

**II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola**

**Barkáts Jenő**

**A fizika és geofizika alapjai  
(mérési gyakorlatok)**

Beregszász, 2004

A kiadvány megjelenését a  
Magyar Köztársaság Oktatási Minisztériuma  
támogatta

Kiadja a Kárpátaljai Magyar Pedagógusszövetség  
Tankönyv- és Taneszköztanácsa

A kiadásért felel:  
*dr. Orosz Ildikó*

Felelős szerkesztő:  
*Gönczy Sándor*

© *Barkáts Jenő, 2004*

Надруковано:  
СП “ПоліПрінт” м. Ужгород,  
вул. Тургенєва, 2.

## TARTALOM

Előszó .....	4
Szcintillációk megfigyelése szcintariszkóp segítségével .....	5
$\alpha$ -részecskék nyomainak megfigyelése Wilson-féle ködkamrában ...	7
Kristályok növekedésének megfigyelése.....	11
Kristályok növekedési sebességének megállapítása.....	14
Kristályok növesztése .....	16
A Boltzmann-állandó megállapítása.....	19
A levegőmolekulák sebessége négyzetes középértékének megállapítása .....	22
Fémek moláris hőkapacitásának összehasonlítása .....	25
Rugalmassági modulus megállapítása .....	29
A fémek keménységének megállapítása .....	32
A testek tehetetlenségi nyomatékának vizsgálata.....	36
Homok belső súrlódásának vizsgálata.....	38
A Föld mágneses tere vízszintes összetevőjének meghatározása....	46
Ferritek Curie-pontjának megállapítása .....	51

## **Előszó**

A füzet a Fizika és geofizika alapjai c. tantárgy mérési gyakorlatainak leírását tartalmazza. Eredetileg módszertani segédletként készült a Kárpátaljai Magyar Tanárképző Főiskola földrajzszakos hallgatói számára. Megszerkesztésének elsődleges célja az volt, hogy a gyakorlatok megvalósulása esetén a hallgatók elképzelést kapjanak a fizikai mérésekről, a tanult fizikai állandók stb. értéke megállapításának módjáról, s emellett bővítsék és mélyítsék az előadásokon megszerzett elméleti tudásukat. Összeállításánál igyekeztem tekintettel lenni arra, hogy a hallgatók nagy részének az iskolában nem nyílt lehetősége laboratóriumi munkák, gyakorlatok elvégzésére, a megfelelő készségeket, ismereteket a főiskolai tanulás folyamán kell pótolniuk, megszerezniük.

*A szerkesztő*

## 1. sz. gyakorlati munka

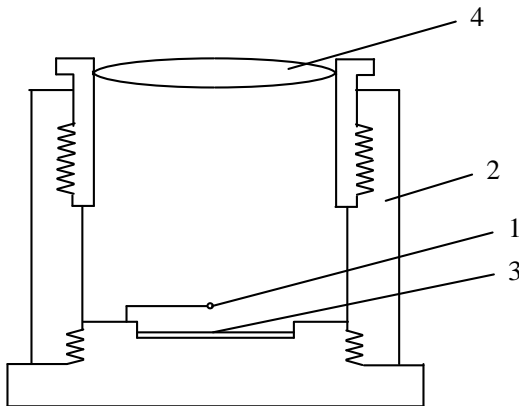
### Szcintillációk megfigyelése szcintariszkóp segítségével

*Készülékek és anyagok:* szcintariszkóp.

#### A mérés elmélete:

Az egyes részecskék regisztrálásának egyszerű módja a szcintillációk megfigyelése. A szcintilláció – más szóval radiolumineszcencia – igen rövid ideig ( $10^{-9}$ – $10^{-4}$  másodpercig) tartó fényfelvillanás, amely egyes anyagokon (úgynevezett foszforokon), nevezetesen cinkszulfidon, gyémánton, antracénon, nátriumjodid, céziumjodid, kalciumjodid stb. kristályokon gyorsan mozgó részecskék becsapódása hatására jön létre. A jelenséget W. Crookes (1903) elgondolása alapján részecskék számlálására alkalmazták.

A szcintillációk megfigyelésére alkalmas legegyszerűbb műszer a szcintariszkóp. Az 1.1. ábrán a szcintariszkóp vázlatos rajza látható. Leglényegesebb alkatrésze egy fluoreszkáló ernyő, amelyen a részecskék felvillanásokat okoznak, melyek egy nagyítóüvegen át szemmel láthatók, megszámlálhatók. Egészen 1947-ig ezt a műszert részecskék (elsősorban  $\alpha$ -részecskék) számlálására használták, azóta azonban a szcintilláló ernyőt egy fotoelektron-sokszorozóval építik össze, amely a fényimpulzust áramimpulzussá alakítja át. A munkánk céljára azonban kiválóan megfelelő egyszerű műszer.



1.1. ábra. A szcintariszkóp

A megfigyelés a következő módon zajlik:

Egy tű (1) hegyén  $\alpha$ -részecske-forrást helyeznek el. Erre kiválóan alkalmas a radioaktív plutónium vagy rádium parányi mennyisége. A tűt (1) a szcintariszkóp csövébe (2) helyezik, és a cinkszulfidos réteggel borított ernyő (3) fölött rögzítik. A cső (2) végére egy nagyítóüveget csavarnak.

Az emberi szem annyira érzékeny a fényre, hogy bizonyos körülmények között akár egy foton megfigyelésére is képes. Ehhez azonban hosszabb teljes sötétben való tartózkodás szükséges. A szcintariszkóppal végzendő munkához 10–15 perc sötétben való tartózkodás is elegendő. Ezután az emberi szem egyetlen  $\alpha$ -részecske által okozott fényfelvillanást is képes meglátni, vagyis észleli egy héliumatommag beleütközését a fluoreszkáló ernyőbe.

A munka menete:

1. Ismerkedjen meg a szcintariszkóp szerkezetével!
2. 10–15 perc sötétben való tartózkodás után figyelje meg az  $\alpha$ -részecskék által okozott szcintillációkat!

**Ellenőrző kérdések:**

1. Milyen kísérleti tény szolgált alapul az Avogadro-tétel megfogalmazására?
2. Miért vezetik be az anyagmennyiség fogalmát?
3. Magyarázza meg az Avogadro-féle szám megállapításának radioaktív bomláson alapuló módját!

## 2. sz. gyakorlati munka

### **$\alpha$ -részecskék nyomainak megfigyelése Wilson-féle ködkamrában**

*Készülékek és anyagok:* Wilson-féle ködkamra, asztali lámpa, acetón, szesz, víz, pipetta.

#### A mérés elmélete:

A folyadék nyílt felszíne fölött mindig telített gőz található. A telített gőz sűrűsége akkora, hogy a folyadék felszínéről másodpercenként elpárolgó molekulák száma egyenlő a gőzből a folyadékra lecsapódó molekulák számával. Ha növeljük a gőz nyomását, ez az egyensúly felborul, a gőzből a folyadékra lecsapódó molekulák száma meghaladja a folyadék felszínéről elpárolgó molekulák számát. Ez a folyamat addig tart, míg ki nem alakul az egyensúlyi állapot, vagyis addig, amíg a nyomás el nem éri a telített gőz nyomásának értékét. Ha egy kicsit megnöveljük a gőz térfogatát, a párolgás és kondenzáció közötti egyensúly a másik irányba borul fel, de gyorsan helyreáll a folyadék egy részének elpárolgása által.

Az adott magyarázatból az is következik, hogy a telített gőz nyomásának térfogatától független állandó értéken való fenntartásának lényeges feltétele a szabad folyadékfelület jelenléte az adott térfogatban. Ha az adott térfogatban nincs folyadék, a gőz akkor is légnemű állapotban maradhat, ha a nyomása többszörösen nagyobb a folyadék fölötti telített gőz nyomásától. Az elméleti nehézségeket nem a gőz ilyen állapotban való létezése jelenti, hanem a kondenzáció kezdetének magyarázata.

A telített gőz  $p_r$  nyomása egy csepp fölött annál nagyobb, minél kisebb a csepp  $r$  sugara. A telített gőz a sík folyadékfelület fölött éri el a  $p_\infty$  minimális értéket. Rendszerint ezt az értéket közlik a táblázatok. A telített vízgőz nyomása és csepp sugara közötti összefüggést szemlélteti a 2.1. táblázat.

2.1. táblázat

A telített vízgőz nyomása és csepp sugara közötti kapcsolat						
$r, \text{ m}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$
$p_r/p_\infty$	1,001	1,01	1,02	3,0	9,0	235

A táblázatban közölt értékekből az következik, hogy a  $10^{-8}$ -m-től nagyobb cseppek fölött a telített gőz nyomása majdnem ugyanolyan, mint a sík vízfelület fölött, vagyis a  $p_r/p_\infty$  értéke kis eltéréssel 1-gyel egyenlő. A vízcsepp sugarának  $10^{-8}$  m érték alá való csökkenésével a telített gőz nyomása gyorsan növekszik. Pl. a sík felület fölötti telített vízgőz az  $5 \cdot 10^{-10}$  m sugarú csepp fölött telítetlen lesz, és az ilyen csepp gyorsan elpárolog. Ahhoz, hogy a csepp ne párologjon el, a gőz nyomása 9-szer nagyobb kell hogy legyen, mint a sík vízfelület fölötti.

Az olyan gőzt, amely nagyobb nyomáson van, mint a sík folyadékfelület fölötti, túltelítettnek nevezzük. A minimális méretű cseppek esetén ( $2 \cdot 10^{-10}$  m), melyek néhány molekulából állnak, a túltelítettség mértéke eléri a 200-at. A  $p_r/p_\infty$  értéke a kondenzáció megkezdéséhez szükséges túltelítettséget jellemzi. Ez azt is jelenti, hogy a nagyon tiszta gőzökben a kondenzáció csak a túltelítettség nagyon magas szintjénél kezdődhet el.

A telített gőz nyomása és a folyadékfelszín görbülete közötti kapcsolat azzal magyarázható, hogy a csepp sugarának csökkenésével csökken azoknak a szomszédos molekuláknak a száma, melyek együtthatásban vannak a csepp felszínén levő molekulával. Ennek következtében csökkennek azok az erők, amelyek a folyadékban tartják. Ezért a csepp felszínéről – adott hőmérsékleten – percenként több molekula szabadul el, mint a sík folyadékfelület ugyanakkora felszínéről.

Normális légköri körülmények között a ködképződés már a túltelítettség nagyon kis mértékénél (1,001–1,12) is elkezdődik. Ez azzal magyarázható, hogy a levegőben  $10^{-6}$  –  $10^{-8}$  m-nyi porszemek vannak. Kis túltelítettségénél ezek felszínén kezdődik el a vízgőz kondenzációja.

