Jegyzőkönyv

10.
Elhajlási jelenségek vizsgálata

Készítette:
Bozsoki Péter,
másodéves fizikushallgató

1999. március 12., péntek

1. A mérés célja

Jelen mérés célja ismerkedés a fényelhajlás jelenségével egy rács, egy kettősrács ill. egy hajszál geometriai tulajdonságainak mérésén keresztül, így is megalapozva minden olyan típusú feladat megoldásását, melynél egy objektumon szóródott sugárzás intenzitáseloszlásából kell következtetéseket levonni az objektum geometriai szerkezetére.

2. A mérés elve

A mérés elve igen tömören leírható: a Huygen-Fresnel elv.

Picit jobban részletezve: a Huygen-Fresnel elv szerint a fény elhajlik minden olyan tárgyon, amely méretének nagysága a fény hullámhosszának nagyságrendjébe esik. Ekkor az objektumon elhajlik a fény. Ha egy dimeziós esetet vizsgálunk, akkor könnyen meg tudjuk határozni a tárgy mögötti ernyőn a fényintenzitás helyfüggését. Egy dimenziós eset pl. egy rés vagy egy vékony, egyenes pálca: a (pl.) rés a z tengellyel párhuzamos, az y tengellyel párhuzamosan érkeznek a (könnyebb számolás és látványosabb eredmény kedvéért) párhuzamos és koherens fénysugarak, s ekkor elég az x tengely mentén megadnom egy I(x) intenzitáseloszlást. Ekkor természetesen az I(x) függvény az $x=\mathrm{tg}\alpha\cdot L$ összefüggés segítségével egyértelműen átírható $I(\alpha)$ fügvénnyé, ahol L az ernyő és a rés távolsága α pedig a(z eredetileg y tengellyel párhuzamos) fénysugár elhajlásának szöge az y tengelytől. Ebben az esetben levezethető, hogy az $I(\alpha)$ függvény a következő: $I(\alpha) = I_0 \dfrac{\sin^2\left(\dfrac{\pi \cdot a \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\left(\dfrac{\pi \cdot a \sin(\alpha)}{\lambda}\right)^2}$, ahol I_0 a főmaximum intenzitása, *a* a rés (pálca) szélessége, λ pedig a fény hullámhossza. Ha α kicsiny, akkor a $\sin(\alpha)\approx\mathrm{tg}(\alpha)\approx x/L$ közelítéssel élve visszatérhetünk a méréshez kényelmesebb x koordinátához. Ekkor az intenzitás szélsőértékeinek helyét a következő egyenletekből tudjuk meghatározni: $\sin(\alpha_n)=\pm(n\cdot\lambda)/a$ (minimum) és $\sin(\alpha_n)=\pm(z_n\cdot\lambda)/a$, ahol *n* nem nulla természetes szám, z_n pedig körülbelül n+1/2, kivéve a z_0-t, melynek értéke 0. Innen $x_n=\pm(n\cdot\lambda\cdot L)/a$ ill. $x_n=\pm(z_n\cdot\lambda\cdot L)/a$. Ha megmérjük az $n(x_n)$ párosokat majd meghatározzuk az így kapott egyenes meredekségét, akkor ismerjük $(\lambda\cdot L)/a$ értékét, ahonnan már csak az *a* ismeretlen.

Egy kicsivel bonyolultabb eset, amikor (pl. a fent leírt módón) létrehozott egy dimenziós esetben a rés kettős. Ekkor már az $I(\alpha) = I_0 \dfrac{\sin^2\left(\dfrac{\pi \cdot a \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\left(\dfrac{\pi \cdot a \sin(\alpha)}{\lambda}\right)^2} \cdot \cos^2\left(\dfrac{\pi \cdot d \sin(\alpha)}{\lambda}\right)$, ahol *d* a két rés távolsága (minden egyéb ugyanaz, mint az egyes rés esetében). Ebben az esetben az ú.n. másodrendű minimumok is fellépnek, melyek helyét a $\sin(\alpha_k)=\pm((k+0{,}5)\cdot\lambda)/d$ összefüggés adja meg (*k* természetes szám). Így, az elsőrendű minimumokból meghatározható az *a*, a másodrendűekből pedig a *d*.

