Fényelhajlási jelenségek vizsgálata

(Mérési jegyzőkönyv)

Hagymási Imre

2007. április 16.
(hétfő délelőtti csoport)

1. A mérés elmélete

Interferenciajelenségek nemcsak optikai rácsoknál figyelhetők meg. A Huygens-Fresnel-elv értelmében már egy egyszerű résen vagy szálon is elhajlási jelenségeket figyelhetünk meg. A mérés során fényforrásként egy *He-Ne* lézert használtunk, ugyanis a lézerek nagy koherenciahosszal rendelkező, stabil frekvenciájú nyaláb kibocsátására képesek. Az elhajlási jelenségek - mint az interferenciajelenségek általában - kis távolságok meghatározására kiválóan alkalmas. A mérés során ennek bemutatására, meghatározzuk egy rés, kettősrés és egy hajszál méreteit. Végül a Fresnel-elhajlás illusztrálásaként egy borotvapengén való diffrakciót vizsgáltunk meg.
A mérési elrendezésben az ernyő helyén egy számítógéppel vezérelt fotodetektor található, amely segítségével mérni tudjuk a létrejövő elhajlási kép intenzitáseloszlását. Az egész elrendezés egy elsötétíthető dobozban foglal helyet.

2. Fraunhofer-elhajlás

Keskeny résen áthaladó, párhuzamos és a rés síkjára merőleges fénynyaláb egy része eltérül eredeti irányához képest és fényelhajlás jön létre. Ha az ernyő és a rés L távolsága jóval nagyobb a rés méretéhez képest, akkor a kapott intenzitáseloszlás minimumhelyeinek a főmaximumtól mért x_n koordinátái a következők [1]:

$$x_n = n\frac{\lambda L}{a}, \quad \text{ahol } n \in \mathbb{Z}\backslash\{0\}, \tag{1}$$

$\lambda = (632.8 \pm 0.1)$nm, a lézerfény hullámhossza, a pedig a rés szélessége. Tehát ha megmérjük a minimumok x_n helyeit és n függvényében ábrázolva meghatározzuk a pontokon átmenő egyenes m meredekségét, akkor ennek segítségével a rés szélessége:

$$a = \frac{\lambda L}{m}. \tag{2}$$

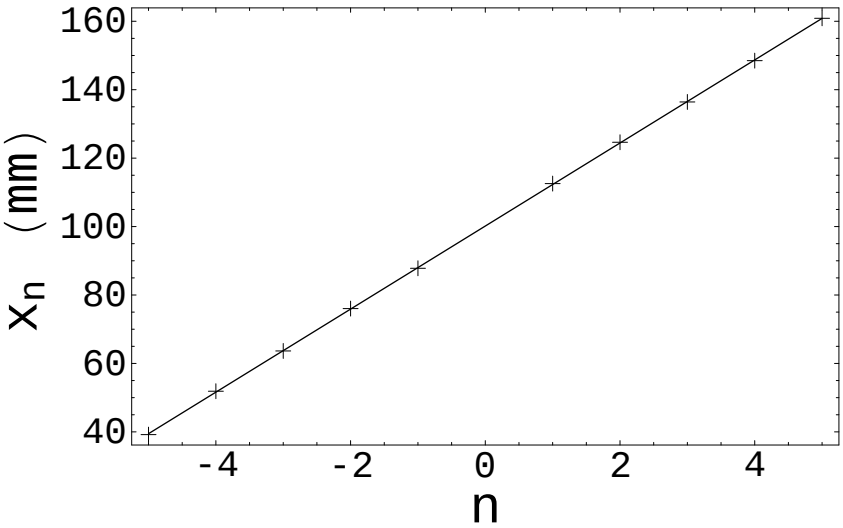
2.1. Egyszeres rés vizsgálata

A mérés során az „A” jelű, legkeskenyebb rés szélességét mértük. Az intenzitáseloszlásról készült számítógépes ábra az 1. mellékelt lapon látható. Ebben a

mérésben a rés és a detektor távolsága $L = (2597 \pm 3)$mm volt. A számítógépes program segítségével meghatároztam az intenzitásgörbe első néhány minimumhelyeit, melyek az 1. táblázatban találhatók. Ezt követően az adatpontokra egyenest illesztettem, melynek eredménye az 1. ábrán látható.

n	x_n (mm)
-5	39.20
-4	51.88
-3	63,65
-2	76.03
-1	87.81
1	112.56
2	124.64
3	136.42
4	148.49
5	160.87

1. táblázat. Az egyszeres rés első néhány minimumhelye.



1. ábra. Az egyszeres rés minimumhelyei n függvényében.