A portól alaposan megtisztított levegőben a ködképződés 4–8-szoros túltelítettségénél kezdődik. Az elmélet szerint a túltelítettség



ilyen értékénél csak akkor indulhat meg a kondenzáció, ha a gőzben  $(5-8) \cdot 10^{-10}$  m-nél nagyobb cseppek vannak.

A jelenség magyarázata a következő: a portól megtisztított levegőben a földkéregben és levegőben levő radioaktív elemek sugárzása, valamint a kozmikus sugárzás következtében keletkezett ionok szolgáltatják a kondenzációs magokat. Az ionból úgy lesz kondenzációs mag, hogy magához vonzza a vízgőz elektromosan semleges molekuláit, hasonlóan ahhoz, ahogy a töltött üvegpálcika vonzza a könnyű, elektromosan semleges papírdarabkákat.

Az ion azon a képességét, hogy kondenzációs mag legyen, egy egyszerű műszerben, a Wilson-féle ködkamrában ionizáló részecskék regisztrálására alkalmazzák. A Wilson-féle ködkamra rendszerint egy gázzal és telített gőzzel telt, üvegfedővel ellátott henger.

A ködkamrát gyakran levegővel és víz meg szesz telített gőzével töltik meg. A levegőt és a gőzt a betöltés előtt alaposan megtisztítják a portól.

A ködkamrába olyan anyagot helyeznek, amely gyors, töltött részecskéket, pl.  $\alpha$ -részecskéket, bocsát ki. A töltött részecskék a gáz elektromosan semleges molekuláival ütközve „letépi” azok elektronjait. A gyorsan mozgó töltött részecske pályája mentén pozitívan és negatívan töltött ionok láncá marad. Ha ilyenkor a ködkamrát megtöltő gáz térfogatát hirtelen megnöveljük, a tágulás gyakorlatilag adiabatikusan fog történni, vagyis a tágulási munka a gáz belső energiájának felhasználásával fog történni. Ennek következtében csökken a gáz hőmérséklete, és a víz-, szeszgőz túltelítetté válik. 25-27 %-os adiabatikus tágulásnál a túltelítettség eléri a 4–8-szoros szintet, és az ionokon elkezdődik a kondenzáció. A gyorsan mozgó töltött részecske pályája ködcsík alakjában szabad szemmel is láthatóvá válik, de le is fényképezhető. A pálya adataiból viszont az ionizáló részecskék több tulajdonsága is kiszámítható: töltésük, tömegük, sebességük.

Gyakorlatunkban a ködkamrát levegő, telített víz- és acetongőzzel töltjük meg. A kamrába  $\alpha$ -részecskéket kibocsátó anyagot helyezünk. Az adiabatikus tágulás megvalósítására egy gumikörtét használunk, melyet előbb lassan összenyomunk, aztán hirtelen elengedünk.

### A munka menete:

1. Vigyen egy pipettával a körtébe 3–4 csepp 25% acetontól, 60% szeszből és 15% vízből készített oldatot! Néhányszor nyomja össze és engedje el a körtét, hogy a fölös folyadék elpárologjon belőle!
2. Csatolja a körtére a hajlékony csövet, és néhányszor lassan nyomja össze a körtét, hogy a kamra megteljen a telített gőzök keverékével!
3. Helyezze a kamrát sötét alátétre, és felülről világítsa meg lámpával!
4. Nyomja össze lassan a körtét, aztán hirtelen engedje el! Néhányszor ismétlje meg ezt a műveletet! Figyelje meg a ködcsíkok megjelenését! Ezek az  $\alpha$ -részecskék nyomai.
5. Ha a nyomok gyengék vagy nem is láthatók, a szorító segítségével változtassa meg a hajlékony cső nyílását! Ezzel megváltozik a gázok adiabatikus tágulásának sebessége, lehűlésük és túltelítettségük mértéke a ködkamrában.

### **Ellenőrző kérdések:**

1. Milyen körülmények között létezhet túltelített gőz?
2. Miért függ a telített vízgőz nyomása a csepp sugarától?
3. Mi a különbség a gőz és gáz között?
4. Mi az  $\alpha$ -részecske?
5. Milyen más ionizáló sugárzást ismersz?
6. Mi a Földön található radioaktív anyagok eredete?
7. Mi a kozmikus sugárzás?
8. Mi a *van Allen-övezet*?

### 3. sz. gyakorlati munka

#### Kristályok növekedésének megfigyelése

*Készülékek és anyagok:* mikroszkóp, tárgylemez, üvegbot, ammónium-klorid, ammónium-oxalát, konyhasó, hidrokinon telített oldata.

#### A mérés elmélete:

Oldatnak nevezünk olyan, rendszerint folyékony elegyet, amelynek egyik alkotórésze (az úgynevezett oldószer) a másikhoz (oldott anyag) képest túlnyomó mennyiségben van. A két alkotórész mennyiségi viszonyát a koncentrációval szoktuk jellemezni. Az adott körülmények között maximális koncentrációjú oldatot telített oldatnak, koncentrációját *oldhatóságnak* vagy *oldékonyságnak* nevezik. Ezt általában 100 gramm oldószerben maximálisan feloldható anyag grammban kifejezett mennyiségével számszerűsítik. Ha az oldott anyag ennél kisebb koncentrációban van jelen, az oldat telítetlen, ha a telítettnél nagyobb koncentrációjú oldatot sikerül előállítani (pl. oldószer elvonásával), az oldat túltelített. Az ilyen oldat metastabilis (csak látszólag egyensúlyi) állapotban van, és rendszerint rövid időn belül átmegy telített állapotba a fölöslegben levő oldott anyag kiválása révén.

Sok anyag számára nagyon jó oldószer a víz. Az 3.1. táblázatban néhány anyag különböző hőmérsékleten igaz, vízben való oldhatóságát láthatják.

3.1. táblázat.

#### **100 g vízben feloldható anyagmennyiség grammban kifejezve**

Anyag	Hőmérséklet °C		
	0	18	100
Ammónium-klorid	30	33	75
Cink-klorid	210	360	610
Konyhasó	35	36,0	39,6
Kálium-nitrát	13	29	230
Lítium-karbonát	1,65	1,3	0,8

Sok anyag oldhatósága nő a hőmérséklet növekedésével. Némely anyagnál, például a cink-klorid, kálium-klorid, ez a növekedés jelentős. Néha jelentéktelen, mint például a konyhasó esetében. Csak nagyon kevés anyag oldhatósága csökken a hőmérséklet növekedésével. Ilyen anyag a lítium-karbonát.

Ha egy olyan anyag telített oldatát, melynek oldhatósága nő a hőmérséklet növekedésével, lehütünk, túltelítetté válik. Az oldott anyag főlegben levő része kristályok alakjában kicsapódik.

A munka célja az, hogy különböző anyagok túltelített vizes oldatában megfigyeljük a kristályok növekedését. Ehhez a tárgylemezre a telített oldatból egy kis mennyiséget cseppentünk, és a mikroszkóp objektívje alá helyezzük. A víz elpárolgása révén az oldat túltelítetté válik, és elkezdődik a főlegben levő oldott anyag kristályosodása. Ez a folyamat annyira intenzív, hogy néhány percen belül megfigyelhető a kristályok növekedése. A kristályosodás folyamata mikroszkóppal már 80-szoros nagyításnál is jól megfigyelhető. Ehhez 8-szoros nagyítással rendelkező objektívet és 10-szeres nagyítással rendelkező okulárt használunk.

#### A munka menete:

1. Helyezze a mikroszkóp tárgyasztalára a tárgylemezt, szabályozza a megvilágítást, és a mikrometrikus csavar elforgatásával állítsa be a tárgylemez felületének éles képét! Az éles kép beállítását megkönnyítheti, ha a tárgylemezre ceruzával vagy filctollal egy vonalat húz. Az élesség beállításánál kerülje az objektív és a tárgylemez érintkezését! Ez az objektív megsérüléséhez vezethet.
2. Vegye ki a tárgylemezt a szorítók alól, és az üvegbot segítségével helyezzen rá egy csepp telített oldatot!
3. Helyezze a tárgylemezt a mikroszkóp objektívje alá úgy, hogy az okulárban látható legyen a csepp széle! Az első kristályok rendszerint itt, a csepp szélén képződnek.
4. Figyelje meg a kristályok keletkezésének és növekedésének folyamatát! Rajzolja le a látott képet! A megfigyelés eredményeit rendezze táblázatba!
5. Végezze el ugyanezt más anyagok vizes oldatával!

### **Ellenőrző kérdések:**

1. Mit nevezünk telített oldatnak?
2. Hogyan készíthetünk túltelített oldatot oldott anyag hozzáadása nélkül?
3. Mikor alakulnak ki dendrit alakú kristályok?

#### 4. sz. gyakorlati munka

### **Kristályok növekedési sebességének megállapítása**

*Készülékek és anyagok:* mikroszkóp, óra, telített sóoldat vagy cink-klorid telített oldata, tárgyüveg, milliméterpapír, üvegrúd.

#### A mérés elmélete:

Ha a tárgyüvegre egy kis csepp telített sóoldatot helyezünk, kis idő múlva elkezdődik a sókristályok intenzív képződése és növekedése. A növekedés folyamatának jellemzője, például, a kristály éle növekedésének és a növekedés idejének aránya lehet.

#### A munka menete:

1. Állítsa a mikroszkópba a  $10\times$  okulárt és a  $8\times$  objektívet, és készítse fel a műszert a kristálynövekedés megfigyelésére! Ehhez kapjon éles képet a tárgyüveg felületéről!
2. Vigyen egy kis csepp telített sóoldatot a tárgyüvegre, és figyelje a kristályok képződését és növekedését!
3. Válasszon ki egy sókristályt, és a mikroszkóp okulárját forgassa el úgy, hogy mérőskálája párhuzamosan helyezkedjen el a kristály egyik élével! Várjon, míg a kristály éle 1–2 mm hosszú lesz, és indítsa el stopperórát!
4. Jegyezze fel, mekkora idő alatt „nőtt” 1 millimétert a sókristály éle! Ugyanígy állapítsa meg, mennyi ideig nő a sókristály 2, 3, 4 millimétert!
5. Számítsa ki a kristály éle növekedésének abszolút értékét!
6. Számítsa ki, hány atomréteg „épül” egymásra a sókristály növekedésének 1 másodperce alatt, ha a nátrium és klórionok átmérője kb.  $3\cdot 10^{-10}$  m!
7. A kísérletet ismételje meg más kristályokon is, és végezze el a felsorolt számításokat!