<u>Megjegyzés:</u> az egy dimenziós eset létrehozását úgy is meg lehet oldani, hogy az y tengely mentén érkező fénynyaláb egy, az (x,z) síban lévő körön hajlik el (vagy két, koncentrikus körgyűrűn). Ekkor a létrjövő elhajlási képen a fényintenzitás csak a középpontól való távolságtól függ, tehát *I* egyváltozós lesz.

3. A mérés kivitelezése

A mérés elvéből azonnal következik, hogy fő része a mérésnek az I(x) vagy az I(α) intenzitás mérése. Ezt egy számítógépvezérelt intenzitásmérővel oldottam meg (pontosabban a mérés készítője oldotta meg). A műszer egy léptetőmotorral felszerelt fényérzékelő detektor volt, melyet a számítógép és azon belül is a *laserx.exe* nevű program vezérelt: a program elvégezte a pozicionálást és a mérést is, így nekem csak be kellett állítanom a mérendő tartományt és elindítanom a programot.

A koherens fénynyalábot egy 1 mW teljesítmenyű HeNe lézer biztosította, mely fényének hullámhossza λ=632,8 nm.

Az ernyő (detektor) - rés távolságot egy egyszerű méterszalaggal mértem meg

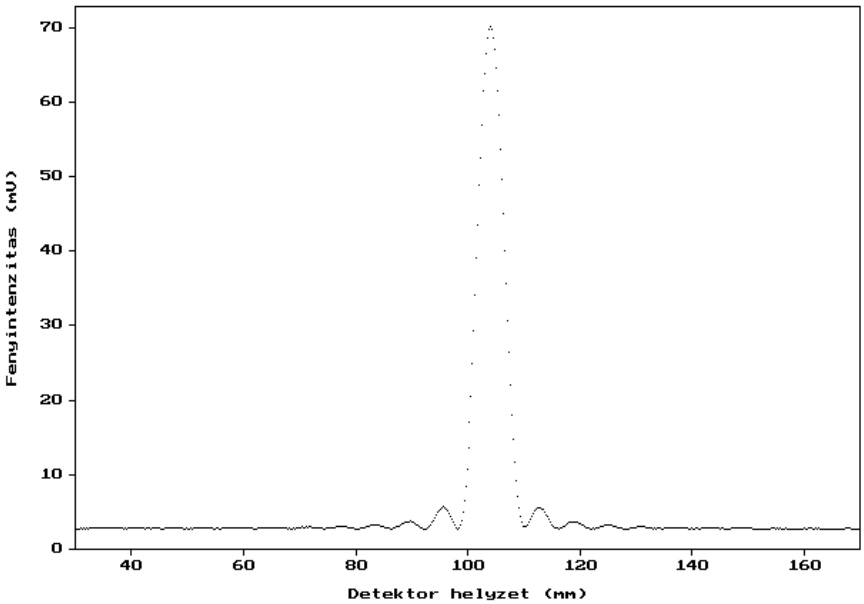
3.1. Sima rés

A mérést a 46991-es sorszámú lapka A jelű résén végeztem.

A rés-detektor távolság $L=(258\pm1)\cdot10^{-2}$ m volt.

Az 1-es ábra tartalmazza a mért intenzitásgörbét.

Ábra 1

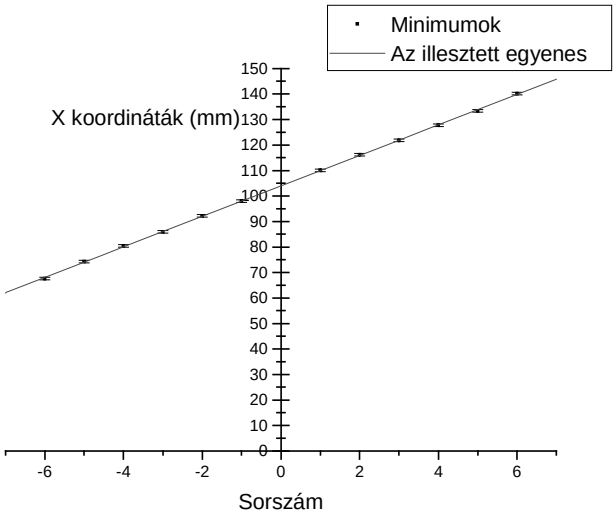


Az ábráról leolvasott $n(x_n)$ párokat az 1-es táblázat tartalmazza. A 3. oszlopba írtam az általam 0,5 mm-re becsült hibát: az intenzitásoknak sokszor nem volt egyértelmű a minimumhelyük. A 2-es ábrán láthatóak az x_n pontok az n sorszám függvényében és a rájuk illesztett egyenes.

