

Fényelhajlási jelenségek vizsgálata

Asztalos Bogdán

Hétfői csoport

mérés időpontja: 2017. 11. 20.

jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2017. 11. 27.

A mérés célja

Ha a terjedő fény útjába a hullámhosszával összemérhető méretű tárgy kerül, akkor már nem alkalmazhatóak a geometriai optika eszközei, hanem a hullámoptika képleteit használva kell leírni a jelenséget. Eszerint, a fény a tárgyon „elhajlik”, és az ernyőn interferenciakép jelenik meg. Az, hogy különböző tárgyak esetében milyen kép alakul ki, a Fraunhofer-diffrakcióval számítható ki. Eszerint, ha a fény réseken halad át, akkor különböző irányokban az interferenciaképben intenzitásminimumok jelennek meg, amik helyzete függ a rés nagyságától, több rés esetén ezek távolságától. A mérés során ezen minimumhelyek helyzetét mérjük, és ebből következtetünk az akadályok méretére.

A mérés eszközei

- Lézer
- Optikai tengely, ami mentén az eszközök egy sínen mozgathatók
- Egyrés
- Kettősrés
- Hajszál
- Penge
- Tologató izé, amire a vizsgált mintát tehetjük
- Detektor, ami érzékeli a fényintenzitást a hely függvényében, és az adatokat továbbítja a számítógépre
- Számítógép a mérést kiértékelő szofverekkel

A mérés menete

A lézert és a mintatartót rátesszük a sínre, és beállítjuk őket olyan helyzetben, hogy az interferenciakép azon a helyen jöjjön létre, ahol a detektor érzékelti tudja. A mintatartóra rátesszük a vizsgálni kívánt mintát, beállítjuk, hogy a lézer fény úgy essen rá, hogy a létrejövő interferenciakép szemre a lehető legjobb legyen, majd a detektorral felvesszük a fényintenzitás helyfüggvényét.

A detektor egy, az optikai tengelyre merőleges egyenesen mozog, így a pozíciója változásában a fénynek az eredeti irányától való eltérülésének szögével kifejezhető. A kiértékelő szoftverrel megkeressük a kialakuló interferenciakép minimumhelyeit, amiből a Fraunhofer-diffrakció képleteinek segítségével megállapíthatjuk a minta jellemző méreteit. Ezek ismeretében ábrázoljuk az elméletileg várt interferenciaképet, és összehasonlítjuk a mérésben kapottal.

Négy mintát vizsgálunk. Először a fényt egy résre irányítjuk, másodszor egy kettősrésre, harmadszor egy hajszálra, negyedjére pedig egy síklap (penge) szélére.

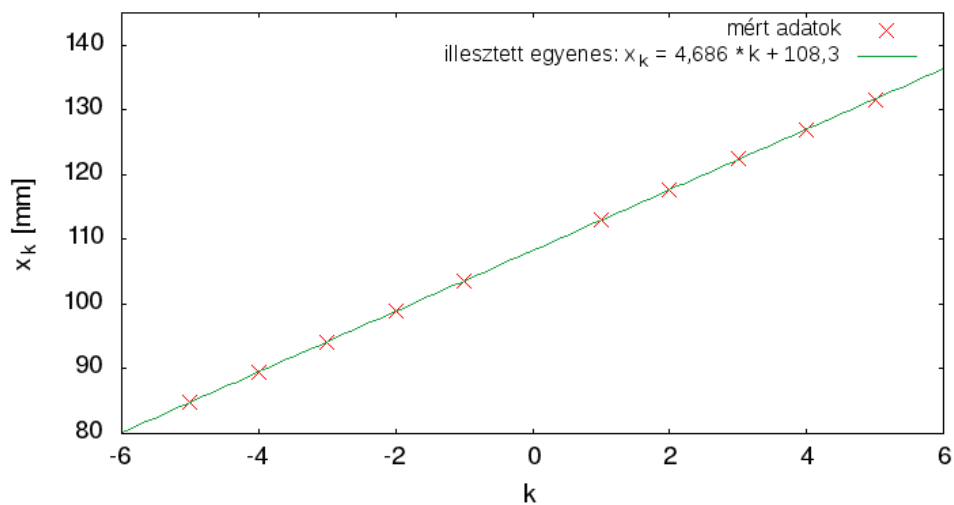
Kiértékelés

Egyrés Résen való elhajlás esetén az interferenciakép intenzitása az optikai tengellyel α szöget bezáró irányban a Fraunhofer-diffrakció alapján:

$$I(\alpha) = I_0 \frac{\sin^2 \varepsilon}{\varepsilon^2} \quad \text{ahol} \quad \varepsilon = \pi \frac{a}{\lambda} \sin \alpha$$

Itt a a rés szélessége, λ a fény hullámhossza, I_0 pedig egy konstans intenzitás. Ebből levezethető, hogy a k . minimum iránya és a tengely között bezárt szög $\sin \alpha_k = k \frac{\lambda}{a}$. Mivel a mérési elrendezés olyan, hogy α szög értéke elég kicsi, használhatjuk az $\alpha \approx \sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{d}{L}$ közelítést, ahol d a detektor távolsága az optikai tengelytől, L pedig a detektor távolsága a mintától. Ez alapján $d_k = \frac{\lambda L}{a} k$. A mérés során L végig 2021 mm volt, d pedig tipikusan néhány cm , így a szög tényleg elég kicsi volt ahhoz, hogy a fenti közelítést használjuk.

A detektor helyzetét a mérés során nem a tengelytől való d távolsággal jellemeztük, hanem egy nullhelyzettől való x távolsággal. Mivel $x = x_0 + d$, ezért a k . minimumhely x_k helyzetének k függése szintén lineáris, ábrázolva x_k -t a k függvényében egy $\frac{\lambda L}{a}$ meredekségű egyenest kell kapjunk. A mérési eredményeket az 1. táblázat (a) része tartalmazza, grafikusán pedig az 1. ábra ábrázolja.



1. ábra. A résen való elhajlás interferenciaképen lévő minimumok helyzete a rend függvényében.

Az adatokra valóban egyenes illeszthető, ennek meredeksége: $m = 4,686 \text{ mm} \pm 0,006 \text{ mm}$, amiből $a = 0,2729 \text{ mm} \pm 0,0006 \text{ mm}$ adódik. Az 5. ábrán ábrázoltuk a mért intenzitást, és a Fraunhofer-diffrakcióból várt intenzitáseloszlást. Mint látszik, ezek elég jól egybeesnek.

Kettősrés Amikor a fény kettősre halad keresztül, akkor a két résen át kialakuló interferenciakép egymással is interferál. A Fraunhofer-diffrakció alapján ilyenkor a kialakuló interferenciakép intenzitáseloszlása két tényező, az alaktényező és a szerkezeti tényező szorzata. Az alaktényező a résre jellemző függvény, ez az előző részben említett összefüggés. A szerkezeti tényező a két résre $\cos^2 \left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha \right)$. Mivel ennek a függvénynek a frekvenciája nagyobb, mint az alaktényezőé, ezért a függvény egy gyorsan oszcilláló koszinusz függvény, aminek a burkoló görbéje az alaktényezőből kapott, egyrésre jellemző görbe.

Így tehát az intenzitáseloszlás minimumai egyrészt a burkológörbe elsőosztályú minimumai, másrészt a valódi oszcillálás másodosztályú minimumai. Ezek szintén egy egyenesre illeszkednek a k rend függvényében, az illeszkedő egyenes meredeksége az elsőosztályú minimumokkal a rés szélességétől függ, míg a másodosztályú minimumok helye a rések távolságától. Az a különbség, hogy a másodosztályú minimumok rendjét úgy kell tekinteni, mint ha félegészek volnának. Az első osztályú minimumok pozícióját az 1. táblázat (a) része, míg a másodosztályú minimumok pozícióját a (b) része tartalmazza.

