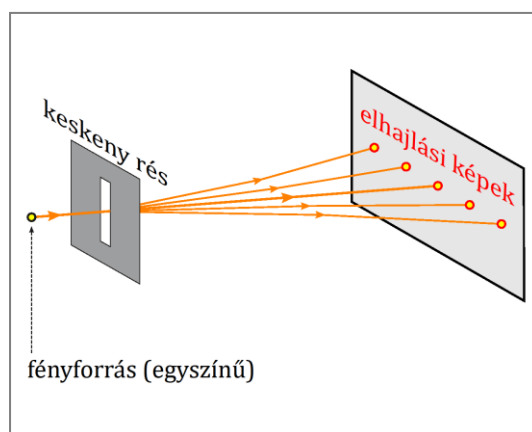


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

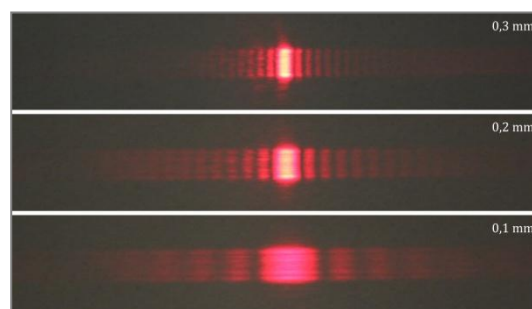
Fényelhajlás résen és rácson

A mechanikai hullámoknál és az elektromágneses hullámoknál láttuk, hogy a keskeny résen áthaladó hullámok elhajlanak. Ha a rés szélessége csak néhányszor nagyobb, mint a hullámhossz, akkor a rés mögötti elemi hullámok bizonyos irányokban erősítik, másutt kioltják egymást. Ugyancsak elhajlás figyelhető meg az akadályok szélénél, a sok résből álló rácsonál, valamint a hullámhosszal összemérhető nagyságú akadályoknál is. Hasonló jelenségek a fényhullámoknál is megfigyelhetők.

Ha egy függőleges helyzetű, nagyon keskeny résen keresztül egyszínű fénysugarat (pl. lézertényt) bocsátunk át, akkor a rés mögött helyezett ernyőn jellegzetes interferenciaképet láthatunk: Az egyenes vonalú terjedéshez tartozó, középső fénypont mellett kétoldalt szimmetrikusan további fénylő, de elmosódott szélű foltokat figyelhetünk meg.



A rés szélességét szűkítve ezek a foltok egyre távolabb kerülnek egymástól. A képen vörös lézertény különböző szélességű réseken történő áthaladása során létrejövő interferenciaképek láthatók. Megfigyelhető, hogy az egyre szűkebb réseken az erősítések és a gyengítések helyei egyre messzebb kerülnek egymástól.

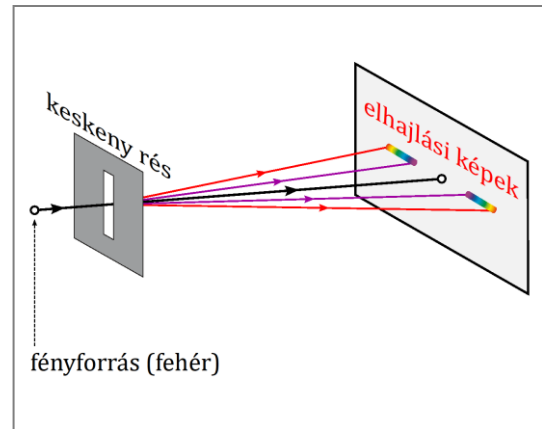


(Videó erről a kísérletről: <https://www.youtube.com/watch?v=AAsvGCW5BGg>).

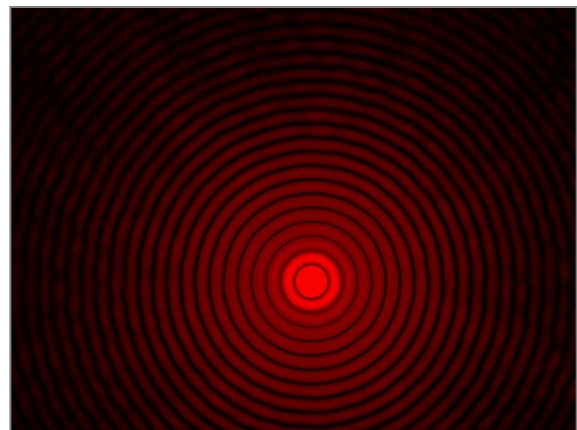
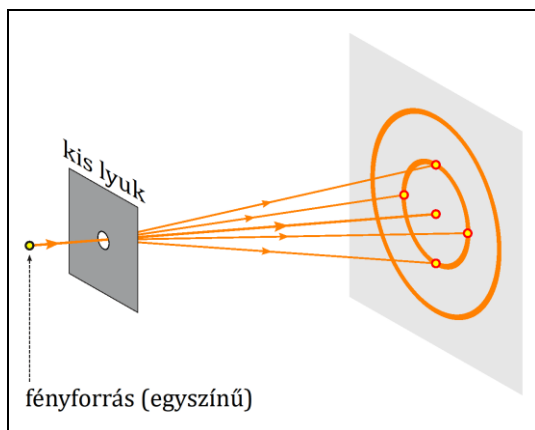
Ez a jelenség a fényhullámok *elhajlása* és *interferenciája* miatt jön létre. A résen áthaladó, az árnyéktérbe is bejutó elemi hullámok egy vízszintes helyzetű vonal mentén érik el az ernyőt. Az egyes elemi hullámok azonban eltérő hosszúságú utat futnak be, így az útkülönbség, és az emiatt létrejövő fáziskülönbség miatt bizonyos helyeken erősítik, más helyeken pedig kioltják egymást. Mivel az ernyő egy adott pontjában a beérkező

fénysugarak fáziskülönbségét a fény hullámhossza is befolyásolja, az interferenciakép függ a fény hullámhosszától is: minél nagyobb a fény hullámhossza, az erősítések helyét jelző foltok annál távolabb vannak egymástól.