Táblázat 1

n	x_n (mm)	Δx_n (mm)
-6	67,5	0,5
-5	74,2	0,5
-4	80,3	0,5
-3	85,9	0,5
-2	92,1	0,5
-1	98,0	0,5
0	-	-
1	110,0	0,5
2	116,1	0,5
3	121,7	0,5
4	127,7	0,5
5	133,3	0,5
6	140,0	0,5

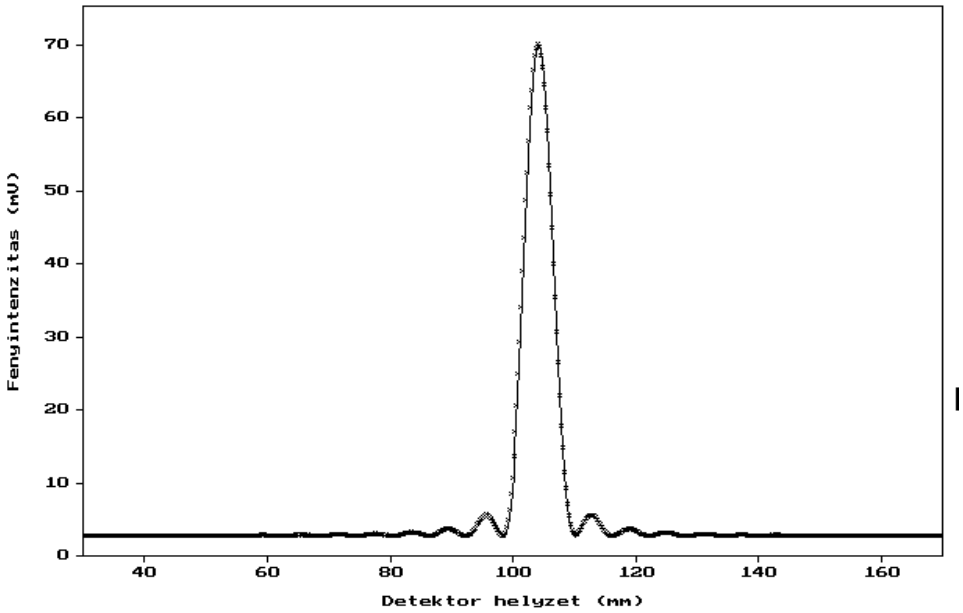
Ábra 2



Az ábrán látható egyenes meredeksége m=(5,97±0,02)·10^{-3} m^{-1}, innen $a=\lambda L/m=\frac{632{,}8\cdot 10^{-9}\cdot 258\cdot 10^{-2}}{5{,}97\cdot 10^{-3}}$ m=**(274±2)·10^{-6} m**, ugyanis δL=0,004 , δm=0,004 ⇒ δa=0,008

A kiértékelt adatokat visszaírva a mérőprogramba, az így kapott elméleti görbét és a mért ponthalmazt összehasonlítva is kapunk egy képet a mérés pontosságáról. Ez látható a 3. ábrán.