k	$x_{\min k} [mm]$		
	Egyrés	Kettősrés, burkoló	Hajszál
-5	84,83	—	24,12
-4	89,56	—	39,54
-3	94,14	73,94	56,91
-2	98,87	85,43	73,47
-1	103,6	96,91	90,02
1	112,9	119,8	123,2
2	117,6	131,2	140,2
3	122,4	142,6	157,3
4	127,0	—	173,7
5	131,6	—	—

(a)

k	$x_{\min k}$
-4,5	98,74
-3,5	100,8
-2,5	103,0
-1,5	105,2
-0,5	107,2
0,5	109,4
1,5	111,5
2,5	113,6
3,5	115,7
4,5	118,0

(b)

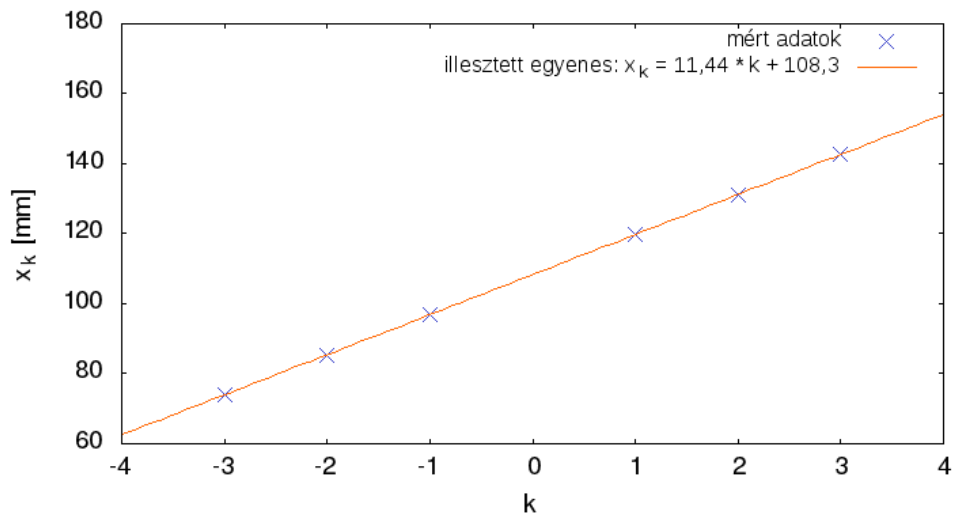
1. táblázat. (a) Az egyrésen és a hajszálon elhajló fény intenzitáseloszlásában kialakuló minimumok és a kettősrésen elhajló fény intenzitáseloszlásán kialakuló elsőosztályú minimumok helyei a k rend függvényében. (b) A kettősrésen elhajló fény intenzitáseloszlásán kialakuló másodosztályú minimumok helyei a k rend függvényében.

Grafikusan az elsőosztályú minimumok helyét a rend függvényében a 2. ábra ábrázolja, míg a másodosztályú minimumokét a 3. ábra. Mindkettőre illesztettünk egyenest, az elsőosztályú minimumok esetén ez $m_1 = 11,443 \text{ mm} \pm 0,0007 \text{ mm}$, míg a másodosztályú minimumokén $m_2 = 2,132 \text{ mm} \pm 0,006 \text{ mm}$. Ez alapján a rések szélessége $a = 0,1118 \text{ mm} \pm 0,0002 \text{ mm}$, míg a két rés távolsága, azaz a „rácsállandó” $d = 0,600 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$. Ezekkel a paraméterekkel ábrázoltuk, hogy milyen görbének kell lennie az intenzitáseloszlás burkolójának, illetve milyennek kell lennie magának az intenzitáseloszlásnak. Az adatokat a burkolóval a 6. ábra, a ténylegesen várt görbével pedig a 7. ábra ábrázolja. Mint látszik, ezek is jól illeszkednek egymásra.

