Optikai alapmérések

Dávid Attila

2023. augusztus 17.

Mérést végezte: Dávid Attila
Mérőtárs neve:
Mérés időpontja: 2023.05.23.
Jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2023.05.30.

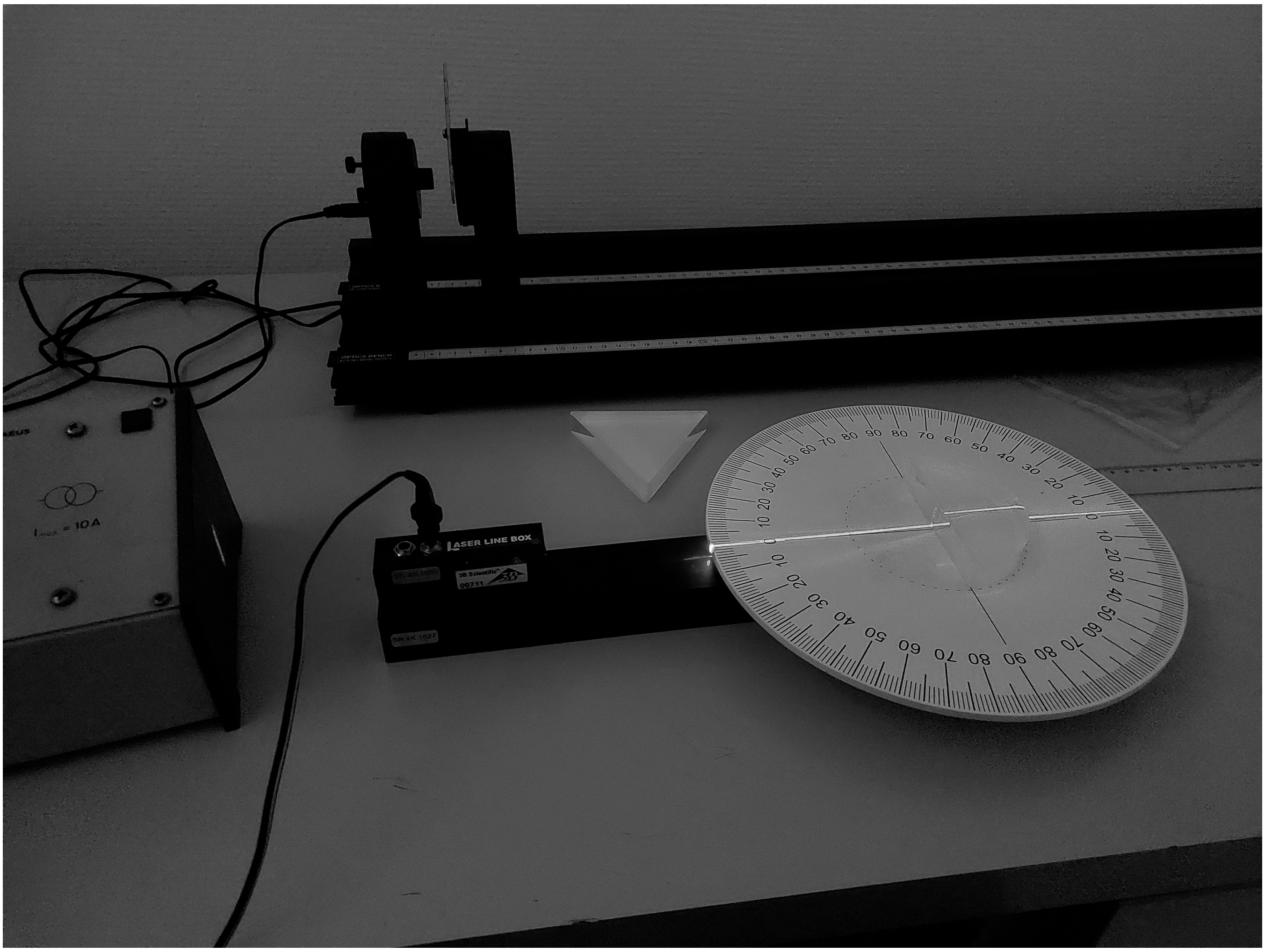
Mérések célja

A mostani mérések 3 nagyobb témakört öleltek fel az optika területéből, ezért őket külön fogom értékelni.
Az 1. mérés a Snellius-Descartes-törvény következményeit vizsgáltam. Levegő-műanyag határon való fénytörés megfigyelésével igazolható a törvény helyessége, meghatározható az optikailag ritkább közegbe való lépéskor megjelenő határszög. Ezenkívül egy prizma törési tulajdonságait is vizsgáltam.
A 2. mérés során lencsék képalkotásával foglalkoztam és leképzési törvény helyességét igazoltam. Egyik esetben Bessel-módszerrel határoztam meg egy gyűjtőlencse fókusztávolságát. Másik esetben pedig szórólencse képalkotását vizsgáltam. A kísérlet során gyűjtőlencsét is használnom kellett, hiszen a szórólencse virtuális képet hoz létre, amit nem tudok mérni.
A 3. mérés során fizikai optika témaköréből a résen való elhajlással foglalkoztam. A cél az ismert rácsállandó kimérése és, valamint az elhajlási kép igazolása.