Az illesztett egyenes m meredeksége és b tengelymetszete:

$$m = (12.13 \pm 0.02)\text{mm}, \tag{3}$$
$$b = (100.15 \pm 0.07)\text{mm}. \tag{4}$$

Ezen adatok birtokában a rés a szélessége:

$$\mathbf{a} = \frac{\lambda \mathbf{L}}{\mathbf{m}} = (\mathbf{0.1354 \pm 0.0002})\mathbf{mm}. \tag{5}$$

2.2. Kettős rés vizsgálata

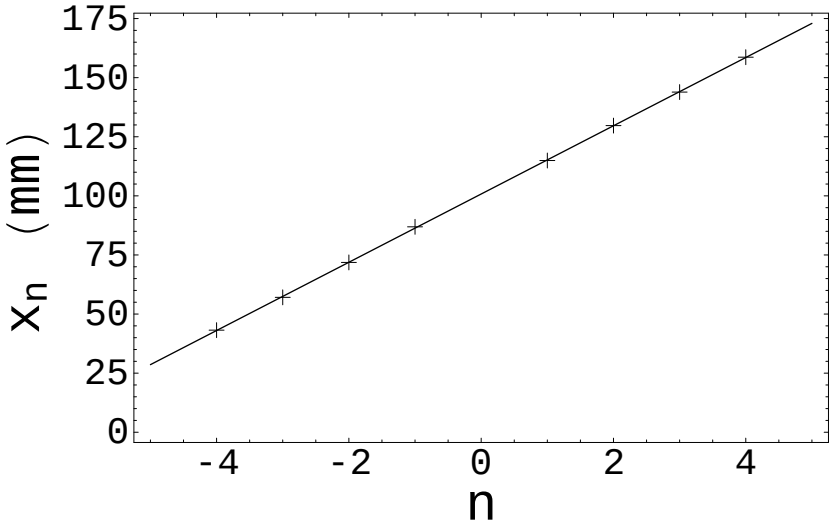
A mérés során az „A" jelű kettős rést vizsgáltuk. A detektor és a rés távolsága $L = (2602 \pm 3)$mm volt. Ilyenkor a réseken átjutó fénynyalábok egymással is interferálnak, ezáltal az egyszeres rés elhajlási képére további interferenciacsíkok rakódnak rá. A létrejövő elhajlási kép burkológörbéje megegyezik az egyszeres rés esetén kapottal, ennek a minimumait *elsőosztályú minimumoknak*, a köztes minimumokat pedig *másodosztályú minimumoknak* nevezzük. A mért intenzitásgörbe a második csatolt lapont látható. Az elsőosztályú minimumok helye (1), míg a rés szélessége (2) képlet szerint számítható. Az elsőosztályú minimumhelyek a 2. táblázatban, az adatokra illesztett egyenes pedig a 2. ábrán látható. Az illesztett egyenes m meredeksége és b

n	x_n (mm)
-4	43.19
-3	57.07
-2	71.84
-1	86.90
1	114.95
2	129.72
3	143.90
4	158.66

2. táblázat. A kettősrés első néhány elsőosztályú minimumhelye.

tengelymetszete:

$$m = (14.43 \pm 0.04)\text{mm} \tag{6}$$
$$b = (100.7 \pm 0.1)\text{mm}. \tag{7}$$



2. ábra. A kettősrés elsőosztályú minimumhelyei n függvényében.

Ezek segítségével a résszélesség:

$$\mathbf{a} = \frac{\lambda \mathbf{L}}{\mathbf{b}} = (\mathbf{0.1141 \pm 0.0003})\mathbf{mm}. \tag{8}$$

A másodosztályú minimumok segítségével pedig a d réstávolság határozható meg, ugyanis a másodosztályú minimumok főmaximumtól mért távolsága [1]:

$$x_k = k\frac{\lambda L}{d} \text{ ahol } k \in \frac{\mathbb{Z}}{2}\backslash\{0\}. \tag{9}$$

Azaz az x_k értékeket k függvényében ábrázolva, a meredekségből d értéke meghatározható. A másodosztályú minimumhelyek a 3. táblázatban találhatók, az adatokra illesztett egyenes pedig a 3. ábrán látható. Az illesztett egyenes m meredeksége és b tengelymetszete:

$$m = (2.75 \pm 0.01)\text{mm}, \tag{10}$$

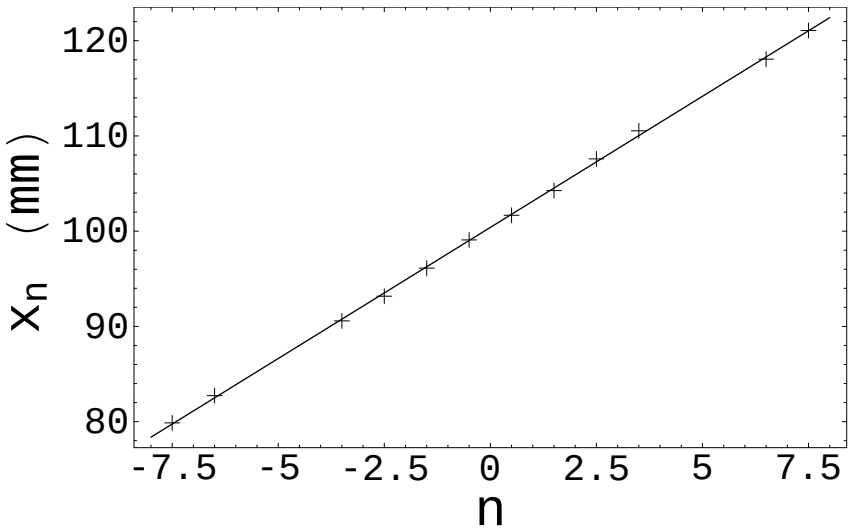
$$b = (100.39 \pm 0.07)\text{mm}. \tag{11}$$

