépésekben az áramerősséget. A mérés során nyert adataim:

| $I [A]$ | $U_H [V]$ | $\Phi [Vs]$ | $B [T]$     |
|---------|-----------|-------------|-------------|
| 0       | 0,0170    | 0,00008     | 0,008227706 |
| 0,5     | 0,0343    | 0,00102     | 0,104903300 |
| 1       | 0,0526    | 0,00201     | 0,206721100 |
| 1,5     | 0,0712    | 0,00304     | 0,312652800 |
| 2       | 0,0899    | 0,00405     | 0,416527600 |
| 2,5     | 0,1087    | 0,00506     | 0,520402400 |
| 3       | 0,1260    | 0,00600     | 0,617077900 |
| 3,5     | 0,1426    | 0,00690     | 0,709639700 |
| 4       | 0,1570    | 0,00769     | 0,790888200 |

Megjegyezném, hogy az adatok leolvasási hibája  $U_H [V]$  esetén  $\pm 0,1mV$  míg a  $\Phi [Vs]$  esetén  $0,01mVs$  volt.



7.1.: a hitelestési görbe

B számításához a  $B = \Delta\Phi/n\bar{F}$  képletet használtam, ahol  $\bar{F}$  az átlagos menetfelület, és a következő képletből adódik:  $\bar{F} = \frac{\pi}{3}(r_k^2 + r_k r_b + r_b^2)$  ahol a 2-es mágnesre vonatkozó adatok:  $n = 194$   $r_k = 0,0048m$   $r_b = 0,00313m$ ; mindkét esetben  $\pm 0,00005m$  hibával, ami jelen esetben elhanyagolható; a képletben szereplő egyéb tagoktól ugyanis nagyobb hiba származik.

A hitelesítési görbe (7.1. ábra) egyenletét a *GNUPlot* programmal már az otthoni számítások során határoztam meg, az illesztések matematikai leírásához a továbbiakban is ezt a programot fogom használni, a következő parancssorokkal:

```
gnuplot> f(x)=(m*x)+ b
gnuplot> FIT_LIMIT = 1e-6
gnuplot> fit f(x) 'meres.txt' using 5:6 via m, b
```

Itt a görbe (a továbbiakban egyenes) meredeksége:  $m = (5,587 \pm 0,005) T/V$

Míg tengelymetszete:  $b = (-0,0865 \pm 0,0005) T$

Azaz a hitelesítési egyenes egyenlete:  $B[T] = (5,587[T/V] \cdot U_H[V]) - 0,0865[T]$

**2.** A továbbiakban anyagminták szuszceptibilitását kellett meghatározni. A különböző anyagú rudakat a mérlegre akasztva mértem állandó  $RI_H = 0,05V$  mellett, hogy mekkora a „tömegnövekedés” illetve az I áramerősség növelésével fellépő  $U_H$  érték.