1. Fénytöréssel kapcsolatos jelenségek vizsgálata

Mérőeszközök

- lézer
- D-alakú műanyaglencse
- műanyagprizma
- forgatható állvány szögekkel felosztva



1. ábra. A mérés során használt állvány

A mérés rövid leírása

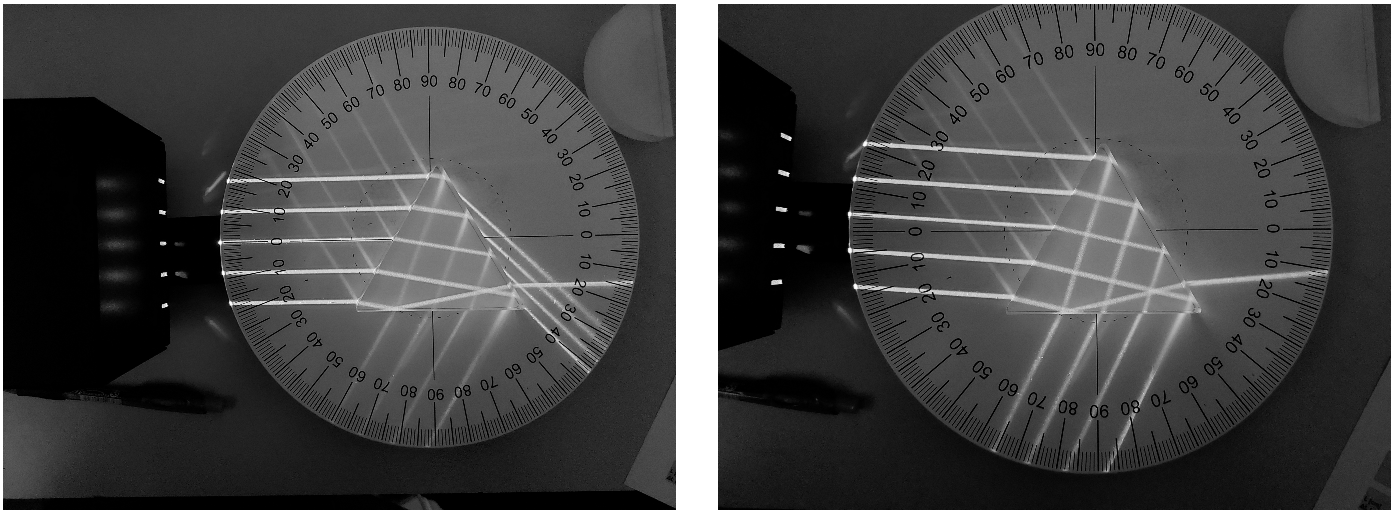
A mérés előtt meggyőződtem róla, hogy a lézer megfelelően működik. Ezután felhelyeztem a mágneses állványára és a tárcsát úgy állítottam be, hogy a lézernyaláb a 0°-nál haladjon át.
Behelyeztem a D-alakú lencsét és a sima oldalát világítottam meg lézerrel, mert így csak a belépő nyaláb térült el. A beesési szöget a tárcsa forgatásával 10°-onként növeltem és mindegyiknél leolvastam a törési szöget.
A mérés második részében a görbe részét világítottam meg és addig a határszögig 5°-onként növeltem a beesési szöget.
A harmadik részben prizmát helyeztem az állványra és több lézernyalábbal világítottam meg. Itt addig forgattam a tárcsát, ameddig a prizma túloldalán teljes visszaverődés jutt létre, valamint megfigyeltem a különböző hullámhosszú komponensekre bontását a fehér fénynek.