Ábra 3

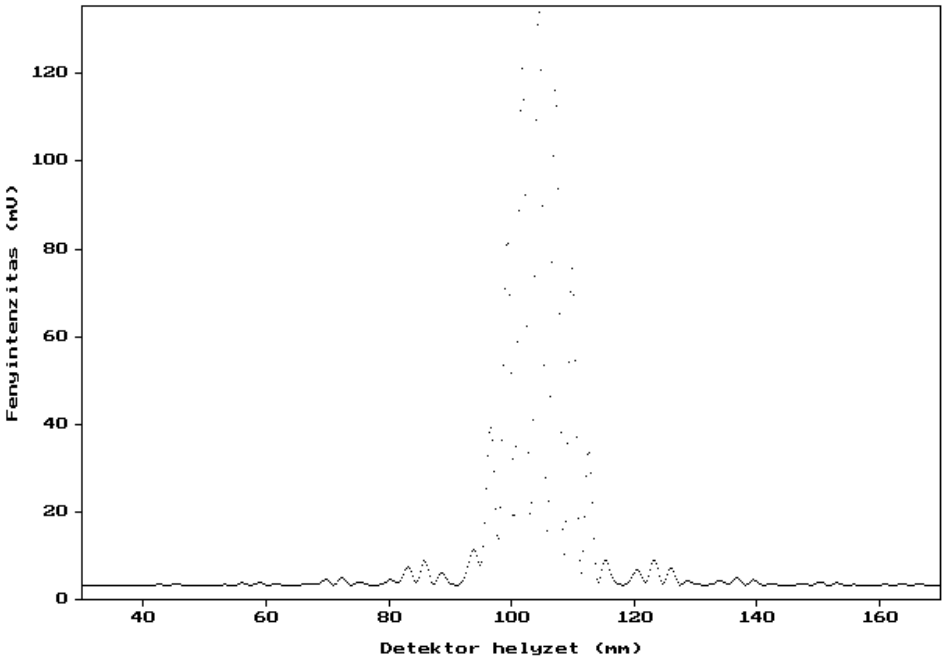


Az ábrán jól látható, hogy az elméleti görbe olyan jól illeszkedik a mért adatokra, hogy csak a görbe megvastagodása jelzi mindkét grafikon jelenlétét. Ez megerősíti, hogy a hiba valóban olyan alacsony értékű, mint amekkorának numerikusan adódott.

3.2. Kettős rés

A mérést a 46992-es sorszámú lapka A jelű résén végeztem.
A rés-detektor távolság $L=(2563\pm5)\cdot10^{-3}$ m volt.
Az 4-es ábra tartalmazza a mért intenzitásgörbét.

Ábra 4

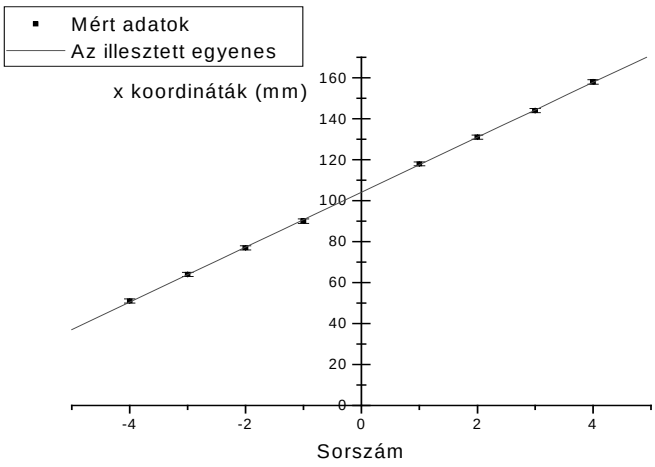


Az ábráról leolvasott *elsőrendű* $n(x_n)$ párokat a 2-es táblázat tartalmazza. A táblázat oszlopbeosztása és az 5-ös ábra az 1-es táblázat ill. a 2-es ábra mintájára készült.

Táblázat 2

n	x_n (mm)	Δx_n (mm)
-4	51	1
-3	64	1
-2	77	1
-1	90	1
0	-	-
1	118	1
2	131	1
3	144	1
4	158	1