### **Ellenőrző kérdések:**

4. Miben különböznek a kristályos és az amorf testek?
5. Mi az ásvány; mi a kőzet? Mondjon néhány példát!
6. Soroljon fel néhány, a természetben előforduló kristályt!
7. Mi a közelrend; mi a távolrend?
8. Mivel magyarázható a kristályos testek szabályos alakja?
9. Mit nevezünk a kristályrácsnak?
10. Mit nevezünk a kristály elemi sejtjének?
11. Miért csökken idővel a sókristály élének növekedési sebessége?
12. Miért növekszik a telített sóoldatban egyszerre több sókristály?
13. Mit nevezünk telített oldatnak?
14. Hogyan csináljunk a telítetlen oldatból túltelítettet?
15. Hogyan képződnek a kristálykezdemények?
16. Miért növekednek különböző sebességgel a kristály különböző lapjai?
17. Miért igényel nagyobb túltelítettséget az újabb rétegek növekedése?
18. Milyen defektustípusokat ismer?
19. Mi a spirális diszlokáció szerepe a kristály növekedésében?

## 5. sz. gyakorlati munka

### **Kristályok növesztése**

*Készülékek és anyagok:* timsópor, hőmérő, desztillált víz, főzőpoharak, fedett lapú rezsó, tölcsér, üvegbot, vatta.

#### A mérés elmélete:

A kristályok túltelített oldatból való növesztésének két egyszerű módja van: az egyik a telített oldat lehűtésével, a másik a telített oldat párologtatásával történik. Mind a két módszernél az első lépés a telített oldat elkészítése. Oktatási céllal a legegyszerűbb a timsó kristályainak növesztése.

Minden anyag oldhatósága függ a hőmérséklettől. A hőmérséklet növekedésével általában nő, csökkenésével csökken az oldhatóság. Az 5.1. ábra a timsó oldhatóságának hőmérséklettel való változását ábrázolja. Mint az a grafikonból látható, a telített oldat 40°C-ról 20°C-ra való lehűtésénél az oldatban minden 100 g vízre 15 g fölösleges oldott anyag lesz. Kristályosodási központok nélkül ez az anyag az oldatban marad, vagyis az oldat túltelített lesz.

A kristályosodási központok megjelenésével az oldott anyag fölöslege kicsapódik, és minden adott hőmérsékletnél az oldatban annyi oldott anyag marad, amennyi az adott hőmérsékletre jellemző oldhatóságnak felel meg. A fölösleg kristályok alakjában válik ki, melyek száma annál nagyobb, minél több a kristályosodási központ. Kristályosodási központ lehet egy porszem, az oldat tárolására szolgáló edény falán található szennyeződés, az oldott anyag apró kristályai. Ha a kicsapódott kristályokat egy napig növekedni hagyjuk, találhatunk közöttük tiszta, tökéletes formájú példányokat is. Ezeket kristálykezdeményként használhatjuk.

A nagyméretű kristály növesztéséhez a filtrált oldatba egy – előzetesen szesszel kezelt vékony szátra (hajszálra) rögzített – kristálykezdeményt helyezünk.

Lehetséges a kristálynövesztés kristálykezdemény nélkül is. Ehhez az előzetesen szesszel kezelt vékony szálat az oldatba lógatjuk,

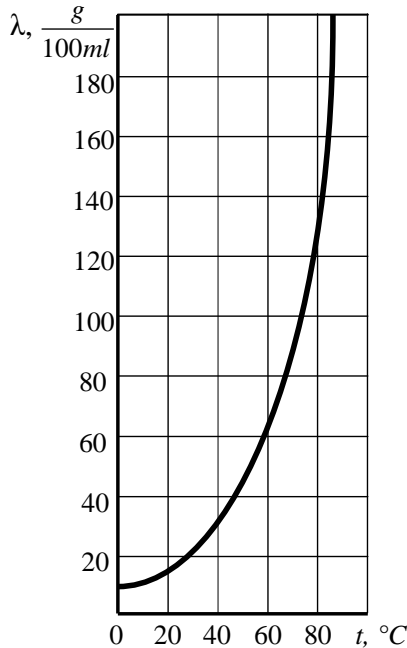


úgy, hogy a vége szabadon lógjon. A szál végén elkezdődhet a kristály növekedése.

Ha a növesztésre egy nagy kristálykezdeményt használunk, jobb, ha felmelegített oldatba helyezjük. A szobahőmérsékleten telített oldat 3–5°C-kal magasabb hőmérsékletnél telítetlen lesz. A kristálykezdemény oldódni kezd benne, és elveszti a felső, szennyezett és sérült rétegeit. Ez áttetszőbbé teszi a kapott kristályt. A lehűlés után, szobahőmérsékleten az oldat ismét telített lesz, és a kristály oldódása megszűnik. Ha az oldatot tartalmazó főzőpoharat úgy takarjuk le, hogy az oldatból elpárologhasson a víz, hamarosan túltelített lesz az oldat, és elkezdődik a kristály növekedése. A kristály növekedése alatt az oldatot tartalmazó főzőpoharat legjobb egy száraz, meleg helyen tárolni, ahol a hőmérséklet egész nap állandó marad. Nagyméretű kristály növesztéséhez néhány nap, de akár néhány hét is szükséges.

#### A munka menete:

1. Alaposan mossa ki a főzőpoharat és a tölcsért!
2. Öntsön a pohárba 100 g desztillált vizet, és melegítse 30°C-ra! Az oldhatósági görbe felhasználásával számítsa ki a telített oldat elkészítéséhez szükséges timsómmennyiséget! Készítse el a telített oldatot, és vattaszűrőn keresztül öntse egy tiszta főzőpohárba! Takarja le a poharat fedővel vagy egy papírlappal! Várjon, míg szobahőmérsékletre hűl az oldat! Nyissa ki a poharat! Kis idő múlva elkezdődik az első kristályok kicsapódása.
3. Egy nap múlva vattaszűrőn keresztül öntse le az oldatot egy tisztára mosott és gőzzel kezelt főzőpohárba! A főzőpohár alján maradt kristályok közül válassza ki legszabályosabb alakút! Rögzítse a kristályt egy hajszálhoz, lógassa bele az oldatba! A hajszálat előzőleg törölje meg szesze mártott vattával! Lehetséges olyan megoldás is, hogy a kristályt egyszerűen a főzőpohár aljára helyezjük, még mielőtt beleöntենék az oldatot. A főzőpoharat rakja meleg, tiszta helyre! Néhány napig ne bántsa a kristályt, ne mozgassa a poharat! A növesztés végén egy csipesszel vegye ki a kristályt az oldatból, óvatosan szárítsa le egy papírszalvétával, és rakja egy dobozba! Kézze ne nyúljon a kristályhoz, mert könnyen elveszti áttetszőségét.



5.1. ábra. A timsó oldhatóságának hőmérséklettel való változása

A kísérletet konyhasó vagy cukor felhasználásával otthon is megcsinálhatja.

**Ellenőrző kérdések:**

1. Hogyan képződnek a kristálykezdemények?
2. Miért igényel nagyobb túltelítettséget egy új réteg képződése, mint egy befejezetlen réteg további növekedése?
3. Mit nevezünk kristálydefektusoknak?
4. Magyarázza meg a csavaros diszlokáció szerepét a kristályok növekedésében!
5. Mivel magyarázható a kristály különböző éleinek más-más növekedési sebessége?
6. Hogyan készíthetünk túltelített oldatot oldott anyag hozzáadása nélkül?

## 6. sz. gyakorlati munka

### A Boltzmann-állandó megállapítása

*Készülékek és anyagok:* üvegedény, vizes manométer, fecskendő, éter, hőmérő.

#### A mérés elmélete:

A kinetikus gázelmélet szerint gáz  $p$  nyomása,  $T$  hőmérséklete és a molekulák  $n$  koncentrációja a következő összefüggés áll fenn:

$$p = nkT, \quad (6.1)$$

ahol:

$k$  a Boltzmann-féle állandó.

Az (6.1) képletből az következik, hogy a Boltzmann-féle állandó megállapításához elegendő megmérni a gáz  $p$  nyomását,  $T$  hőmérsékletét és a molekulák  $n$  koncentrációját:

$$k = \frac{P}{nT}. \quad (6.2)$$

A gázmolekulák koncentrációja könnyen számítható ha ismerjük  $M$  tömegét,  $V$  térfogatát, a gáz  $\mu$  mól-tömegét. Elosztva a gáz  $M$  tömegét a gáz  $\mu$  mól-tömegével, megkapjuk az üvegedényben levő gáz anyagmennyiségét molban kifejezve. A gáz minden molja azonos mennyiségű molekulát tartalmaz, mely egyenlő az  $N_A$  Avogadro-számmal. Ezért az adott  $V$  térfogatban  $\frac{M}{\mu} N_A$  gázmolekula van. Innen a gázmolekulák koncentrációja

$$n = \frac{MN_A}{\mu V}. \quad (6.3)$$

Ezt behelyesítve a (6.2) képletbe megkapjuk Boltzmann-féle állandó kísérleti meghatározásához szükséges munkaképletet:

$$k = \frac{p\mu V}{MN_A T}. \quad (6.4)$$

A gáz tömegének pontos meghatározása tűnik problematikusnak, de ez sem jelenthet nehézséget, de a kinetikus gázelmélet alapjait ismerve ez sem jelenthet nehézséget.

A méréshez használt berendezés igen egyszerű. Egy ismert  $V$  térfogatú gumidugóval hermetikusan lezárt üvegedényből áll, amit gumitömlővel egy nyitott végű vizes manométerrel kötünk össze. A kísérlet elején az üvegedényben a levegő légköri nyomáson van és a vizes manométer mindkét ágában a vízszint azonos. A fecskendőbe étert szívunk, és a gumidugón keresztül az üvegedénybe fecskendezük. Az éter gyorsan elpárolog. Az étergőz nyomását a manométer nyitott ágában levő  $h$  vízoszlop nyomása egyenlíti ki. A nyomást azután olvassuk le, amikor a nyomás már nem változik. Az étergőz ilyenkor szobahőmérsékleten van.

Behelyettesítve a mérés eredményeit a (6.4) képletbe kiszámíthatjuk a Boltzmann-féle állandót.

#### A munka menete:

1. Szívjon a fecskendőbe 2–3 cm<sup>3</sup> étert.
2. A gumidugón keresztül óvatosan fecskendezze az étert az üvegedénybe.
3. 1–2 perc múlva mérje olvassa le az étergőz nyomását, a kapott értéket fejezze ki pascalban (1 cm vízoszlop = 10<sup>3</sup> Pa).
4. Mérje meg a szobában a hőmérsékletet, az eredményt fejezze ki Kelvin-fokban.
5. Számítsa ki a befecskendezett éter tömegét (A folyékony éter sűrűsége  $\rho = 716 \text{ kg/m}^3$ ).
6. Számításba véve, hogy az üvegedény térfogatát előre megmérték, valamint az éter moltömegének ismeretében ( $\mu = 74 \text{ kg/kmol}$ ), helyettesítse a mérési eredményeket a (6.4) képletbe és számítsa ki a Boltzmann-féle állandót.