Hajszál Mivel a szál a rés komplementer alakzata, a Babinet-elv miatt a kialakuló interferenciakép ugyanolyan kell legyen, amilyen a rés esetében volt, kivéve a szálnak az ernyőre vetített képén. A 8. ábrán, amin a kapott interferenciakép látható, valóban azt látjuk, hogy hasonló képet kapunk, kivéve középtájon, ahol az intenzitás sokkal magasabb, mint máshol. Az intenzitásminimumokat itt is megkerestük, ezeket szintén az 1. táblázat tartalmazza, grafikusán pedig a 8. ábra ábrázolja.

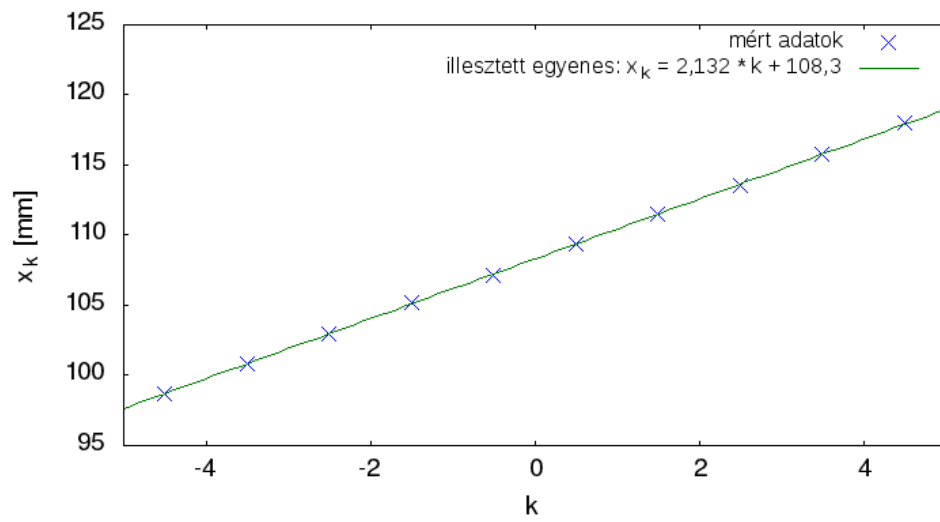
A minimumhelyek rendfüggésére illesztett egyenes meredeksége $m = 16,68 \text{ mm} \pm 0,04 \text{ mm}$, amiből kiszámítható, hogy a hajszál vastagsága $a = 76,6 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,3 \text{ } \mu\text{m}$. Ábrázoltuk, hogy egy ilyen vastag rés milyen elhajlási képet okozna, ez a 8. ábrán látható, és valóban látható, hogy a középtartományon kívül jól illeszkedik a mérési adatokra.

Egyenes él Itt a fény útjának az egyik oldalát egy pengével eltakartuk, és azt mértük milyen interferencia kép alakul ki ennek a túloldalán. Ez a 9. ábrán látható. Mivel ebben az esetben már nem alkalmazható a Fraunhofer-diffrakció az interferenciakép kiszámolására, a Fresnel-féle elhajlást kell használni. Ennek képletei azonban bonyolultabbak, így exaktul

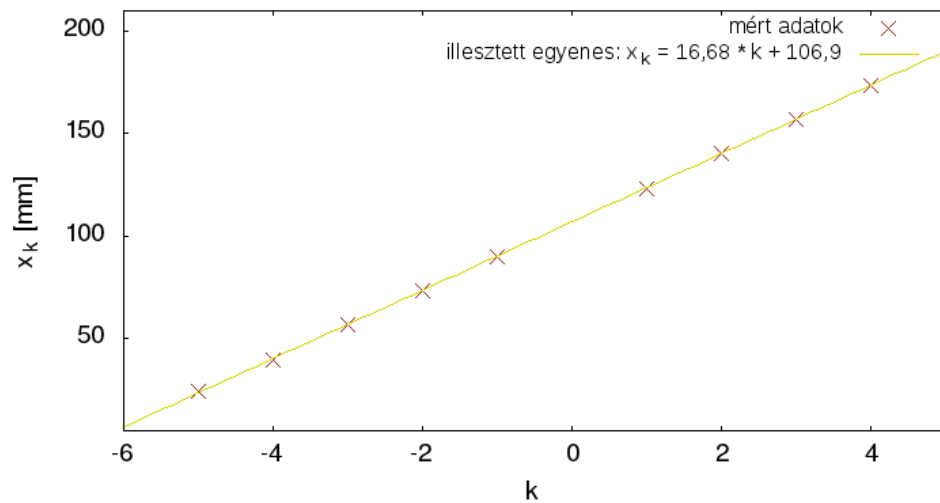


2. ábra. A résen való elhajlás interferenciaképen lévő elsőosztályú minimumok helyzete a rend függvényében.