Ábra 5



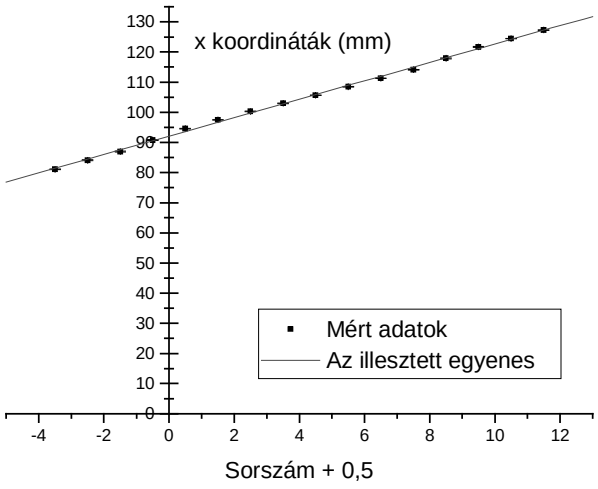
Az illesztett egyenes meredeksége m=(13,40±0,06)·10^{-3} m^{-1}, innen a már ismert módón a=**(121,0±0,7)·10^{-6} m** adódik. A relatív hibák: δL=0,0015 , δm=0,0045 ⇒ δa=0,006

A következő (3-as) táblázat a *másodrendű* minimumok sorszámát (1. oszlop), x koordinátáját (2. oszlop) és mérési hibáját tartalmazza. Ez utóbbit ezúttal 0,1 mm-nek becsültem. A 6-os ábrán az n(x_n) pontpárok és a rájuk illesztett egyenes látható.

Táblázat 3

n	x_n (mm)	Δx_n (mm)
-3,5	81,1	0,1
-2,5	84,1	0,1
-1,5	87,0	0,1
-0,5	90,8	0,1
0,5	94,6	0,1
1,5	97,5	0,1
2,5	100,3	0,1
3,5	103,0	0,1
0	-	-
4,5	105,7	0,1
5,5	108,5	0,1
6,5	111,3	0,1
7,5	114,1	0,1
8,5	117,9	0,1
9,5	121,7	0,1
10,5	124,5	0,1
11,5	127,3	0,1

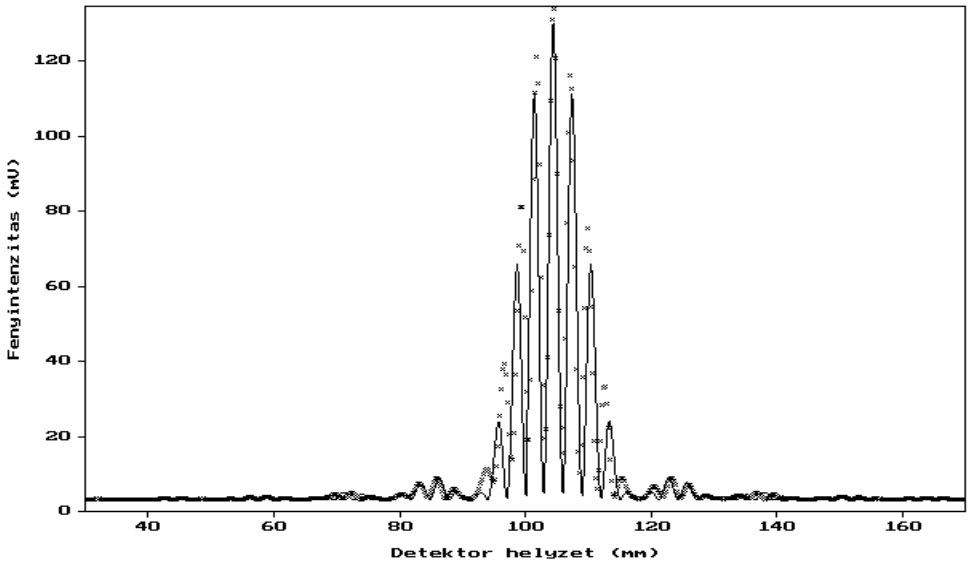
Ábra 6



Az egyenes meredeksége m=3,05±0,03, tehát $d = \frac{\lambda \cdot L}{m} = \frac{632{,}8 \cdot 10^{-9} \cdot 2563 \cdot 10^{-3}}{5{,}56 \cdot 10^{-3}}$ m ⇒ d=**(532±6)·10^{-6} m**. A hiba: δL=0,0015 , δm=0,01 ⇒ δa=0,011.

Az elméleti görbe és a mért adatok összevetés a 7. ábrán látható. Az ábra ezúttal is alátámasztja a számolt hiba nagyságát.