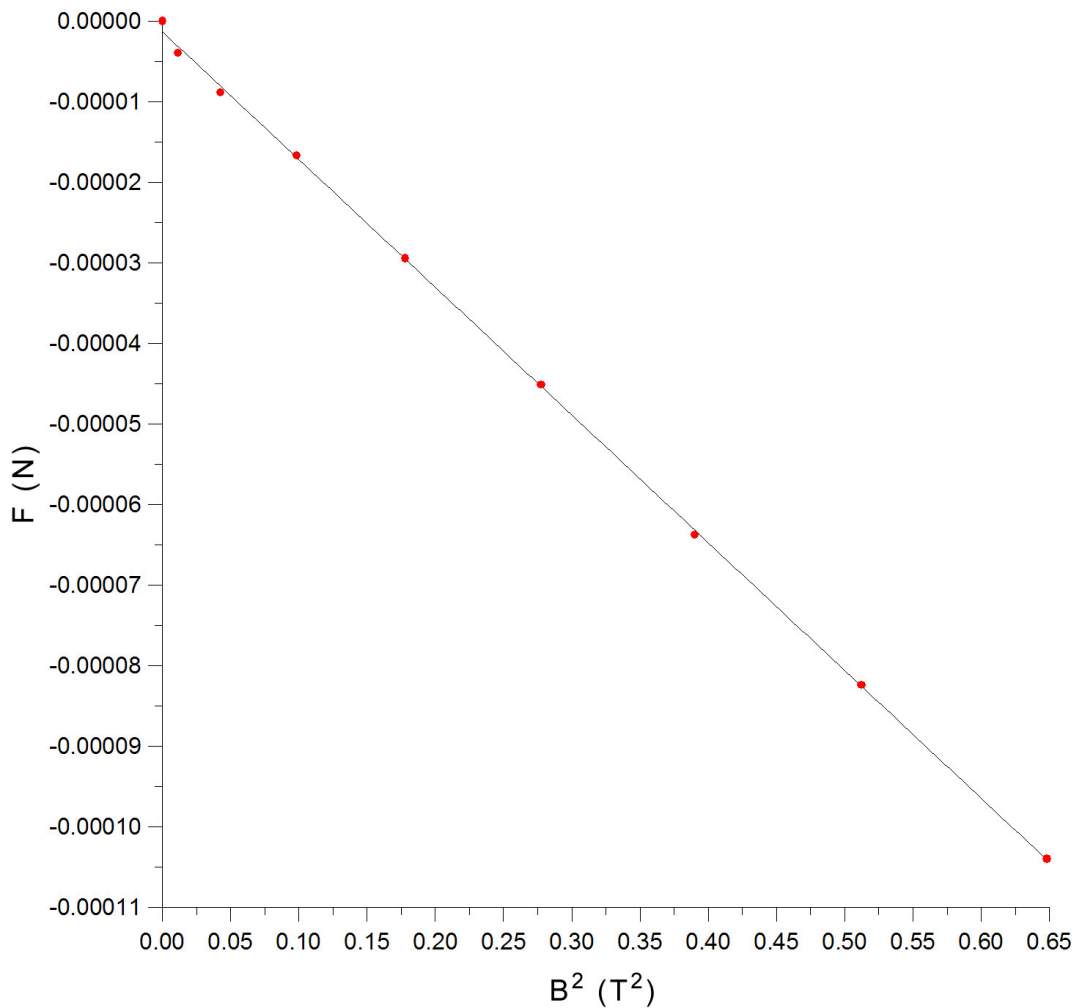
Egy diamágneses és két paramágneses mintát mértem végig.

## 19. MINTA (RÉZ)

A mérés során nyert adataim:

| $I [A]$ | $U_H [V]$ | $F/g [kg]$ | $B [T]$     | $B^2 [T^2]$ | $F [N]$      |
|---------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 0       | 0,0170    | 0,0000000  | 0,008479005 | 0,00007189  | 0,000000000  |
| 0,5     | 0,0346    | -0,0000004 | 0,106810200 | 0,01140841  | -0,000003924 |
| 1       | 0,0524    | -0,0000009 | 0,206258800 | 0,04254269  | -0,000008829 |
| 1,5     | 0,0717    | -0,0000017 | 0,314087900 | 0,09865121  | -0,000016677 |
| 2       | 0,0910    | -0,0000030 | 0,421917000 | 0,17801400  | -0,000029430 |
| 2,5     | 0,1098    | -0,0000046 | 0,526952600 | 0,27767910  | -0,000045126 |
| 3       | 0,1273    | -0,0000065 | 0,624725200 | 0,39028150  | -0,000063765 |
| 3,5     | 0,1436    | -0,0000084 | 0,715793200 | 0,51235990  | -0,000082404 |
| 4       | 0,1596    | -0,0000106 | 0,805185200 | 0,64832320  | -0,000103986 |

Itt a 3. oszlopból a 6. oszlop adatait az  $F = m \cdot g$  képlet alapján  $g = 9,81 m/s^2$  figyelembevételével nyertem. A  $B$  értékét az 1. pont végeredményének felhasználásával kaptam. Ez után ábrázoltam az erőt az indukció négyzetének függvényében (7.2. ábra).