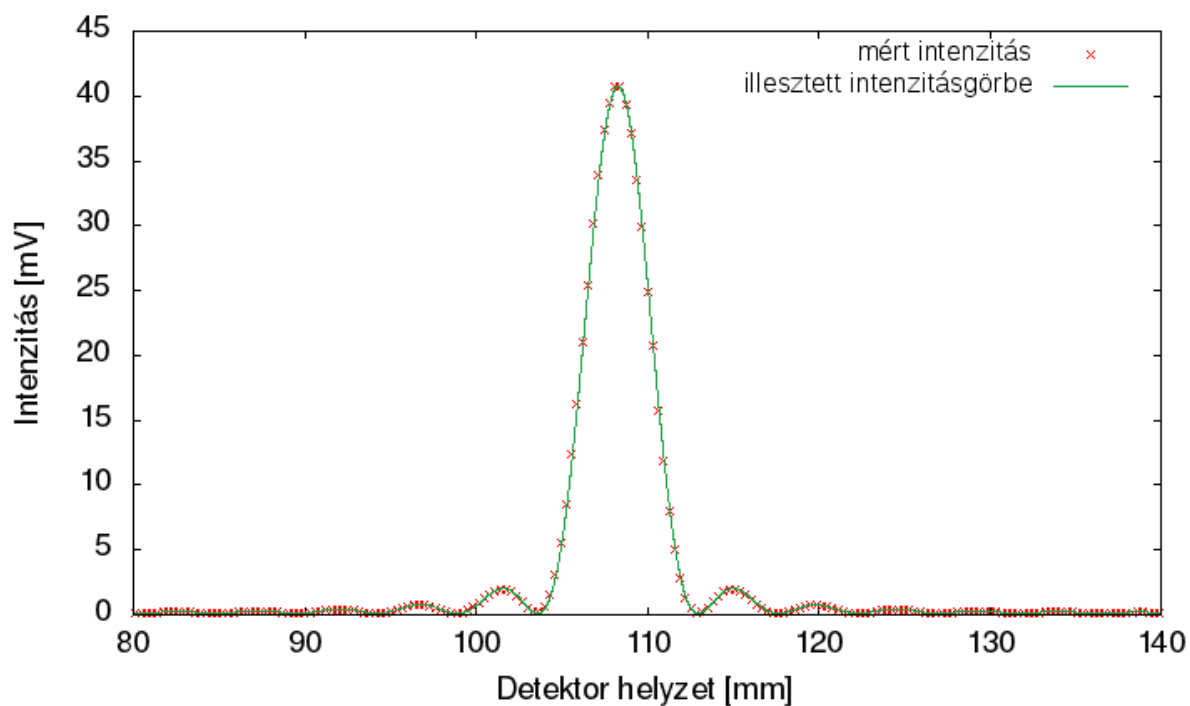
nem, csak numerikus integrálok elvégzésével lehet megkapni, hogy milyen intenzitáseloszlás alakul ki a félsík mögött az ernyőn. A számítógépen található kiértékelő programmal megpróbáltuk úgy megtalálni a paramétereket, hogy az általa kiszámolt és ábrázolt görbe a lehető legjobban illeszkedjen a mért pontokra. Így, az adatok a következők: az intenzitás alapszintje $0,11 \text{ mV}$, az amplitudó $2,4309 \text{ mV}$, a középpont $123,10 \text{ mm}$ a nagyítás pedig $1,5667$. Az így illesztett görbét szintén a 9. ábrán ábrázoltuk.