Az eddigiekhez hasonlóan, a rácsállandó:

$$\mathbf{d} = \frac{\lambda \mathbf{L}}{\mathbf{b}} = (\mathbf{0.5987 \pm 0.0002})\mathbf{mm}. \tag{12}$$

n	x_n (mm)
-7.5	79.87
-6.5	82.73
-3.5	90.58
-2.5	93.17
-1.5	96.12
-0.5	99.08
0.5	101.67
1.5	104.26
2.5	107.59
3.5	110.54
6.5	118.06
7.5	121.07

3. táblázat. A kettősrés első néhány másodosztályú minimumhelye.



3. ábra. A kettősrés másodosztályú minimumhelyei n függvényében.

2.3. Hajszálon való elhajlás

A vékony szál az egyszerű rés komplementere abban az értelemben, hogy ahol a rés átenged, ott a hajszál nem és fordítva. A Babinet-elv szerint az ilyen elrendezések intenzitáseloszlásai azonosak, kivétel azok a pontok,

ahova közvetlenül jut fény. A mérés során a detektor elérte méréshatárát, ezért a gyújtött adatsorból eltávolítottam a használhatatlan pontokat. Az így korrigált adatsorra az elméleti várakozásnak megfelelő

$$I = I_0 \left(\frac{\sin(\zeta(x - x_0))}{\zeta(x - x_0)} \right)^2 + \xi \tag{13}$$

alakú függvényt illesztettem, ahol

$$\zeta = \pi \frac{a}{\lambda L}. \tag{14}$$

Az illesztés eredménye a 4. ábrán látható. A legjobban illeszkedő görbe ζ paramétere:

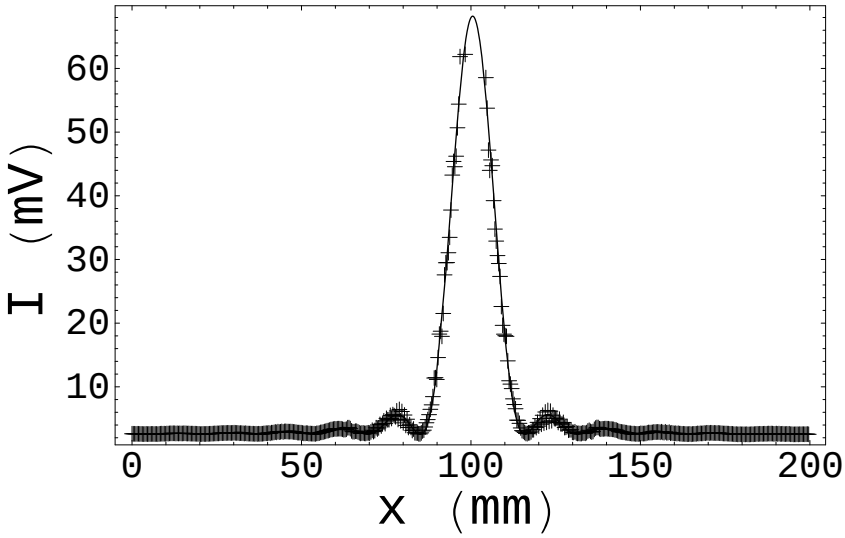
$$\zeta = (0.2029 \pm 0.0006) \frac{1}{\mathrm{mm}}. \tag{15}$$

A detektor és a hajszál távolsága $L = 2602 \pm 3\mathrm{mm}$ volt. A (14) összefüggés szerint a hajszál vastagsága:

$$a = \frac{\lambda L \zeta}{\pi} = (\mathbf{0.1063 \pm 0.0004})\mathbf{mm}. \tag{16}$$

3. Fresnel-elhajlás egyenes élen

A féltéren való elhajlás tanulmányozásához a lézer elé nyalábtágítót helyeztem, amelynek távolsága a detektortól 260.2 cm, a féltér távolsága a detektortól pedig 197.6 cm volt.
Az elhajlási kép bonyolultabb, mint a Fraunhofer-elhajlás esetében, mivel az interferenciát gömbhullámokkal kell leírni. A kapott intenzitáseloszlás a 3. mellékelt lapon látható.



4. ábra. A hajszál korrigált elhajlási képe és a legjobban illeszkedő elméleti görbe.

Hivatkozások

[1] Havancsák Károly: *Mérések a klasszikus fizika laboratóriumban*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2003.