Mérési adatok

Levegő -> Műanyag	
Beesési szög [°]	Törési szög [°]
0	0
10	6,5
20	13
30	19,5
40	25
50	30,5
60	35
70	39
80	41

Műanyag -> Levegő	
Beesési szög [°]	Törési szög [°]
0	0
10	15
15	23
20	30,5
25	39
30	48
35	58,5
40	73
Harárszög [°]	43

1. táblázat. lencse fénytörésének adatai átmenet adatai



2. ábra. Prizma fénytörése, elforgulási szög = 4°

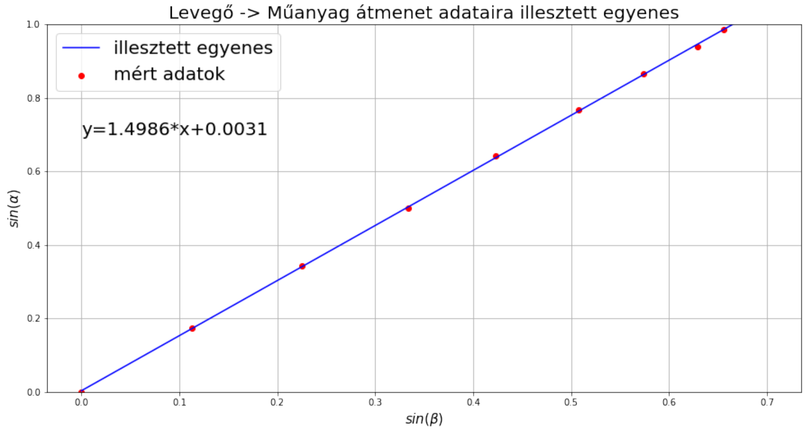
Kiértékelés

A Snellius-Descartes-törvény:

$$n_{2,1} = \frac{sin(\alpha)}{sin(\beta)} \tag{1}$$

A képletben a α a beesési szög, β a törési szög és $n_{2,1}$ a két közeg egymásra vonatkoztatott törésmutatója, az első kísérletben ez a műanyag levegőre vonatkoztatott törésmutatója. Az egyenletet átrendezve egy lineáris függvényt kapunk a szögfüggvényekre nézve:

$$sin(\alpha) = n_{2,1} \cdot sin(\beta) \tag{2}$$



α_i [°]	$sin(\alpha_i)$ []	β_i [°]	$sin(\beta_i)$ []
0	0	0	0
10	0,1736	6,5	0,1132
20	0,342	13	0,225
30	0,5	19,5	0,3338
40	0,6428	25	0,4226
50	0,766	30,5	0,5075
60	0,866	35	0,5736
70	0,9397	39	0,6293
80	0,9848	41	0,6561

3. ábra. Levegő -> Műanyag átmenet egynese és adatai

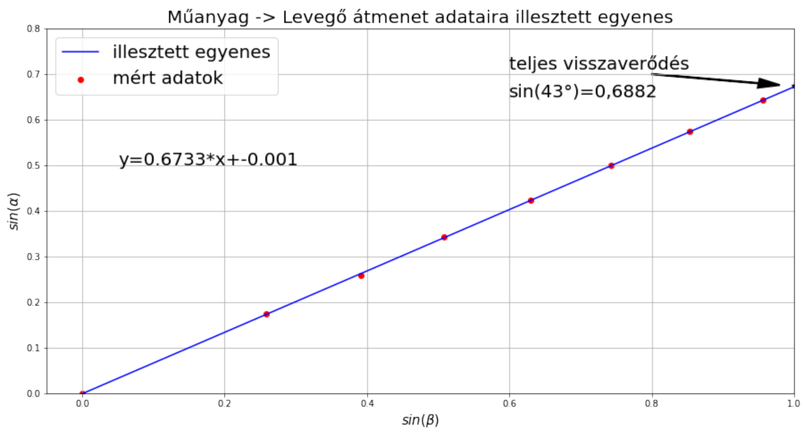
Az egyenes paraméterei:

- meredekség: $n_{2,1}$=1,4986
- tengelymetszet: y_0=0,0031

Látható, hogy a tengelymetszet tényleg elhanyagolható lett, valamint az illesztett görbe egyenes lett, tehát a Snellius-Descartes-törvényt igazoltuk.