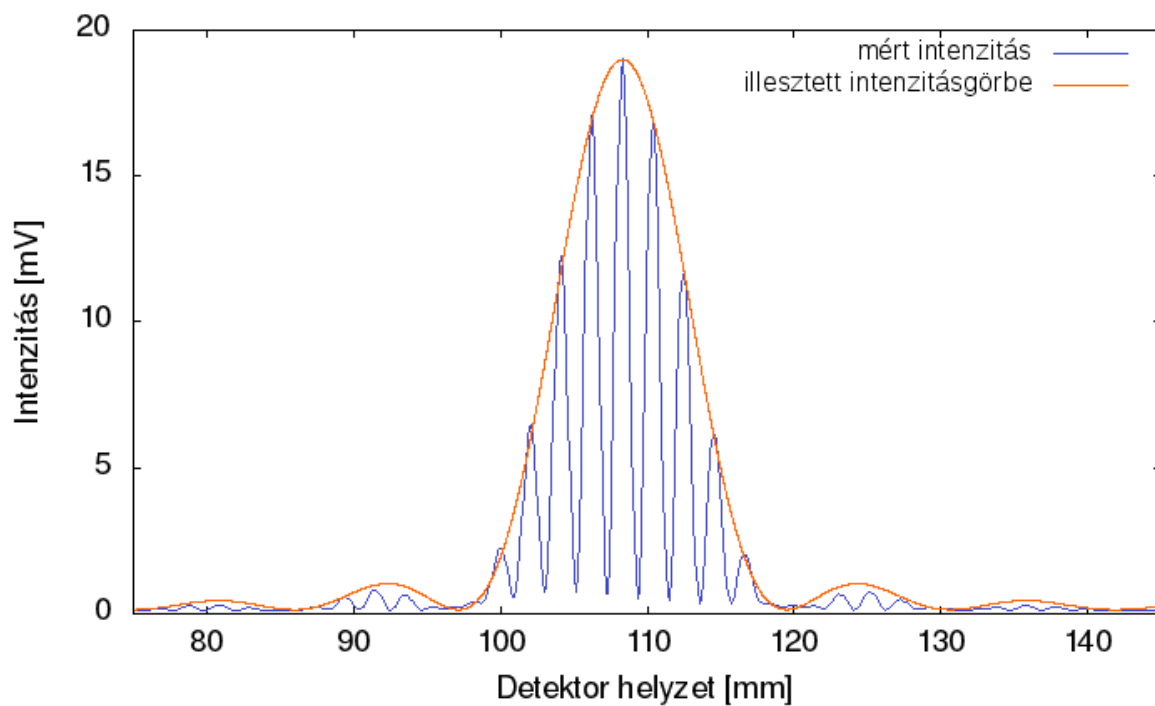
3. ábra. A résen való elhajlás interferenciaképen lévő másodosztályú minimumok helyzete a rend függvényében.