Számítsa ki a mérés hibáját.

Az eredményeket rendezze táblázatba.

6.1. táblázat

Az étergőz parciális nyomása $p$ , Pa	Az üvegedény térfogata $V$ , $m^3$	Az éter moltömege $\mu$ , kg/kmol	Az étergőz tömege $M$ , kg	Az étergőz hőmérséklete $T$ , K	Boltzmann- féle állandó $k$ , J/K

## 7. sz. gyakorlati munka

### A levegőmolekulák sebessége négyzetes középértékének megállapítása

*Készülékek és anyagok:* üveggömb, technikai mérleg, szivattyú, mérőhenger, vizeskád, barométer.

#### A mérés elmélete:

A molekulák sebességének négyzetes középértékét a következő képlet szerint számíthatjuk ki:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad (7.1)$$

ahol:

$R$  – az univerzális gázállandó,

$T$  – az abszolút hőmérséklet,

$\mu$  – a gáz mol tömege.

Mutassuk meg, hogy a gázmolekulák sebességének négyzetes középértékét anélkül is meg lehet állapítani, hogy tudnánk a  $\mu$  mol tömegét és  $T$  hőmérsékletét! Ehhez fejezzük ki a gáz állapotegyenletéből az  $R$  állandót:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad R = \frac{pV\mu}{mT}. \quad (7.2)$$

A kapott kifejezést a sebesség négyzetes középértékének képletébe helyettesítve kapjuk:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3pV\mu T}{mT\mu}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}, \quad (7.3)$$

ahol:

$m$  – a gáz tömege;

$V$  – a gáz térfogata;

$p$  – a gáz nyomása.

A kapott képlet szerint a gázmolekulák sebessége négyzetes középértékének megállapításához elegendő a gáz  $m$  tömegének,  $V$  térfogatának és  $p$  nyomásának ismerete. Mind a három paraméter egyszerű műszerekkel mérhető.

A gyakorlati munkát egy, a levegő tömegének megállapítására szolgáló üveggömbbel végezzük. A kísérlet elején a gömb nyitott, és benne a levegő légköri nyomáson van. A gömböt a levegővel együtt megmérjük, aztán kiszivattyúzzuk belőle a levegő nagyobb részét, és újra megmérjük. A két mérési eredmény különbsége adja a kiszivattyúzott levegő tömegét. A térfogatát úgy állapítjuk meg, hogy hagyjuk, hogy a hiányzó levegő helyét víz foglalja el. Ehhez a lezárt végű üveggömb nyílását vízbe helyezük és kinyitjuk. A kiszivattyúzott levegő helyét elfoglalja a víz, melynek térfogatát egy mérőhenger segítségével állapítjuk meg.

A kapott értékeket behelyettesítjük a (7.3) képletbe, és kiszámítjuk a levegőmolekulák sebességének négyzetes középértékét.

#### A munka menete:

1. Állapítsa meg a  $p$  légnyomást barométer segítségével! A kapott értéket fejezze ki SI mértékegységben!
2. Mérje meg a légköri nyomáson levő levegővel telt üveggömb  $m_1$  tömegét!
3. Szivattyúzza ki a levegőt az üveggömbből! Zárja el a gömb végét szorítóval! Mérje meg az üveggömb  $m_2$  tömegét a levegő kiszivattyúzása után!
4. Számítsa ki a kiszivattyúzott levegő tömegét ( $m = m_1 - m_2$ )! Az eredményt kilogrammban fejezze ki!
5. Az üveggömböt lezáró gumicső végét helyezze vízbe, és oldja ki a szorítót! A víz elfoglalja a kiszivattyúzott levegő helyét. Mérőhenger segítségével mérje meg a hengerbe tódult víz térfogatát! Ezt fejezze ki köbméterben!
6. A kapott értékeket helyettesítse be a (7.3) képletbe, és számítsa ki a levegőmolekulák sebességének négyzetes középértékét!
7. A mérési eredményeket rendezze táblázatba!

7.1. táblázat

A levegő nyomása nyitott üveggömbben, $p$		A levegővel telt üveggömb tömege, $m_1$	Az üveggömb tömege a levegő kiszivattyúzása után, $m_2$	A kiszivattyúzott levegő tömege, $m = m_1 - m_2$	A levegő térfogata, $V$	A levegő-molekulák sebességének négyzetes középértéke, $\bar{v}$
Hgmm	Nm <sup>-2</sup>	Kg	kg	kg	m <sup>3</sup>	$\frac{m}{s}$

**Ellenőrző kérdések:**

1. A levegő több gáznak a keveréke. Egyenlő-e vagy nem az egy edényben levő különböző gázmolekulák sebességének négyzetes középértéke?
2. Jellemezze a vázolt módszer hibaforrásait!



## 8. sz. gyakorlati munka

### Fémek moláris hőkapacitásának összehasonlítása

*Készülékek és anyagok:* 50–100 g-os alumínium-, réz- és vastestek, kaloriméter, mérőhenger, hőmérő, vizesedény, fedett lapú rezsó, technikai mérleg.

#### A mérés elmélete:

A termodinamika első törvényének értelmében a rendszeren végzett vagy tőle elvezetett munkavégzés és a hőmennyiség kapcsolata:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A \quad (8.1)$$

ahol:

$\Delta Q$  – a rendszertől elvezetett hőmennyiség;

$\Delta U$  – a belső energia változása;

$\Delta A$  – a rendszeren végzett munka.

A szilárd testek hőtágulási együtthatójának kis értéke miatt elhanyagolhatjuk az állandó nyomáson történő melegítésüknél végzett munkát, ezért az állandó nyomáson  $C_p$  és állandó térfogaton  $C_v$  mért fajhőjük értéke azonos:  $c \approx c_p \approx c_v$ .

Mivel a szilárd test melegítésénél végzett tágulási munka  $\Delta A \approx 0$ , a belső energia változása egyenlő a testtel közölt hőmennyiséggel:

$$\Delta Q = \Delta U \quad (8.2)$$

A kinetikus gázelmélet szerint a tökéletes gáz hőmérséklete és molekulájának kinetikus energiája közt a kapcsolat:

$$\frac{1}{2} \mu \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT, \quad (8.3)$$

ahol:

$\overline{v^2}$  – a molekula közepes sebességnégyzete;

$\mu$  – a gázmolekula tömege;

$k$  – a Boltzmann-féle állandó.

Mivel a gázmolekula haladó mozgásának szempontjából a térnek nincsen kitüntetett iránya, a gázmolekula a tér három irányában egyenlő valószínűséggel mozoghat. Ilyenkor azt mondjuk, hogy a gázmolekulának három szabadságfoka van. A leírtakból az is következik, hogy a derékszögű koordinátarendszer egy-egy tengelyére a molekula közepes sebességnégyzete azonos vetületét kapjuk, vagyis egy-egy szabadságfokra  $\frac{1}{2}kT$  energia jut.

A kristályok atomjai rögzített helyzetben vannak a kristályrács csomópontjaiban és nem végezhetnek haladó mozgást. A rezgő mozgás az egyetlen, amire képesek. Mivel a rezgések a tér bármelyik irányába történhetnek, arra a következtetésre jutunk, hogy a szilárd test mindegyik atomja vagy molekulája három szabadságfokkal rendelkezik. Mivel szilárd testben a rezgések gerjedésénél nemcsak a kinetikus, de a potenciális energia is növekszik, egy rezgési szabadságfokra kétszer annyi energia jut, mint haladó mozgásnál, vagyis  $2 \cdot \frac{1}{2}kT = kT$ . Egy molekula teljes rezgési energiája  $3kT$ -val egyenlő.

Innen a szilárd test belső energiájának változása melegítéskor:

$$\Delta U = 3k\Delta TN, \quad (8.4)$$

ahol:

$\Delta T$  – a test hőmérséklet-változása;

$N$  – a testben levőmolekulák száma.

A szilárd test fajhője:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{\Delta U}{m\Delta T} = \frac{3k\Delta TN}{m\Delta T} = 3kn, \quad (8.5)$$

ahol:

$n$  – az atomok száma egységnyi tömegben.

1 kmol bármilyen szilárd test hőkapacitása:

$$C = c\mu = 3kn\mu = 3kN_A = 3R, \quad (8.6)$$

vagy

$$C = 3R = 3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}. \quad (8.7)$$

Ezt az állítást könnyen ellenőrizhetjük. Ehhez elég, ha megállapítjuk az  $m$  tömegű szilárd test által  $\Delta T$  hőmérséklet-intervallumon leadott  $\Delta Q$  hőmennyiséget.

#### A munka menete:

1. Mérje meg a kaloriméter, a vas-, a réz- valamint az alumíniumtest tömegét! A mérés eredményét írja táblázatba!
2. Eressze a testeket forró vízbe!
3. Öntsön a kaloriméterbe 100 g szobahőmérsékletű vizet! Mérje meg a víz és a kaloriméter kezdeti hőmérsékletét!
4. Engedje a kaloriméterbe a 100°C-ra melegített réztestet, és a miután helyreállt a termodinamikai egyensúly, mérje meg a víz  $\Theta$  hőmérsékletét!
5. Cserélje a vizet a kaloriméterben, és ismételje meg a mérést az alumínium- és a vastestekkel!
6. Számítsa ki, mekkora hőmennyiséget ad le mindegyik test a kaloriméternek és víznek a következő képlet szerint:

$$\Delta Q = (m_k c_k + m_v c_v)(\Theta - t_1), \quad (8.8)$$

ahol:

$m_k$  – a kaloriméter tömege;

$c_k$  – a kaloriméter fajhője;

$m_v$  – a kaloriméterben levő víz tömege;

$c_v$  – a víz fajhője;

$t_1$  és  $\Theta$  – a kaloriméter és a benne levő víz hőmérséklete a mérés elején és végén.

7. Számítsa ki a vas, a réz és az alumínium moláris hőkapacitását a

$$C = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \mu. \quad (8.9)$$

képlet szerint. Az eredményeket írja táblázatba!