A Műanyag -> Levegő átmenetre vonatkozó összefüggés pedig:

$$sin(\alpha) = n_{1,2} \cdot sin(\beta) \tag{3}$$



α_i [°]	$sin(\alpha_i)$ []	β_i [°]	$sin(\beta_i)$ []
0	0	0	0
10	0,1736	15	0,2588
15	0,2588	23	0,3907
20	0,342	30,5	0,5075
25	0,4226	39	0,6293
30	0,5	48	0,7431
35	0,5736	58,5	0,8526
40	0,6428	73	0,9563
43	0,6882	90	1

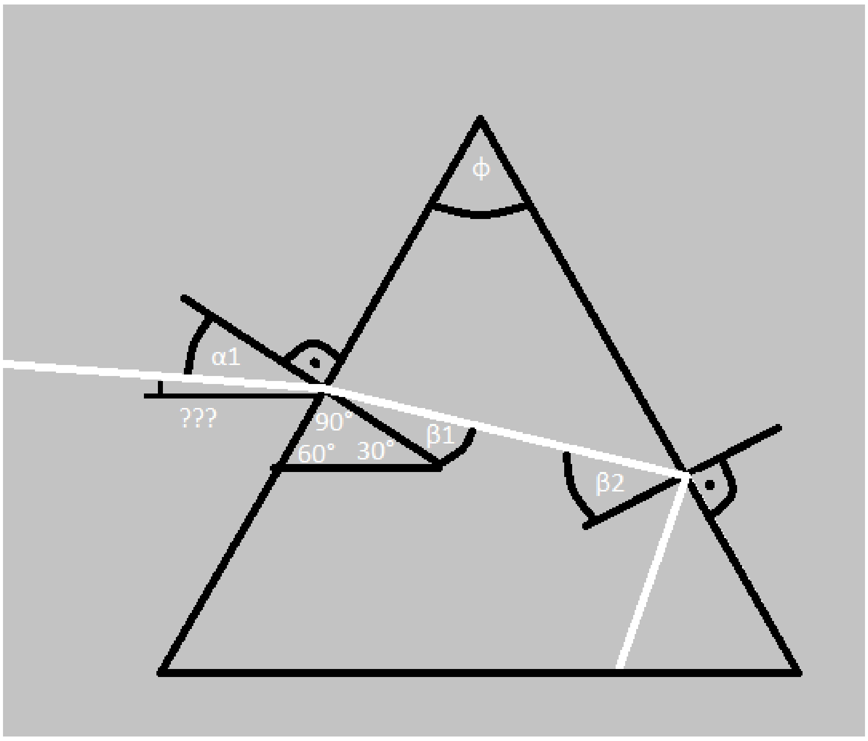
4. ábra. Levegő -> Műanyag átmenet egynese és adatai

Az egyenes paraméterei:

- meredekség: $n_{1,2}$=0,6733
- tengelymetszet: y_0=-0,001

Látható, hogy a tengelymetszet elhanyagolható lett megint, valamint az illesztett görbe egyenes lett, tehát a Snellius-Descartes-törvényt igazoltuk ismét. A törvény további erősítése az a tény, hogy törésmutatók egymás reciprokai.
Teljes visszacerődéskor fennáll, hogy $\sin(\alpha_{hatar}) = n_{1,2}$, ami jelen esetben nem teljesen igaz. Ez a pontatlan szögleolvasásnak köszönhető.