7.2.: a 19-es minta

Itt az egyenes meredeksége:  $m = (-0,000159 \pm 0,000001) \text{ N/T}^2$

Míg tengelymetszete:  $b = (-0,0000013 \pm 0,0000003) \text{ N}$

A további számoláshoz a minta átmérője csavarmikrométerrel ( $\pm 0,000005 \text{ m}$ ):

| $d_i \text{ [m]}$ | $\Delta d_i \text{ [m]}$ | $(\Delta d_i)^2 \text{ [m}^2\text{]}$ |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 0,00806           | 0,000082                 | 0,000000006724                        |
| 0,00804           | 0,000062                 | 0,000000003844                        |
| 0,00793           | -0,000048                | 0,000000002304                        |
| 0,00792           | -0,000058                | 0,000000003364                        |
| 0,00794           | -0,000038                | 0,000000001444                        |

Itt az átmérők átlaga =  $0,007978 \text{ m}$  (ez lesz a  $\bar{d}$ ). Valamint  $\Delta d_i = d_i - \bar{d}$ . Az átlag empirikus szórása a következő módon adódik:

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta d_i)^2}{5 \cdot 4}} = 0,000029732m$$
 ami nagyobb hiba a leolvasási hibánál, tehát a továbbiakban ezt kell használni:

$$d = (0,00798 \pm 0,00003)m$$

Az átmérőből így a sugár:

$$r = (0,00399 \pm 0,00002)m$$

A keresztmetszetre adódó hiba:

$$\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta r}{r} = 0,005012531328$$

$A = r^2 \pi = 0,0000500144692m^2$  és felhasználva az előző képletet:

$$\Delta A = 0,005012531328 \cdot 0,0000500144692 = 0,000000250699$$

Így végül:

$$A = (0,0000500 \pm 0,0000003)m^2$$

A szuszceptibilitás kiszámításához a levegő szuszceptibilitása  $\kappa_0 = 3,77 \cdot 10^{-7}$ , míg a vákuum mágneses permeabilitása  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{2\mu_0 m}{A} = -7,615211711 \cdot 10^{-6}$$

Ehhez a hiba:

$$\frac{\Delta \kappa}{\kappa} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta A}{A} = -6,289308176 \cdot 10^{-3} + 0,005012531328 = -1,276776848 \cdot 10^{-3}$$

Amiből végül a szuszceptibilitás:

$$\kappa = -7,615211711 \cdot 10^{-6} \pm 9,722926006 \cdot 10^{-9}$$

A megfelelő tizedes jegyekre redukálva:

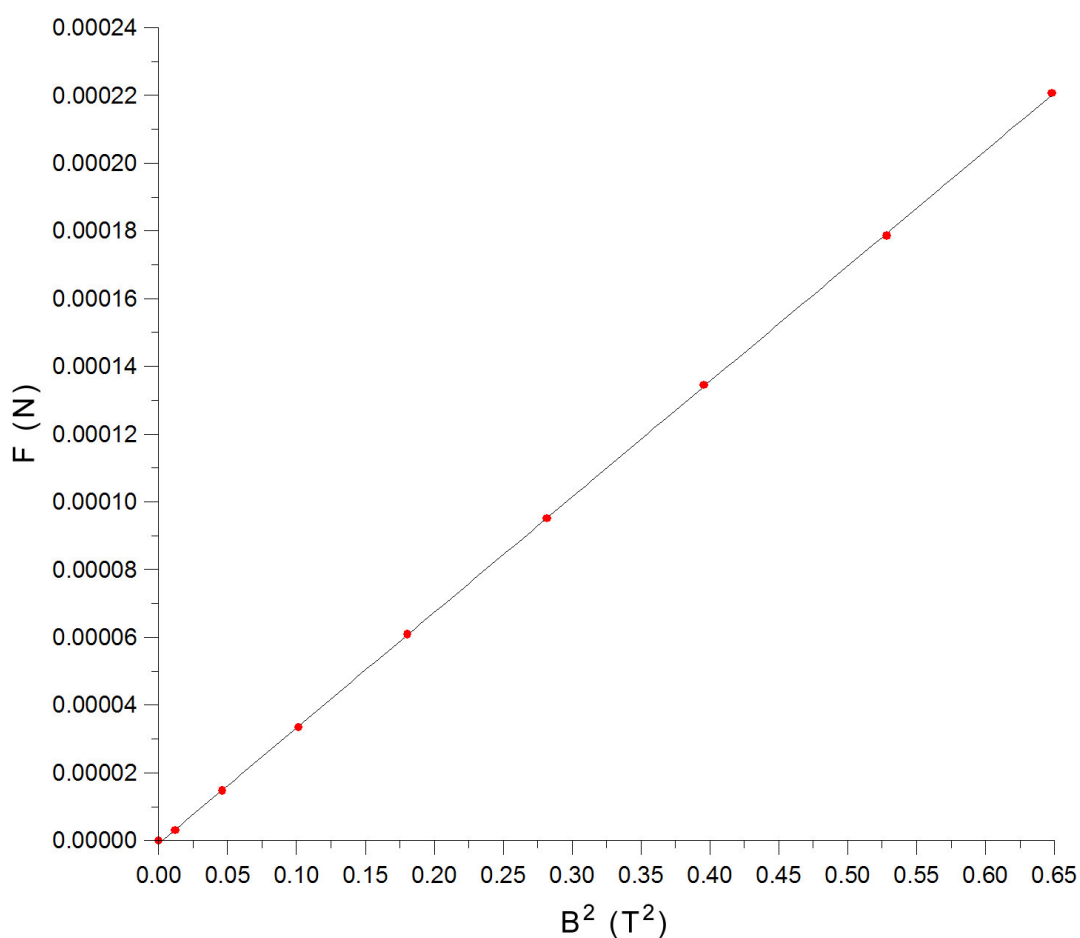
$$\kappa = 0,00000762 \pm 0,00000001$$

## 14. MINTA (ALUMINIUM)

A mérés során nyert adataim:

| $I$ [A] | $U_H$ [V] | $F/g$ [kg] | $B$ [T]     | $B^2$ [T <sup>2</sup> ] | $F$ [N]     |
|---------|-----------|------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 0       | 0,0168    | 0,0000000  | 0,007361596 | 0,0000541931            | 0,000000000 |
| 0,5     | 0,0352    | 0,0000003  | 0,110162400 | 0,0121357500            | 0,000002943 |
| 1       | 0,0539    | 0,0000015  | 0,214639300 | 0,0460700200            | 0,000014715 |
| 1,5     | 0,0725    | 0,0000034  | 0,318557500 | 0,1014789000            | 0,000033354 |
| 2       | 0,0915    | 0,0000062  | 0,424710500 | 0,1803790000            | 0,000060822 |
| 2,5     | 0,1105    | 0,0000097  | 0,530863500 | 0,2818161000            | 0,000095157 |
| 3       | 0,1281    | 0,0000137  | 0,629194700 | 0,3958860000            | 0,000134397 |
| 3,5     | 0,1456    | 0,0000182  | 0,726967200 | 0,5284813000            | 0,000178542 |
| 4       | 0,1596    | 0,0000225  | 0,805185200 | 0,6483232000            | 0,000220725 |

Itt a 3. oszlopból a 6. oszlop adatait az  $F = m \cdot g$  képlet alapján  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  figyelembevételével nyertem. A  $B$  értékét az 1. pont végeredményének felhasználásával kaptam. Ez után ábrázoltam az erőt az indukció négyzetének függvényében (7.3. ábra).



Itt az egyenes meredeksége:  $m = (0,0003409 \pm 0,0000008) N/T^2$

Míg tengelymetszete:  $b = (-0,0000008 \pm 0,0000003) N$

A további számoláshoz a minta átmérője csavarmikrométerrel ( $\pm 0,000005m$ ):

| $d_i [m]$ | $\Delta d_i [m]$ | $(\Delta d_i)^2 [m^2]$ |
|-----------|------------------|------------------------|
| 0,00773   | 0,0000075        | 0,00000000005625       |
| 0,00772   | -0,0000025       | 0,00000000000625       |
| 0,00772   | -0,0000025       | 0,00000000000625       |
| 0,00772   | -0,0000025       | 0,00000000000625       |

Itt az átmérők átlaga =  $0,0077225m$  (ez lesz a  $\bar{d}$ ). Valamint  $\Delta d_i = d_i - \bar{d}$ . Az átlag empirikus szórása a következő módon adódik:

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\Delta d_i)^2}{4 \cdot 3}} = 0,0000025m$$
 ami kisebb a leolvasási hibánál, ezért a továbbiakban inkább azt kell használni:

$$d = (0,007723 \pm 0,000005)m$$

Az átmérőből így a sugár:

$$r = (0,003862 \pm 0,000003)m$$

A keresztmetszetre adódó hiba:

$$\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta r}{r} = 0,001553599$$

$A = r^2 \pi = 0,00004685699266m^2$  és felhasználva az előző képletet:

$$\Delta A = 7,279697694 \cdot 10^{-8}$$

Így végül:

$$A = (0,00004686 \pm 0,00000007)m^2$$

A szuszceptibilitás kiszámításához a levegő szuszceptibilitása  $\kappa_0 = 3,77 \cdot 10^{-7}$ , míg a

vákuum mágneses permeabilitása  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{2\mu_0 m}{A} = 1,866072063 \cdot 10^{-5}$$

Ehhez a hiba:

$$\frac{\Delta\kappa}{\kappa} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta A}{A} = 2,346729246 \cdot 10^{-3} + 0,001553599 = 3,900328246 \cdot 10^{-3}$$

Amiből végül a szuszceptibilitás:

$$\kappa = 1,866072063 \cdot 10^{-5} \pm 7,278293576 \cdot 10^{-9}$$

A megfelelő tizedes jegyekre redukálva:

$$\kappa = 0,000018660 \pm 0,000000007$$

## 14. MINTA (ALUMINIUM)

A mérés során nyert adataim:

| $I [A]$ | $U_H [V]$ | $F/g [kg]$ | $B [T]$     | $B^2 [T^2]$  | $F [N]$     |
|---------|-----------|------------|-------------|--------------|-------------|
| 0       | 0,0168    | 0,0000000  | 0,007361596 | 0,0000541931 | 0,000000000 |
| 0,5     | 0,0357    | 0,0000005  | 0,112955900 | 0,0127590400 | 0,000004905 |
| 1       | 0,0536    | 0,0000019  | 0,212963200 | 0,0453533200 | 0,000018639 |
| 1,5     | 0,0733    | 0,0000044  | 0,323027100 | 0,1043465000 | 0,000043164 |
| 2       | 0,0915    | 0,0000075  | 0,424710500 | 0,1803790000 | 0,000073575 |
| 2,5     | 0,1100    | 0,0000113  | 0,528070000 | 0,2788579000 | 0,000110853 |
| 3       | 0,1288    | 0,0000161  | 0,633105600 | 0,4008228000 | 0,000157941 |
| 3,5     | 0,1448    | 0,0000209  | 0,722497600 | 0,5220028000 | 0,000205029 |
| 4       | 0,1598    | 0,0000258  | 0,806302700 | 0,6501240000 | 0,000253098 |

Itt a 3. oszlopból a 6. oszlop adatait az  $F = m \cdot g$  képlet alapján  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  figyelembevételével nyertem. A  $B$  értékét az 1. pont végeredményének felhasználásával kaptam. Ez után ábrázoltam az erőt az indukció négyzetének függvényében (7.4. ábra).