8. Számítsa ki a mérés hibaértékét!

8.1. táblázat

Anyag	A test tömege $m$ , kg	A kaloriméter tömege $m_k$ , kg	A víz tömege $m_v$ , kg	A kaloriméter és a benne levő víz kezdeti hőmérséklete $t_1$ , K	Az egyensúlyi hőmérséklet $\theta$ , K	A test hőmérsékletének változása $\Delta T - \theta$ , K	A leadott hőmennyiség $\Delta Q$ , J	1 kmol anyag tömege $\mu$ , kg·kmol <sup>-1</sup>	Az anyag moláris hőkapacitása $C$ , J·K <sup>-1</sup> ·kmol <sup>-1</sup>
Vas									
Réz									
Alumínium									

**Ellenőrző kérdések:**

1. Fogalmazza meg az energia egyenlő megoszlásának törvényét!
2. Miért nagyobb a többatomos gázok fajhője, mint az egyatomos gázoké?
3. Mi az univerzális gázállandó fizikai értelme?
4. Miért tekinthető igaznak a  $c_p = c_v$  egyenlet a szilárd testek esetében?
5. Miért és hányszor nagyobb a szilárd test hőkapacitása, mint az egyatomos gázé?

## 9. sz. gyakorlati munka

### Rugalmassági modulus megállapítása

*Készülékek és anyagok:* 25–30 cm hosszú, 4–10 mm<sup>2</sup> keresztmetzetű gumi, állvány, vonalzó, rúdkörző.

#### A mérés elmélete:

A munka célja, hogy nyúlásnál megállapítsuk a gumi rugalmassági modulusát.

Egyensúlyi állapotban a rugalmasan deformált testben a fellépő erők együtthatója kompenzálja az összes testre ható erőket.

Ha rögzítjük az  $l_0$  hosszúságú és  $S$  keresztmetzetű rúd (húr, gumi stb.) egyik végét és a másikat  $F$  erővel nyújtjuk, az  $F$  erő hatására a rúd abszolút megnyúlása  $\Delta l$  lesz.

A kísérleti adatok szerint a  $\Delta l$  abszolút megnyúlás arányos az  $F$  erővel, a gumi eredeti hosszúságával, és fordítottan arányos a rúd keresztmetzetével:

$$\Delta l = \frac{l_0 \cdot F}{S}. \quad (9.1)$$

Az arányossági tényezőt  $\frac{1}{E}$ -vel jelöljük:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \cdot \frac{lF}{S}, \quad (9.2)$$

$E$  – a rugalmassági (Young-féle) modulus.

Mértékegysége  $[E] = \frac{N}{m^2}$ .

A húzóerő eloszlását a rúd teljes keresztmetzetén a  $\sigma = \frac{F}{S}$  húzófeszültség jellemzi, a rúd hosszúságától független alakváltozást

– az  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$  relatív megnyúlás. Így a megnyúlást jellemző összefüggés – a Hooke törvénye – a következő alakban írható fel:

$$\sigma = E\varepsilon . \quad (9.3)$$

A relatív megnyúlás tehát egyenesen arányos a húzófeszültséggel. Akkor az  $E$ -t:

$$E = \frac{Fl_0}{S \cdot \Delta l} . \quad (9.4)$$

A rugalmassági modulus kísérleti megállapításához meg kell mérni a (9.4) képlet jobb oldalán álló minden értéket.

Ehhez a mintadarabot az állványra kötjük. A végére súlyokat akasztunk. A mintadarab hosszát megmérjük az állványhoz rögzített vonalzóval.

#### A munka menete:

1. Rögzítse a mintadarab egyik végét az állványhoz! A szabadon lógó végére akasszon egy  $m_0 = 0,1$  kg tömegű súlyt, és mérje meg az  $l_0$  eredeti hosszát!
2. A rúdkörző segítségével mérje meg a mintadarab átmérőjét és számítsa ki a keresztmetszetét!
3. Aggasson a mintadarab végére 0,1 kg-os, 0,2 kg-os , 0,3 kg-os súlyokat, mérje meg annak  $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$  abszolút megnyúlását, és számítsa ki az  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  relatív megnyúlást!
4. A mérési eredmények felhasználásával számítsa ki a gumi rugalmassági modulusát és a mérés hibaértékét!
5. Az eredményeket rendezze táblázatba!

9.1. táblázat

S. sz.	$m$ , kg	$F$ , N	$l_0$ , m	$\Delta l$ , m	$d$ , m	$S$ , m <sup>2</sup>	$E$ , $\frac{N}{m^2}$
1.							
2.							
3.							

### **Ellenőrző kérdések:**

1. Mit nevezünk rugalmassági határnak?
2. Mit nevezünk roncsolási határnak?
3. Mit nevezünk rugalmassági határnak?
4. Mi a merevség?
5. Mi a rugalmassági fok?
6. Hogyan számítjuk ki a deformációs munkát?
7. Jellemezze a mechanikai hiszterézist!
8. Mi a kúszás?
9. Mi a rugalmassági modulus fizikai értelme?
10. Füg-g-e a rugalmassági modulus a mintadarab hosszától és keresztmetszetétől?

## 10. sz. laboratóriumi munka

### A fémek keménységének megállapítása

*Készülékek és anyagok:* acél-, réz-, alumíniumlemez, hidraulikus sajító, keretbe erősített acélgolyó, elektromos kemence vagy gázéggő, rúdkörző, csipesz, vízzel telt fémedény, harapófogó.

#### A mérés elmélete:

Az anyag kaparásnak, nyomásnak való ellenállása – keménységének jellemzője. Ezt a tulajdonságot használjuk fel az acél és alumínium keménységének megállapítására. Ha a  $D$  átmérőjű acélgolyót egy test felületébe nyomjuk, az annál nagyobb  $d$  átmérőjű mélyedést hagy a felszínén, minél kisebb a test anyagának keménysége és minél nagyobb a nyomóerő. A keménység mértékét az alábbi (10.1) egyenlet adja meg:

$$H_N = \frac{F}{S} \quad (10.1)$$

ahol:

$S$  — a fémgolyó lenyomatának felülete,

$F$  — az acélgolyóra ható erő.

A mélyedés területét a gömbszelet területének képletéből találjuk meg (10.2):

$$S = \pi Dh, \quad (10.2)$$

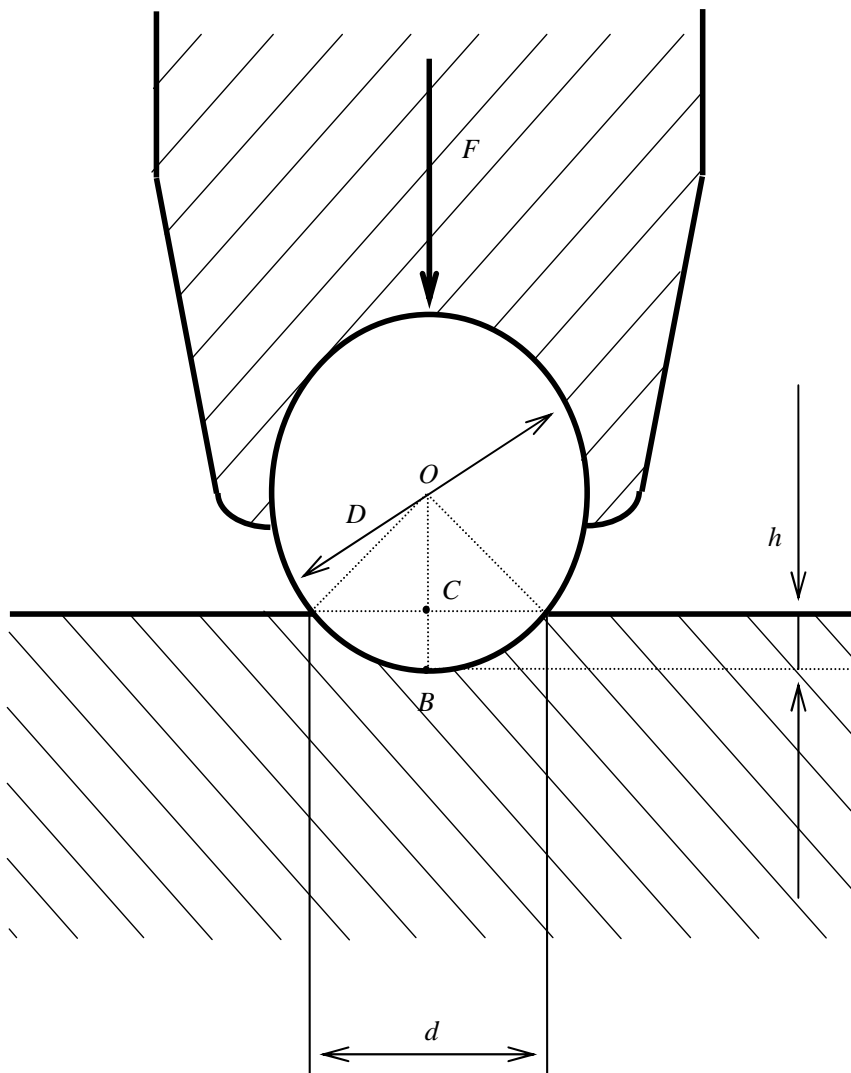
ahol:

$h$  — a lenyomat mélysége,

$D$  — az acélgolyó átmérője.

Mivel a golyó lenyomatának  $d$  átmérője jóval pontosabban mérhető meg, mint  $h$  mélysége, a (10.2) képletet át kell alakítanunk, hogy a  $h$ -t  $D$  és  $d$  segítségével fejezhessük ki.





10.1. ábra. A keretbe erősített acélgolyó a minta felületén keletkezett mélyedéssel

Ahogy a 10.1. ábrán látni

$$BC = BO - CO,$$

vagy

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2},$$

akkor

$$S = \frac{\pi D}{2} \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right). \quad (10.3)$$

Az acélgolyóra ható nyomóerőt a hidraulikus sajtó hengerében mért nyomás (ezt közvetlenül a sajtón elhelyezett manométerről olvasuk le) és a sajtó nagy hengere területének szorzatából kapjuk (ehhez rúdkörzővel megmérjük a sajtó nagy dugattyújának átmérőjét):

$$F = pS_s, \quad S_s = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (10.4)$$

### A munka menete:

1. Rúdkörző segítségével mérje meg a hidraulikus sajtó nagy hengerének átmérőjét  $D_s$ !
2. Helyezze a mintát a sajtó lemezére, az acélgolyót pedig a keretbe! Zárja el a sajtó áteresztő szelepét. A sajtókart mozgatva érje el a  $p = 5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  nyomást, és tartsa a mintát 10 másodpercig nyomás alatt!
3. Nyissa ki az áteresztő szelepet, vegye ki a mintát, és mérje meg a lenyomat átmérőjét rúdkörző segítségével! A mérés nagyobb pontosság érdekében használjon kézi nagyítót!