Ezeket az adatokat felhasználhatjuk a prizma fénytörésének magyarázatához. A prizmából kezdetben több nyaláb is kilépett, azonban kis elforgatás után itt is teljes visszaverődés jött létre. Ezt szemlélteti az alábbi minimalista ábra.:



5. ábra. prizma fénytörése

A két törésre felírható egyenletek:

$$n_{2,1} = \frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\beta_1)}$$
$$n_{1,2} = \frac{1}{n_{2,1}} = \frac{\sin(\beta_2)}{\sin(90°)} = \sin(\beta_2)$$

A háromszög belső szögeire felírható egyenlet:

$$90° - \beta_1 + 90° - \beta_2 + \phi = 180°$$
$$\beta_1 = \phi - \beta_2, \phi = 60°, \beta_2 = 43° \rightarrow \beta_1 = 17°$$

Ezekből már kifejezhető α_1:

$$\alpha_1 = \arcsin(n_{2,1} \cdot \sin(\beta_1)) = \arcsin(1,4986 \cdot \sin(17°)) \approx 25,98°$$

És ha most megnézzük, hogy a vízszintessel milyen szöget a nyaláb az első törésnél, akkor rájövünk, hogy pont az elfordulás szögét kaptuk: $30° - 25,98° = 4,02° \approx 4°$

A fény komponensekre esése azzal magyarázható, hogy különböző hullámhosszakhoz különböző törésmutatók tartoznak. A képeken sajnos nem figyelhető meg, de élőben látható, hogy minél kisebb hullámhosszú a komponens, annál jobban eltérül. Fehér fény esetén ez a lila lesz.

2. Lencsék képalkotása

Mérőeszközök

- optikai sín
- 10 cm fókusztávolságú gyűjtőlencse, 20 cm fókusztávolságú gyűjtőlencse
- -15 cm fókusztávolságú szórólencse
- vonalzó
- ernyő

A mérés rövid leírása

A mérés első felében gyűjtőlencse fókusztávolságát határoztam meg Bessel-módszerrel. Ennek az a lényege, hogy a fénysugarak irányai megfordíthatóak. A lényeg az, hogy emiatt két olyan helyzetet találhatunk a lencsének, amikor éles képet látunk az ernyőn. A fényforrás és az ernyő távolságát 10 cm-enként csökkentettem és mindegyik helyzetben lemértem a 2 tárgy- és képtávolságot. Később ismertetésre kerülő módszerrel meghatározható a lencse fókusztávolsága.
A második felében szórólencse képalkotásával foglalkoztam. A szórólencsék nevükhöz híven szórják a fényt és ernyőn nem felfogható virtuális, egynesállású, kicsinyített képet alkotnak, ezért nem tudnánk képtávolságot mérni. Azonban egy gyűjtőlencsével befoghatók a szórt sugarak és az ernyő mozgatásával megkereshető olyan helyzet, ahol éles képet kapunk. Ezután eltávolítottam a szórólencsét, amitől homályos fordított állású és kicsinyített lett a kép. A fényforrás/tárgy mozgatásával újra előállítottam az éles képet.

Mérési adatok

d [cm]	k1 [cm]	t1 [cm]	k2 [cm]	t2 [cm]
100	11,9	88,1	88	12
90	12,2	77,8	77,6	12,4
80	12,2	67,8	67,6	12,4
70	13,4	56,6	57,1	12,9
60	13,6	46,4	46,6	13,4
50	15,5	34,5	35	15

2. táblázat. Gyűjtőlencse mérési adatai

	[cm]
Szórólencse helye:	30
Fényforrás/tárgy helye:	10
Gyűjtőlencse helye:	60
Ernyő helye:	98
Fényforrás helye:	21,3

3. táblázat. Szórólencse képalkotásának adatai

Kiértékelés

Gyűjtőlencse

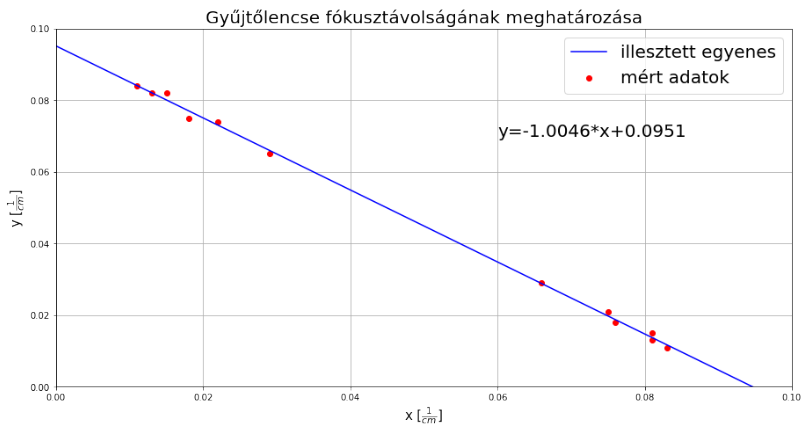
A leképzési törvényből indulhatunk ki:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t} \tag{4}$$