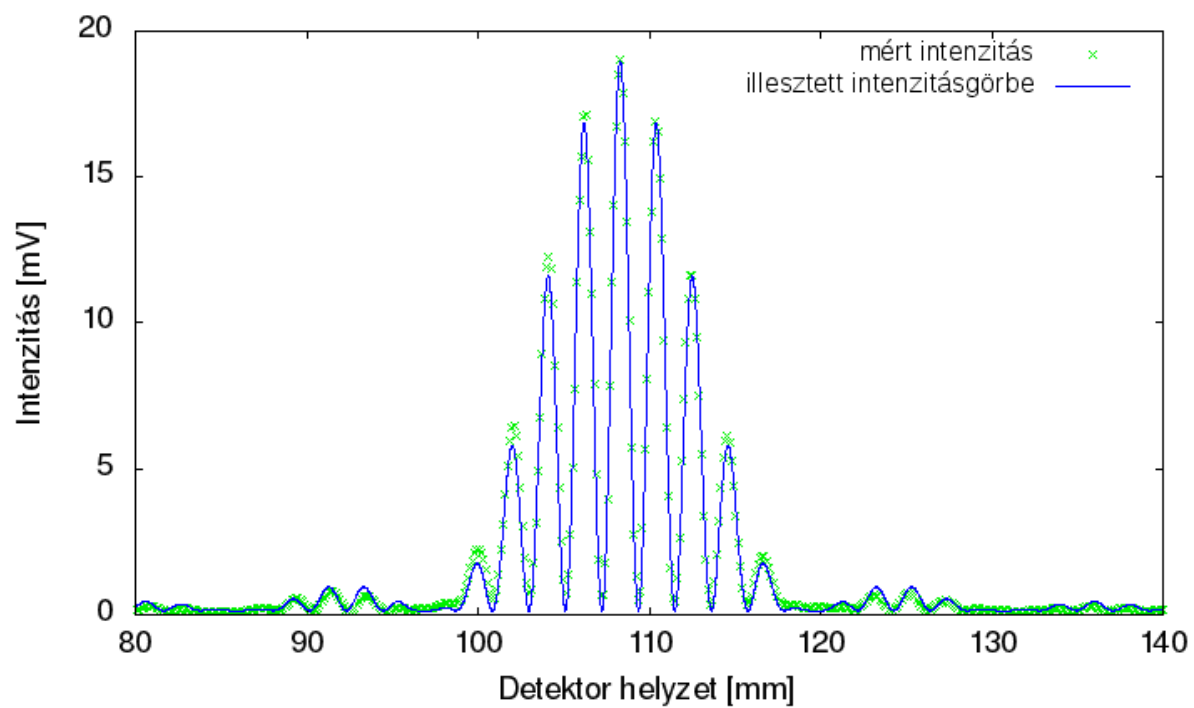
4. ábra. A hajszálon való elhajlás interferenciaképen lévő minimumok helyzete a rend függvényében.



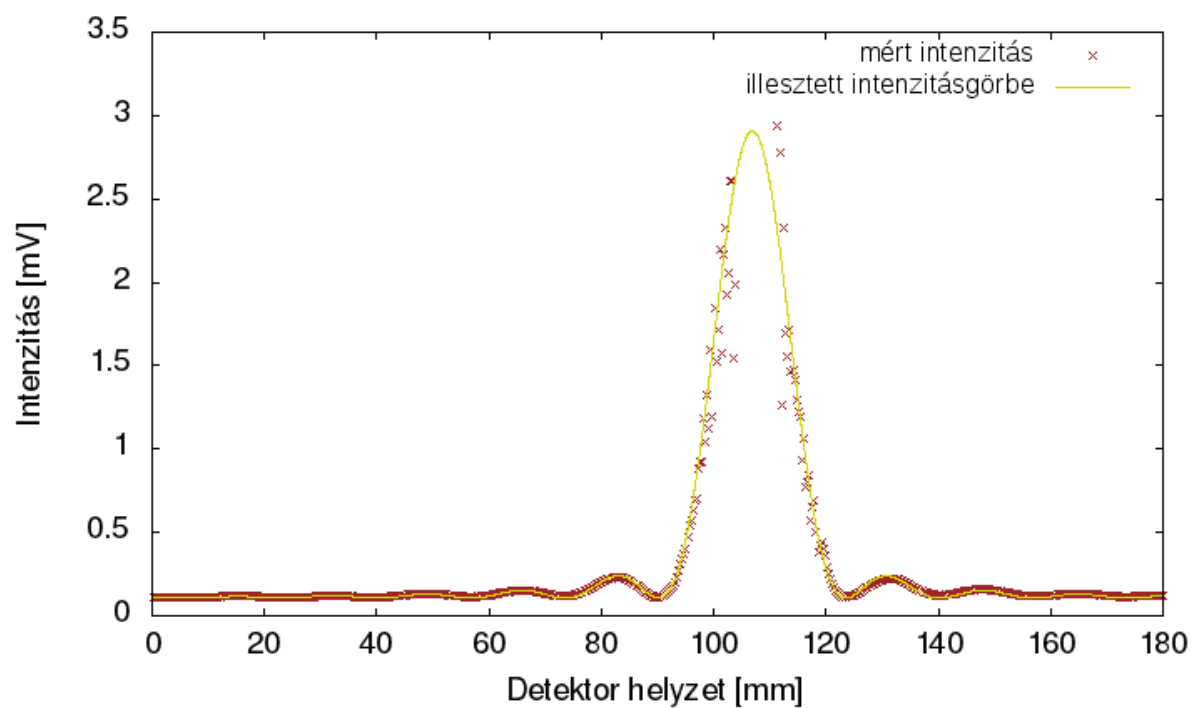
5. ábra. A rés túloldalán keletkező interferenciakép és az intenzitáseloszlás elméletből számított alakja