4. A kísérletet ismétlje meg háromszor, és állapítsa meg az acél keménységének átlagértékét edzés előtt! Az eredményeket írja be az összegző táblázatba!
5. Végezze el alumíniumlemezen is a leírt mérést!
6. Helyezze a kemencébe az acéllemez, melegítse addig, míg élénkpiros fénnel nem kezd izzani!
7. Fogja meg a mintát harapófogóval, dobja a vízzel telt fém edénybe!
8. A lehülés után tisztítsa meg a minta felületét, ismétlje meg a mérést!

10.1. táblázat

S.sz.	$D$ , m	$d$ , m	$S$ , m <sup>2</sup>	$p$ , N/m <sup>2</sup>	$F$ , N	$H_N$ , N/m <sup>2</sup>
acél						
1.						
2.						
3.						
alumínium						
1.						
2.						
3.						

### Biztonsági előírás

1. Nem szabad az acélgolyót ferde felületbe nyomni; az acélgolyó kerete a mérés folyamán a mintadarab felületére szigorúan merőleges helyzetben legyen!
2. Az olaj nyomása a sajtóban nem emelkedhet  $1,5 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup> fölé.

### Ellenőrző kérdések

1. Miért nő az acél keménysége gyors lehűtés esetén?
2. Miért csökken az acél keménysége lassú hűtésnél?

## 11. sz. gyakorlati munka

### A testek tehetetlenségi nyomatékának vizsgálata

*Készülékek és anyagok:* forgó szorítókeret, súlykészlet, stopperóra.

#### A mérés elmélete:

Forgó mozgásnál a szilárd test tehetetlensége tömegének a forgástengelyhez viszonyított eloszlásától függ. Minél távolabb helyezkedik el a test tömege a forgástengelytől, annál nagyobb a tehetetlensége. A forgó test tehetetlenségét a tehetetlenségi nyomaték jellemzi.  $m$  tömegű anyagi pont esetében a tehetetlenségi nyomaték:

$$j = mr^2, \quad (11.1)$$

ahol:

$m$  – az anyagi pont tömege,

$r$  – a forgástengelytől való távolsága.

A tehetetlenségi nyomaték mértékegysége a SI rendszerben  $[j] = \text{kgm}^2$ .

Egy reális test tehetetlenségi nyomatékát úgy számítjuk ki, hogy olyan sok kicsi részre osztjuk, hogy a számításban mindegyiket anyagi pontnak lehessen tekinteni. Minden ilyen részecskének kiszámítjuk a tömege és a tengelytől mért távolsága négyzetének szorzatát, aztán összeadjuk:

$$J = \sum_i^n j_i = \sum_i^n m_i r_i^2. \quad (11.2)$$

Homogén szabályos mértani testek tehetetlenségi nyomatéka könnyen számítható integrálással.

A nem homogén vagy szabálytalan mértani alakú testek tehetetlenségi nyomatékát általában kísérleti úton állapítják meg.

A szilárd test forgó mozgása történhet egy szabad, nem rögzített tengely körül is. Ennek feltétele, hogy a test különböző részeiben fellépő centrifugális tehetetlenségi erők kölcsönösen kiegyenlítsék egymást. Az ilyen tengelyt szabad vagy fő tehetetlenségi tengelynek nevezik. A homogén testek esetében az ilyen tengely a mértani szim-

metriatengely. Bizonyítható, hogy minden testben legalább három, egymásra merőleges fő tehetetlenségi tengely van. Külső hatás nélkül stabil forgás csak kettő körül lehetséges: amelyekhez viszonyítva a legnagyobb és a legkisebb a test tehetetlenségi nyomatéka. Pl. ha úgy dobunk fel egy testet, hogy közben forgó mozgást is végezzünk, és közben az ilyen test forgása magától áttér az olyan tengely körüli forgásra, melyhez viszonyítva tehetetlenségi nyomatéka a legnagyobb vagy a legkisebb.

Kísérleti úton úgy vizsgáljuk a test tehetetlenségi nyomatékát, hogy forgókeretbe szorítjuk. A keret tengelyére egy kötelet tekerünk, melynek végére egy súlyt akasztunk. A kötelet feszítő súly állandó forgató nyomatékot hoz létre a keret tengelyén, melytől az egyenletes gyorsuló mozgásba jön. Ez a gyorsulás könnyen kiszámítható a súly ereszkedési idejéből. A gyorsulás annál nagyobb, minél kisebb a testnek az adott tengelyhez viszonyított tehetetlenségi nyomatéka.

#### A munka menete:

1. Ceruzával jelölje meg a téglatest szimmetriatengelye és felszíne dőféspontját!
2. Rögzítse úgy a téglatestet a keretbe, hogy a keret forgótengelye egybeessen a téglatest szimmetriatengelyével!
3. Tekerje a kötelet a tengelyre!
4. A kötél végére akasszon súlyt (kezdje a 0,5 kg-ossal)!
5. Mérje meg a test ereszkedési idejét!
6. Ismétlje meg a mérést úgy, hogy másképpen rögzíti a téglatestet!
7. Az adatokat írja táblázatba!
8. Ismétlje meg más testekkel is a mérést!
9. Vonjon le következtetéseket a testek fő tehetetlenségi tengelyére vonatkozóan!

#### **Ellenőrző kérdések:**

1. Mi a tehetetlenségi nyomaték?
2. Mi a precesszió?
3. Mi a nutáció?
4. Mi a Chandler-periódus?
5. Mi a sarkmagasság-ingadozás?

## Homok belső súrlódásának vizsgálata

*Készülékek és anyagok:* 1 db nyíródoboz, 1db súlykészlet, homok.

### A mérés elmélete:

A szilárd testek erők átvitelére alkalmasak, mert valamelyik szabad felszínükön alkalmazott terhelés más szabad felszíneken mérhető hatással jár. Ez bizonyítéka annak, hogy külső erő hatására a rugalmas test belsejében is feszültségek alakulnak ki. A feszültség a szilárd test belső pontjában közvetlenül nem mérhető, és csak a külső, szabad felszíneken tapasztalt jelenségekből vezethető le. Ezekon ugyanis, egyensúly esetén, a külső erők és a belső (feszültségekkel kapcsolatos) reakcióerők egyensúlyt tartanak.

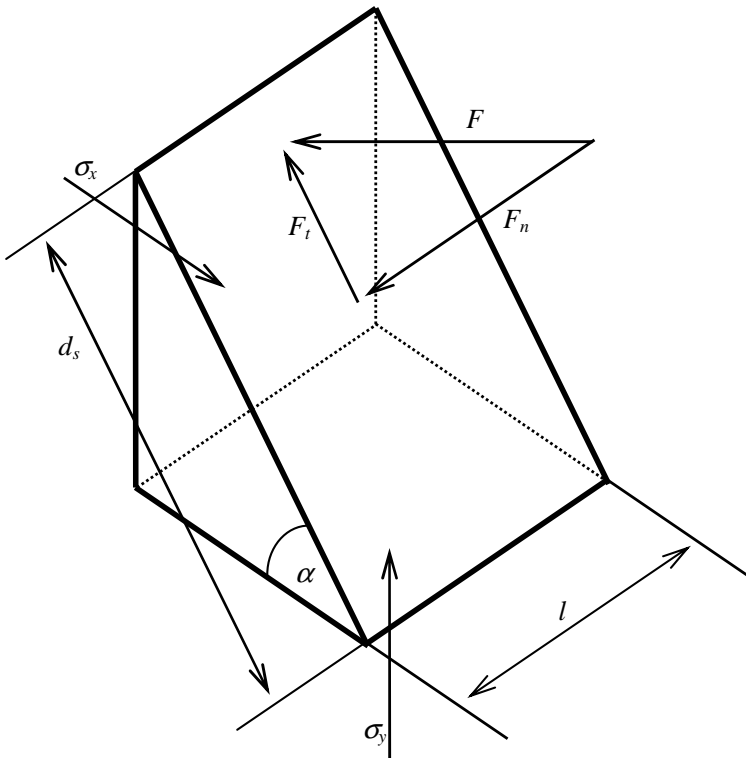
A feszültséget a felületre ható erőből vezethetjük le. A véges kiterjedésű felületre ható erőt osztjuk a felület nagyságával; a hányados megadja a feszültség átlagos értékét a felületen. A feszültséget „egy pontban” úgy értelmezzük, mint a hányados határértékét, miközben a felület egy ponttá zsugorodik össze. A feszültségnek ez a matematikai definíciója egyszerű tárgyalást tesz lehetővé, de csak a tényleges viszonyok jelentős idealizálásával értelmezhető.

A rugalmas szilárd test belsejében egy tetszőleges  $P$  pontban ható  $\mathbf{F}$  erő által keltett feszültséget a  $P$  ponton áthaladó, tetszőleges irányítású felületre vonatkoztathatjuk. Jelölje a felület normálvektorát  $\mathbf{n}$ , a felület nagyságát  $S$ . A feszültségvektort különböző komponensekre bontjuk. Alkalmazzunk a felületre merőleges és a felülettel párhuzamos felbontást. A feszültségvektornak az  $\mathbf{n}$  vektorral azonos irányú komponensét *normális húzó* vagy nyomó *feszültségnek* nevezük. A feszültségvektornak az  $\mathbf{n}$ -re merőleges síkba eső komponensei a *nyírófeszültségek*. Világos, hogy a normális feszültség és nyírófeszültségek értékei az  $\mathbf{n}$  irányától és a felület helyzetétől függenek. Ha például az  $\mathbf{n}$  iránya egybeesik az  $\mathbf{F}$  irányával, nyírófeszültségek nem lépnek fel. Ebből az is következik, hogy vízszintesen elhelyezkedő rétegben a nehézségi erő nem gerjeszt nyírófeszültséget.

Két egymással érintkező szilárd test, egymáshoz képest, aktív erő hatására mozdul el. Az elmozdulás alatt jelentkezik egy passzív

erőhatás, amely az elmozdítást állandóan akadályozza. Ezt a passzív erőt nevezzük súrlódási erőnek. A súrlódási erő tehát mindig feltételezi az aktív erőt. **Az aktív erő csak addig növelhető, míg el nem érjük a passzív erő fizikailag lehetséges felső határát.** A halom, domb, hegy, rézsű alakjában elhelyezkedő anyagban **fellépő** jelenségek szoros összefüggésben állnak a súrlódás jelenségével.

A vízszintes felületre helyezett test csak a súrlódási erő legyőzésével mozdítható el. A nyugalmi helyzetből való kimozdításhoz nagyobb erő szükséges, mint a mozgás során az egyenletes mozgás fenntartásához. Ezért beszélünk *nyugalmi* vagy *tapadó* és *mozgásbeli* vagy *csúszó* súrlódási erőről. A gördülő mozgásnál jelentkező passzív erőt gördülő ellenállásnak nevezzük.