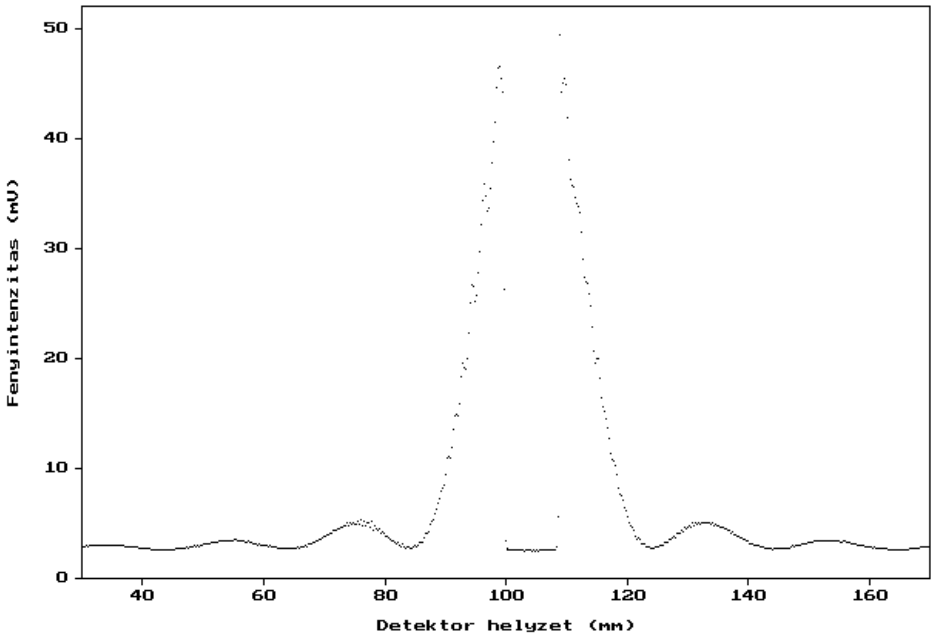
Ábra 7



3.3. A hajszál

A mérést az egyik saját hajszálamon végeztem.
A rés-detektor távolság L=(2599±5)·10^{-3} m volt.
Az 8-as ábra tartalmazza a mért intenzitásgörbét.

Ábra 8

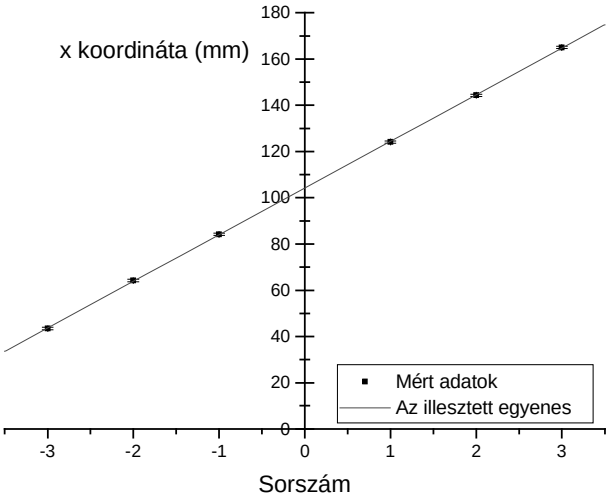


Az előzőekkel azonos módon a 4-es táblázat tartalmazza n(x_n) párokat, a 9. ábra pedig ugyanezeket az n(x_n) párokat és a rájuk illesztett egyenest.

Táblázat 4

n	x_n (mm)	Δx_n (mm)
-3	43,4	0,5
-2	64,2	0,5
-1	84,2	0,5
0	-	-
1	124,1	0,5
2	144,3	0,5
3	165	0,5

Ábra 9



Az egyenes meredeksége m=20,17±0,06, innen
$d_{átmérő}$=**(81,539±0,4)·10^{-6} m.**
(δL=0,002, δm=0,03 ⇒ δd=0,05.)

Megjegyzés: a 8-as ábrán látható hirtelen intenzitáscsökkenés annak köszönhető, hogy kitakartam a nem elhajló fényt, mert az olyan erős volt, hogy kárt tehetett volna a detektorban.