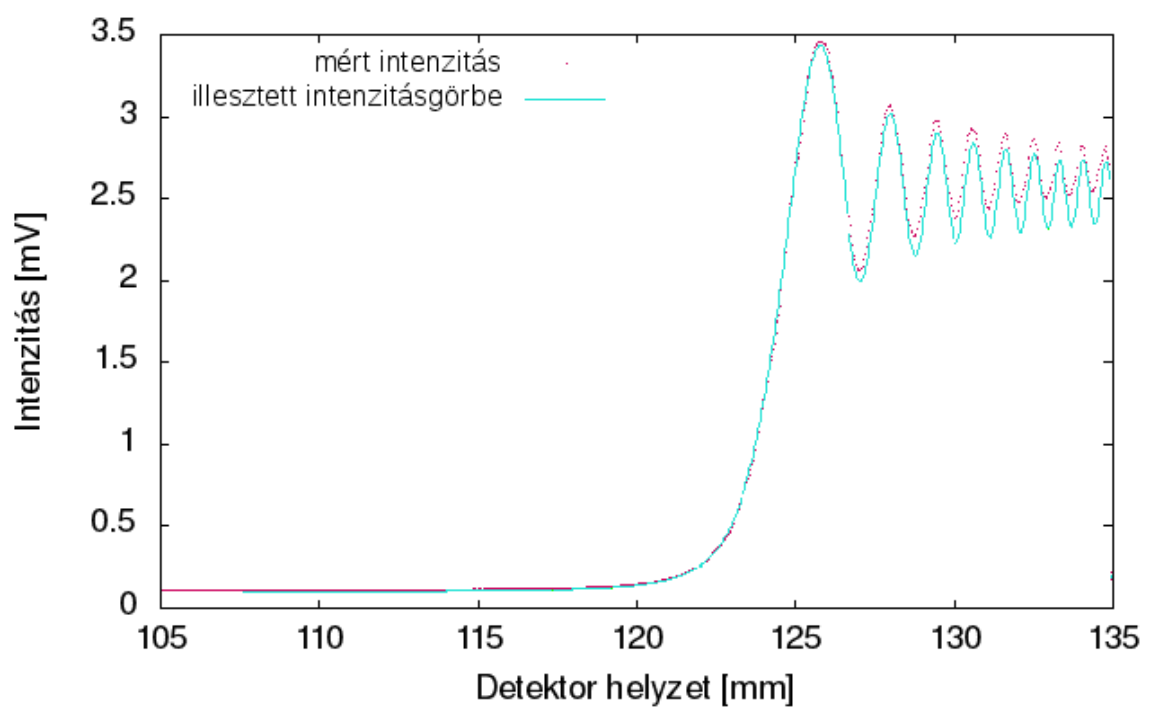
6. ábra. A kettősrés túloldalán keletkező interferenciakép és az intenzitáseloszlás burkolójának elméletből számított alakja



7. ábra. A kettősrés túloldalán keletkező interferenciakép és az intenzitáseloszlás elméletből számított alakja



8. ábra. A hajszál túloldalán keletkező interferenciakép és az intenzitáseloszlás elméletből számított alakja



9. ábra. Az egyenes él túloldalán keletkező interferenciakép és az intenzitáseloszlás elméletből számított alakja