12.1. ábra. Főfeszültségek, nyomó- és nyíróerők hatása a csúszólapra [LÁSZLÓ P., 1996]

Az  $F_s$  súrlódási erő egyenesen arányos a felületeket merőlegesen összenyomó  $F_n$  erővel:

$$F_s = \mu F_n, \quad (12.1)$$

Ez láthatóan azt jelenti, hogy a súrlódási erő független az érintkező felületek nagyságától, valamint a mozgítás sebességétől.

Rézsúszzerű elhelyezkedésnél az anyag belsejében ébredő úgy nevezett *főfeszültségek* ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) és az anyagra ható feszültségek ( $\sigma, \tau$ ) bizonyos kritikus értékeke felett a rézsű megcsúszásához, töréshez vezetnek. A megcsúszás sík felületek mentén következik be. Egy ilyen síkfelületre úgynevezett normál  $\sigma$  és tangenciális  $\tau$  feszültség hat.

A nyomó- és nyíróerők a terhelő erő (például súlyerő) hatására ébrednek

$$F = F_t + F_n. \quad (12.2)$$

Ha ezt elosztjuk a csúszólap felületével, megkapjuk a főfeszültségek nyomásdimenziójú kifejezését:

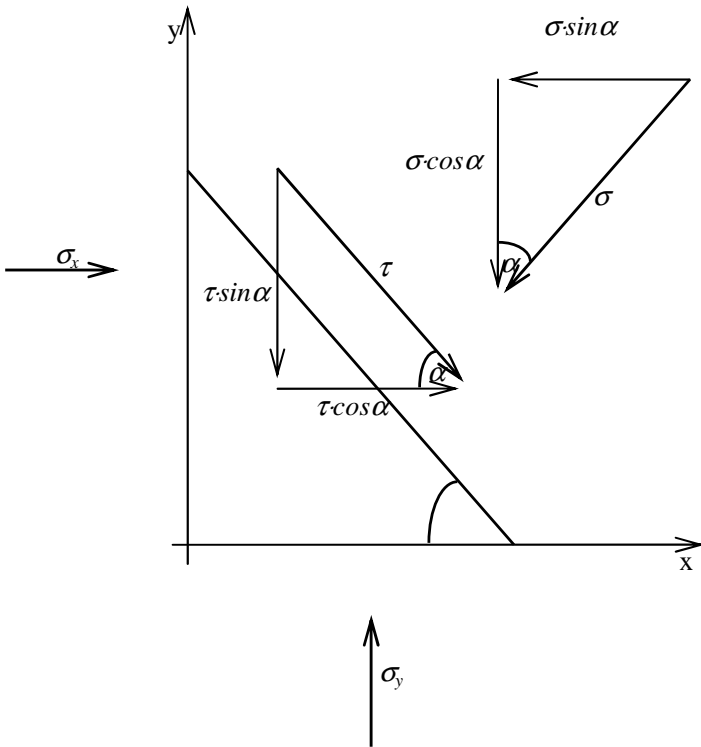
$$\frac{F}{S} = \frac{F_t}{S} + \frac{F_n}{S}, \quad (12.3)$$

$$p = \tau + \sigma. \quad (12.4)$$

A terhelő erők (például súlyerő) hatására ébredő nyomó- és nyíróerők a főfeszültségekkel együtt meghatározott törési feltétel mellett nyugalmi erőrendszert alkotnak.

Az egyensúly feltétele, hogy a feszültségekből számítható erőhatások ( $F = \sigma \cdot S, F = \tau \cdot S, S = l \cdot d_s$ ) eredője nulla legyen.





12.2. ábra. A csúszólapon ható feszültségek [LÁSZLÓ P., 1996]

Az anyag belsejében ébredő minden lehetséges főfeszültség-párhoz (amely mellett még fennmarad a nyugalom) a derékszögű  $\tau$ - $\sigma$  koordinátarendszerben egy-egy kör rendelhető:

$$(\sigma - \sigma_0)^2 + \tau^2 = R^2, \quad (12.5)$$

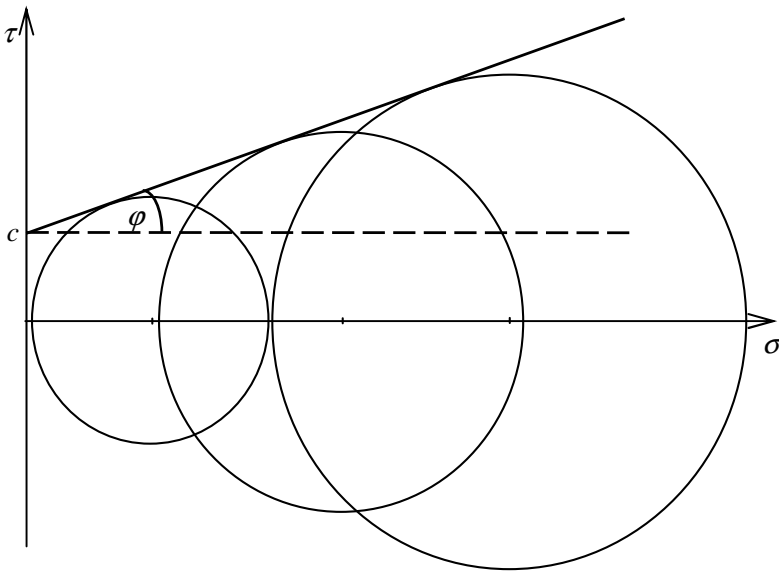
ahol:

$$\sigma_0 = \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_x), \quad (12.6)$$

$$R = \frac{1}{2}(\sigma_y - \sigma_x). \quad (12.7)$$

A középpont koordinátái:  $(\sigma_0, 0)$ .

Az így kapott kört Mohr-féle körnek nevezzük.



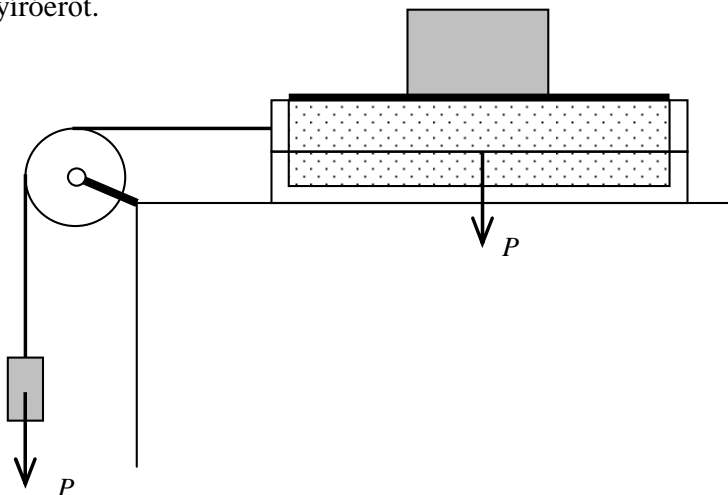
12.3. ábra. Mohr-körök a Coulomb-féle egyenessel

A körök által kijelölt síkrész minden egyes pontjában megvalósulhat a csúszásmentes egyensúly. A síkrész határvonala (burkolója) Coulomb szerint egyenes.

Amennyiben a feszültségekből szerkesztett kör metszi ezt az egyenest, a nyugalom nem marad meg, törés következik be. **Tehát  $\tau$  és  $\sigma$  azon értékei mellett, melyek a derékszögű  $\tau$ — $\sigma$  koordináta-rendszerben a Coulomb-féle egyenes alatt helyezkednek el, még fenntartható a nyugalom.** Azt a felületet, amelynek minden pontján fellépő normál és tangenciális feszültség a fenti egyenletnek eleget tesz, *csúszólapnak* nevezünk.

***A Coulomb-féle egyenest egy egyszerű berendezés segítségével határozhatjuk meg.***

A homok belső súrlódását nyíródoboz segítségével vizsgáljuk (12.4. ábra). A doboz alsó részét színig megtöltjük homokkal. Ezután ráhelyezzük a doboz felső részét, és azt is megtöltjük homokkal. A doboz felső részére erősített kötéltre felfüggesztett teher biztosítja az  $F$  nyíróerőt.



12.4. ábra. A nyíródobozos berendezés

Az ömlesztett anyag elmozdítással szembeni ellenállását egyszerű kifejezés írja le:

$$F = Pf + F_c, \quad (12.8)$$

ahol:

$P$  – a doboz felső részében levő homok súlya;

$F_c$  – a kohézió ereje;

$f$  – a belső súrlódás dimenzió nélküli tényezője, amely a belső súrlódási szög tangensével egyenlő.

Hogy egy általánosabb, a nyíródoboz méreteitől nem függő képletet kapjunk, osszuk el a (12.8) kifejezés minden tagját a nyíródoboz felső része alapjának területével:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c \quad (12.9)$$

ahol:

$\tau$  – a megcsúszás síkján ébredő tangenciális feszültség (az elcsúszással szembeni ellenállás határértéke);

$\sigma$  – a megcsúszás síkján ébredő normál (nyomó) feszültség;

$\varphi$  – a belső súrlódási szög;

$\operatorname{tg} \varphi$  – a súrlódási tényező;

$c$  – a kohézió.

A (12.9) összefüggés Coulomb-törvényeként ismert. Az összefüggésben könnyen felismerhető az egyenes – a keresett Coulomb-féle egyenes – képlete. Eszerint a nyírószilárdság két részből áll:

– a  $\sigma \operatorname{tg} \varphi$  súrlódásból,

– a  $c$  kohézióból, amely független a normál feszültségtől; értéket az egyes darabok kiálló részeinek összeakadása, a nagyobb darabok kisebbek által történő összeragasztása, „cementezése” stb. határozza meg.

A Coulomb-féle egyenes meghatározásához szükségünk van a belső súrlódási szög és a kohézió értékének ismeretére. A nyíródoboz segítségével könnyen meghatározhatjuk ezeket az értékeket. A kótel végén addig növeljük a súlyt, míg a nyíródoboz felső része el nem mozdul a helyéről.

A nyomófeszültség értékét a

$$\sigma = \frac{P_1}{S}, \quad (12.10)$$

a nyírófeszültség értékét a

$$\tau = \frac{P_2}{S} \quad (12.11)$$

képlet szerint számítjuk ki, ahol:

$P_1$  – a doboz felső részében levő homok, illetve a rajta levő homok súlya,

$P_2$  – a kötélt végére erősített súly;

$S$  – a doboz területe.

Utána ismételjük meg a kísérletet úgy, hogy növeljük a dobozfedő terhelését, vagyis más  $\sigma$  értéknél, és számítsuk ki a két keresett paramétert!

A mérés során ki kell küszöbölni a doboz alsó és felső része között a súrlódást. Ezt az anyag betöltése után a doboz felső részének megemelésével érhetjük el. Minden mérés után újra el kell rendezni a homokot a dobozban!