Új változók bevezetésével és rendezéssel egy egyenes egyenletét kapjuk:
$x = \frac{1}{t}$, $y = \frac{1}{k}$

$$y = \frac{1}{f} - x \tag{5}$$

Láthatjuk, hogy mindkét tengelymetszet a fókusztávolság reciproka lesz.



k_i [cm]	y_i $[\frac{1}{cm}]$	t_i [cm]	x_i $[\frac{1}{cm}]$
11,9	0,084	88,1	0,011
12,2	0,082	77,8	0,013
12,2	0,082	67,8	0,015
13,4	0,075	56,6	0,018
13,6	0,074	46,4	0,022
15,5	0,065	34,5	0,029
88	0,011	12	0,083
77,6	0,013	12,4	0,081
67,6	0,015	12,4	0,081
57,1	0,018	12,9	0,076
46,6	0,021	13,4	0,075
35	0,029	15	0,066

6. ábra. Gyűjtőlencse adatai és a rájuk illesztett egyenes

Az egyenes paraméterei:

- y tengelymetszet: $y_0 = 0,0951\frac{1}{cm} \rightarrow f = 10,52cm$
- x tengelymetszet: $x_0 = 0,0946\frac{1}{cm} \rightarrow f = 10,57cm$

Látható, hogy a mért adatokra tényleg egyenes illeszkedik, ahogy az a leképzési törvényből következett, ezzel igazolva azt. A fókusztávolságokra közeli értékeket kaptam,$f_{atl} = 10,545cm$, valamint a lencsén szereplőn értékhez (10 cm) is elég közel vannak,$\Delta f = 0,545cm$.

Szórólencse

A tárgytávolság könnyen meghatározható a fényforrás/tárgy és a szórólencse helyéből: 30cm - 10cm =20cm
A képtávolság pedig a szórólencse és a fényforrás/tárgy új helyéből: 21,3cm - 30cm = -8,7 cm Negatív értéket kell kapnunk, hiszen virtuális a kép. Leellenőrizhetem a mérés pontosságát azzal, hogy kiszámolom a fókusztávolságot.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t}$$

$$f = \frac{1}{\frac{1}{t} + \frac{1}{k}} = \frac{1}{\frac{1}{20cm} + \frac{1}{-8{,}7cm}} = -15,4cm$$

$$\Delta f = 0,4cm$$

3. Résen való elhajlás

Mérőeszközök

- lézer
- optikai sín
- különböző alakú és méretű réseket tartalmazó tárcsa
- ernyő
- vonalzó

A mérés rövid leírása

Az utolsó témakör a résen való elhajlás viszgálata volt. A mérések előtt meghatároztam a lézer, a rés és az ernyő helyét a sínen. Ezután különböző méretű rések esetén leolvastam vonalzó segítségével az első két minimum távolságát. Végül pedig különböző alakú rések esetén figyeltem meg az elhajlás képét.

Mérési adatok

r [mm]	m1 [cm]	$\Delta m1$ [cm]	m2 [cm]	$\Delta m2$ [cm]
0,04	5,2	0,5	10,2	0,5
0,08	2	0,2	5	0,2
0,16	1	0,1	2	0,1

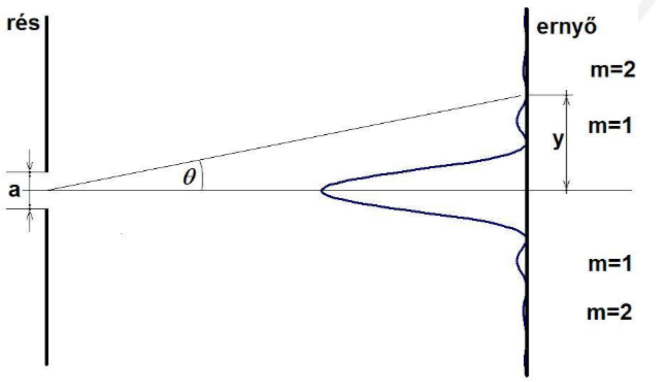
4. táblázat. Diffrakció adatai

Ernyőtávolság	
L [cm]	106,3
ΔL [cm]	0,05

5. táblázat. Ernyő adatai

Hullámhossz	
λ [nm]	670

6. táblázat. Lézer adatai



7. ábra. Diffrakció vázlatos rajza, forrás: metal.elte.hu

Kiértékelés

A diffrakciós képen a minimumok helyére az alábbi összefüggés teljesül:

$$a \cdot \sin(\theta) = n \cdot \lambda \tag{6}$$

Ahol n a minimum sorszáma, a pedig a rácsállandó. Kis szögek esetén a következő közelítést tehetjük: $\sin(\theta) \approx \tan(\theta)$

$$a \cdot \tan(\theta) = n \cdot \lambda \tag{7}$$

$$a \cdot \frac{y}{L} = n \cdot \lambda \rightarrow a = \frac{n \cdot \lambda \cdot L}{y} \tag{8}$$

Ahol y= m1 vagy y=m2, éppen melyik minimumot nézzük.
Hibaszámításhoz felhasználhatjuk, hogy osztás esetén a relatív hibák összeadódnak.:

$$\delta L = \frac{\Delta L}{L}, \delta y = \frac{\Delta y}{y}, \delta a = \delta L + \delta y$$

$$\Delta a = a \cdot \delta a$$

r [mm]	y [cm]	n	a [mm]	δy	δL	δa	Δa [cm]
0,04	2,6	1	0,027	0,192	0,00047	0,19247	0,0052
0,04	5,1	2	0,028	0,098	0,00047	0,0985	0,0028
0,08	1	1	0,071	0,2	0,00047	0,20047	0,014
0,08	2,5	2	0,057	0,08	0,00047	0,08047	0,004
0,16	0,5	1	0,142	0,2	0,00047	0,20047	0,029
0,16	1	2	0,142	0,1	0,00047	0,10047	0,014

7. táblázat. Meghatározott rácsállandók és hibáik

Látszik, hogy a rácsállandókat nem sikerült pontosan meghatározni, a műszeren szereplő érték mindig nagyobb volt. Azonban hibahatáron belül a különböző minimumokhoz meghatározott rácsállandók megegyeznek, ezért a mérés nem feltétlen sikertelen.
Egyéb hasznos információ, ami kideül az adatokból, hogy a rácsállandó csökkentésével nő a diffrakció mértéke. Ezt a jelenséget sima mechanikai hullámoknál már megszoktuk, örülünk hogy itt is ezt tapasztaljuk.

Különböző alakú réseken különböző elhajlási képet tapasztaltam. négyzetes résnél keresztforma rajzolódott ki, hatszöges résnél pedig hatágú csillag. Kör alakú rés esetén kör alakú lett a kép is.

4. Hibaforrások

- műszerek pontatlansága, pontatlan leolvasás, sötét szoba
- éles kép helyzetének pontatlan meghatározása
- elhajlási kép pontatlan leolvasása (lényegében a minimumok sokszor nem jelentek meg tisztán), ezért a leolvasás hibáját próbáltam mindig az adott képhez igazítani, nem az eszköz felbontását használtam

Eredmények

Fénytörés	
$n_{2,1}$	11,4986
$n_{1,2}$	0,6733
határszög	43°

Lencsék képalkotása	
f_{gyujto} (átlag)	10,545 cm
f_{szoro}	-15,4 cm

Elhajlás résen	
a_1 (átlag)	0,0275 mm
a_2 (átlag)	0,064 mm
a_3 (átlag)	0,142 mm

8. táblázat. Eredményeket összefoglaló táblázatok

Diszkusszió

A geometriai optikás mérések összeségében pontosabbnak érződnek, hiszen a megadott adatoktól csak kicsit térnek el a számoltak, de hibaszámítással tudnánk csak ezt jobban megmondani. A diffrakció mérése szabad szemmel, ilyen eszközökkel szerintem nem végezhető el a felsorolt hibaforrások elkerülése nélkül vagy legalábbis nem ezzel az összeállítással.