Itt az egyenes meredeksége:  $m = (0,000390 \pm 0,000002) \text{ N/T}^2$

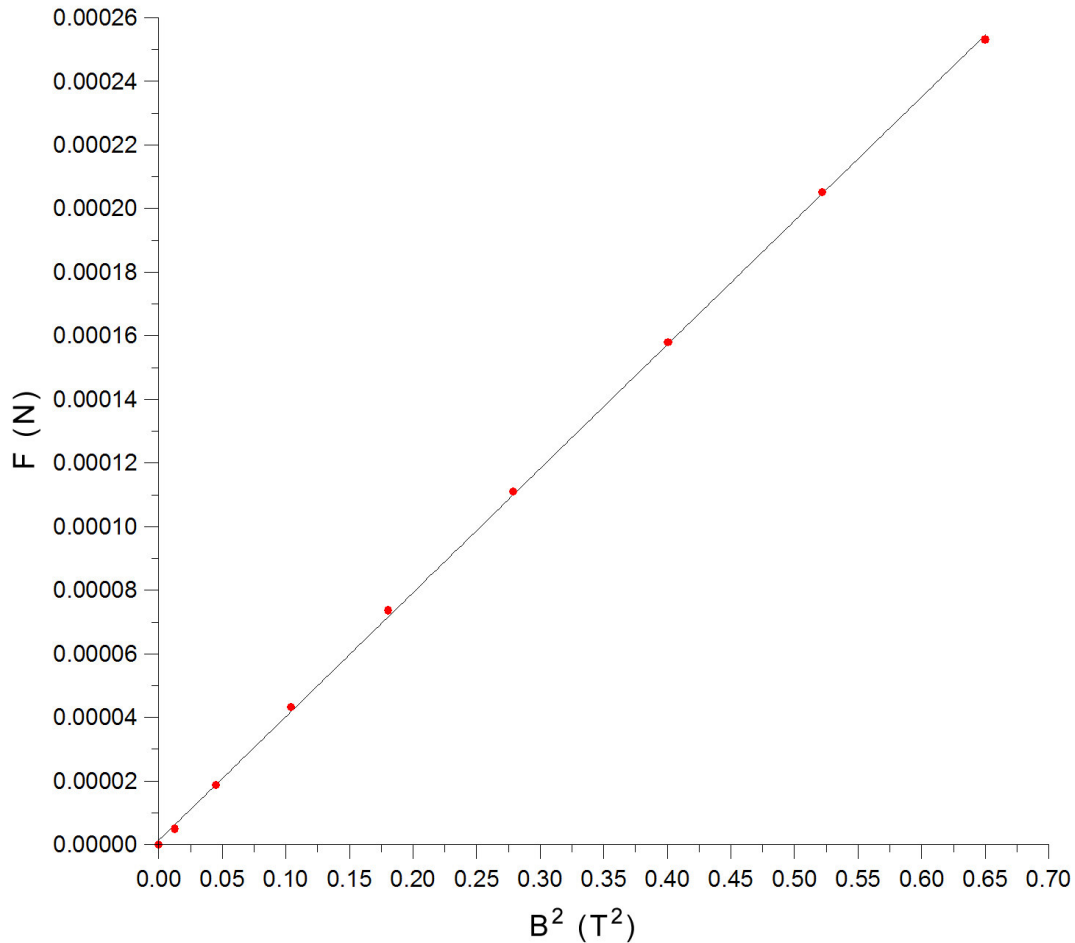
Míg tengelymetszete:  $b = (0,0000013 \pm 0,0000007) \text{ N}$

A további számoláshoz a minta átmérője csavarmikrométerrel ( $\pm 0,000005 \text{ m}$ ):

| $d_i [m]$ | $\Delta d_i [m]$ | $(\Delta d_i)^2 [m^2]$ |
|-----------|------------------|------------------------|
| 0,00773   | 0,000015         | 0,000000000225         |
| 0,00772   | 0,000005         | 0,000000000025         |
| 0,00771   | -0,000005        | 0,000000000025         |
| 0,0077    | -0,000015        | 0,000000000225         |



Itt az átmérők átlaga =  $0,007715m$  (ez lesz a  $\bar{d}$ ). Valamint  $\Delta d_i = d_i - \bar{d}$ . Az átlag empirikus szórása a következő módon adódik:



7.4.: a 11-es minta

$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\Delta d_i)^2}{4 \cdot 3}} = 0,000006454m$  ami nagyobb a leolvasási hibánál, ezért a továbbiakban ezt kell használni:

$$d = (0,007715 \pm 0,000006)m$$

Az átmérőből így a sugár:

$$r = (0,003858 \pm 0,000003)m$$

A keresztmetszetre adódó hiba:

$$\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta r}{r} = 0,001555209$$

$A = r^2 \pi = 4,675998028 \cdot 10^{-5} m^2$  és felhasználva az előző képletet:

$$\Delta A = 7,272154217 \cdot 10^{-8}$$

Így végül:

$$A = (0,00004676 \pm 0,00000007) m^2$$

A szuszeptibilitás kiszámításához a levegő szuszeptibilitása  $\kappa_0 = 3,77 \cdot 10^{-7}$ , míg a vákuum mágneses permeabilitása  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{2\mu_0 m}{A} = 2,133886715 \cdot 10^{-5}$$

Ehhez a hiba:

$$\frac{\Delta \kappa}{\kappa} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta A}{A} = 5,128205128 \cdot 10^{-3} + 0,001555209 = 6,683414128 \cdot 10^{-3}$$

Amiből végül a szuszeptibilitás:

$$\kappa = 2,133886715 \cdot 10^{-5} \pm 1,426164862 \cdot 10^{-7}$$

A megfelelő tizedes jegyekre redukálva:

$$\kappa = 0,0000213 \pm 0,0000001$$