### A mérés menete:

1. Különböző nyomóerő mellett végezze el a nyírófeszültség meghatározását! Minden mérést legalább 5-ször ismételjen meg! A mérési eredményeket rögzítse összegző táblázatba és ábrázza grafikusán!
2. A mérési eredmények alapján írja le a Coulomb-féle egyenes egyenletét!
3. Adja meg a belső súrlódási szög és a kohézió értékét!

12.1. táblázat

Nyomó- súly $P_1, N$	Nyomó- feszültség $\sigma, \frac{N}{m^2}$	Nyíróerő $P_2, N$					A nyírófeszültség átlaga $\tau, \frac{N}{m^2}$
		1	2	3	4	5	

### **Ellenőrző kérdések**

1. Mit nevezünk főfeszültségnek?
2. Mit nevezünk Mohr-féle körnek?
3. Jellemezze a nyírószilárdság fő összetevőit!
4. Milyen alapvető töréstípusokat ismer?
5. Mik a dilatációs és kompressziós zónák?

### **Irodalom:**

1. MESKÓ P. A geofizika alapjai. Egyetemi jegyzet. Budapest. 1991.

2. LÁSZLÓ P. Az agro- és biofizika alapjai. Egyetemi jegyzet. Budapest. 1996.

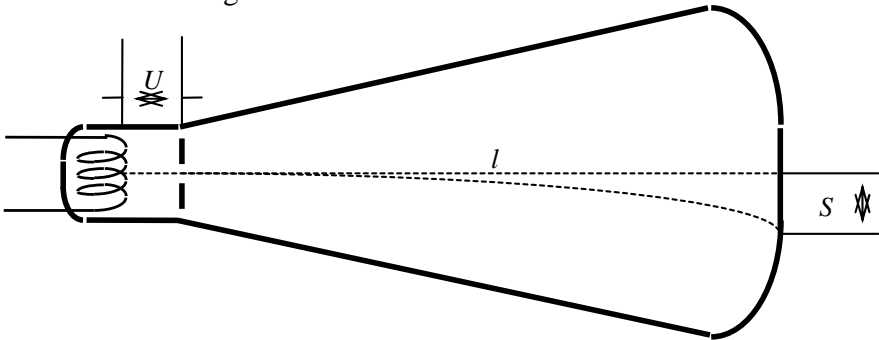
### 13. sz. laboratóriumi munka

#### A Föld mágneses tere vízszintes összetevőjének meghatározása

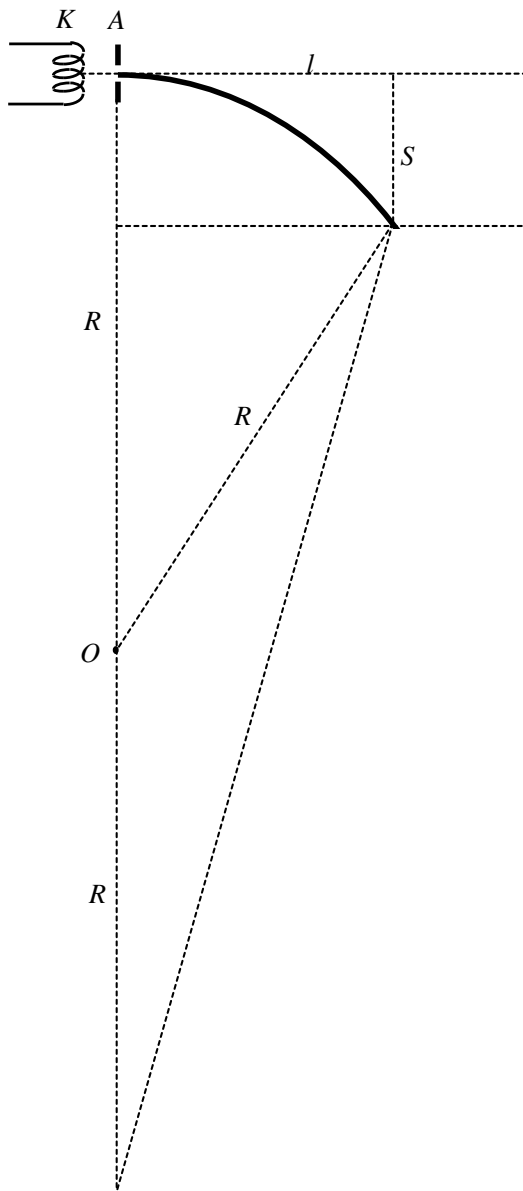
*Készülékek és anyagok:* oszcillográf, mágnestű, másolópapír, vonalzó.

##### A mérés elmélete:

Ha a működő elektronsugaras csövet a földi délkörre merőlegesen helyezzük el, akkor az elektronsugár a Lorentz-féle erő hatására  $s$  mértékben elmozdul. Ez az elmozdulás a Föld mágneses tere indukciója  $B_h$  vízszintes összetevőjének nagyságától függ. Ebből az következik, hogy a Föld mágneses tere vízszintes összetevőjének meghatározásához elegendő megmérnünk az elektronsugár elmozdulását az elektroncső két különböző helyzetében – a délkörre párhuzamosan és merőlegesen.



13.1. ábra. Az elektronsugár mozgása a Föld mágneses



13.2. ábra. Adalék a Föld mágneses tere vízszintes összetevőjének kiszámításához



Az  $s$  elmozdulást megmérve megállapítjuk az elektron körív alakú pályájának  $R$  sugarát (13.2. ábra):

$$\frac{s}{l} = \frac{l}{2R-s} \approx \frac{l}{2R}. \quad (13.1)$$

Innen:

$$R = \frac{l^2}{2S}. \quad (13.2)$$

Ugyanakkor az  $R$ -t megállapíthatjuk Newton második törvényéből is:

$$\vec{F} = m \vec{a}, \quad (13.3)$$

$$evB_h = m \frac{v^2}{R}, \quad (13.4)$$

innen adódik:

$$R = \frac{mv}{eB_h}, \quad (13.5)$$

ahol:

$e$  és  $m$  — az elektron töltése és tömege.

Az elektron sebességét az elektronsugaras cső anódja és katódja közötti potenciálkülönbség határozza meg:

$$\frac{mv^2}{2} = eU, \quad (13.6)$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \quad (13.7)$$

Az (1), (2) és (3) kifejezésekből kapjuk:

$$B_h = \frac{2s}{l^2} \sqrt{\frac{2Um}{e}}. \quad (13.8)$$

### A mérés menete:

1. A mágnesű segítségével állítsa az oszcillográf elektronsugaras csövet a délkör vonalával párhuzamos helyzetbe!  
Kapcsolja be az oszcillográfot! Az elektronsugár intenzitásának és fókuszálásának változtatásával kapjon a képernyőn minimális méretű világító foltot! Az elektronsugár vízszintes és függőleges elmozdulásának változtatásával vezesse a világító foltot az elektronsugaras cső képernyőjének közepére!
2. Helyezzen a képernyőre másolópapírt, ceruzával jelölje meg rajta a világító folt helyzetét!
3. Forgassa el az oszcillográfot a délkör vonalára merőlegesen!
4. Jelölje be a másolópapíron a világító folt új helyzetét és mérje meg elmozdulásának  $s$  értékét!
5. Számítsa ki Föld mágneses tere vízszintes összetevőjének értékét a (13.8) képlet alapján!
6. A kísérletet ismételje meg legalább háromszor, és számítsa ki a mérés hibaértékét!

A mérések és számítások eredményeit írja összegző táblázatba!

13.1. táblázat

Ssz.	$l, m$	$U, V$	$s, m$	$B_h, Tl$	Abszolút hiba, $\Delta B_h, Tl$	Relatív hiba, $\frac{\Delta B}{B} \cdot 100\%$
1.						
2.						
3.						

### **Ellenőrző kérdések**

1. Magyarozza meg a mérőberendezés működését!
2. Hogyan határozzuk meg a mérőberendezés segítségével Föld mágneses tere vízszintes összetevőjének értékét?
3. Hogyan lehetne növelni a Föld mágneses tere indukciója mérésének pontosságát?
4. Meg lehet-e állapítani a berendezés segítségével az elektron fajlagos töltését?

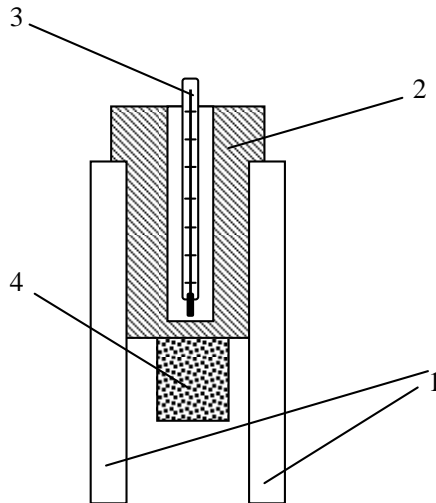
### Ferritek Curie-pontjának megállapítása

*Készülékek és anyagok:* a Curie-pont megállapítására szolgáló berendezés, ferritdarabok, hőmérő, egyenáramú tápegység.

#### A mérés elmélete:

A ferritek olyan félvezetők, melyek jó mágneses jellemzőik mellett nagy fajlagos ellenállással bírnak. A ferritekre jellemző a ferromágneses anyagok minden tulajdonsága: a spontán mágnesesség, a hiszterézisgörbe és a Curie-pont, azaz olyan hőmérséklet, amely fölött a ferrit elveszti mágneses tulajdonságait.

A kísérleti berendezés vázlatos rajza a 14.1. ábrán látható. Ez kis méretű mintapéldányok vizsgálatára alkalmas. A fémspirál által hevített melegítőtestben (1) egy üreges acéltengely (2) helyezkedik el. Ebbé az üregbe helyezzük be a hőmérőt (3). Egyenáram áthaladásakor a melegítőspirál és az acéltengely úgy működik, mint egy elektromos mágnes, amely megtartja a ferrit mintapéldányt (4). Amint a hőmérséklet elérte a Curie-pontot, a mintapéldány kiesik a melegítőből.



14.1. ábra

A munka menete:

1. Kapcsolja be az egyenáramú tápegységet, állítsa 2A értékre az áramerősséget, és helyezze a melegítőbe a mintapéldányt úgy, hogy érintkezzen az acéltengellyel!
2. Figyelje, milyen hőmérsékleten szakad le a ferrit mintadarab a tengelyről!
3. Miután lehűlt a melegítő, ismételje meg a mérést egy másik mintapéldánnyal!

**Ellenőrző kérdések:**

1. Milyen anyagokat nevezünk ferriteknek?
2. Miért veszítik el a ferritek a Curie-pont fölött mágneses tulajdonságaikat?