Ha az előző kísérletet fehér fényel végezzük el, akkor kétoldalt apró, szivárványszínű foltok jelennek meg. A foltok ibolyaszínű vége közelebb van a középső, fehér ponthoz, mint a foltok vörös vége. Ennek az az oka, hogy ugyanazon a résen a különböző színű, azaz különböző hullámhosszú fények más és más helyeken erősítik egymást.



Ha alumíniumfólián túvel egy parányi lyukat készítünk, és ezen át egy egyszínű, fényt bocsátunk át, akkor az egyenes vonalú terjedéshez tartozó, középső fényfolt körül sötét és világos gyűrűket láthatunk az ernyőn.

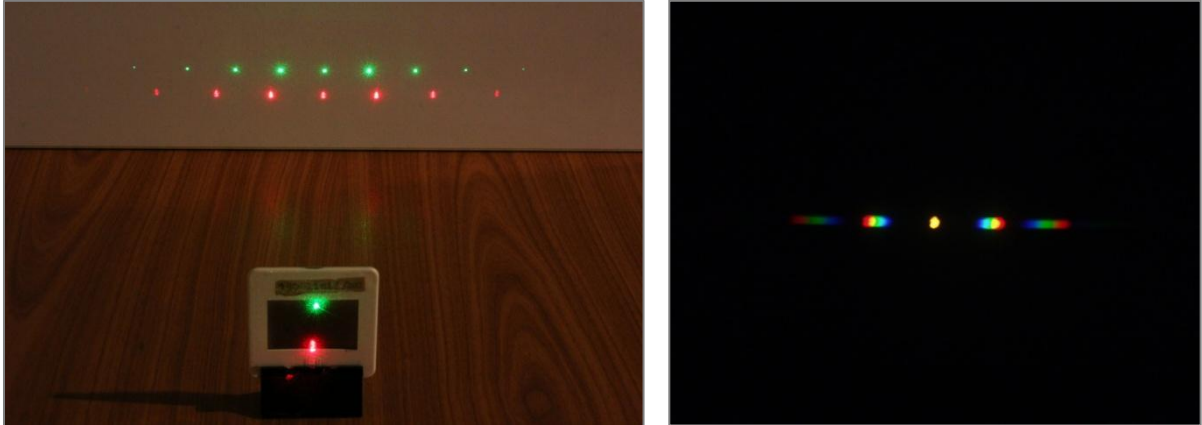


A kör alakú nyíláson a fény ugyanis nem csak oldalra, hanem minden irányban elhajlik. Az erősítések irányai így egy-egy kúpfelületet határoznak meg, és ezeknek az ernyővel való metszésvonalainál alakulnak ki a világos gyűrűk. (A fenti rajzon csak egyetlen ilyen kúp fénysugarait tüntettük fel.) Fehér fény esetén a gyűrűk színesek.

Az optikai rácsok sok kisméretű, szabályos rendben elhelyezkedő nyílást tartalmaznak. A legegyszerűbb rács egymástól azonos távolságra elhelyezkedő, egymással párhuzamos

réseket tartalmaz. A szomszédos rések azonos helyzetű széleinek távolságát rácsállandónak nevezzük; jele: d .

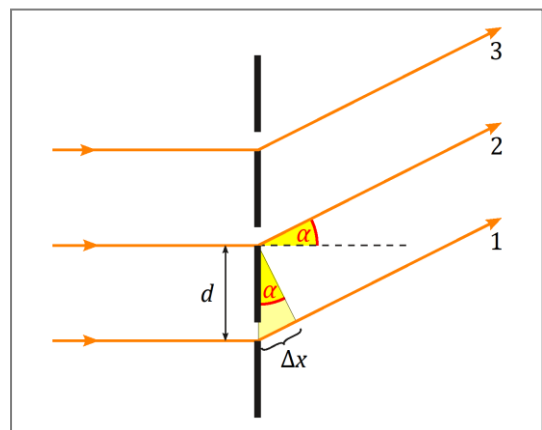
Ha egy ilyen vonalas rácson át egyszínű fényt (pl. lézert fényt) bocsátunk át, akkor a rács mögé helyezett ernyőn az egyenes vonalú terjedéshez tartozó, középső fénypont mellett kétoldalt szimmetrikusan további fénylő pontokat figyelhetünk meg. Ez a látvány hasonló ahhoz, amit a résnél láthattunk, de annál fényesebb.



A kísérletben fehér fényt használva itt is szivárványszínű foltok láthatók, a színek sorrendje ugyanolyan, mint a résnél: A foltok ibolyaszínű vége közelebb van a középső, fehér ponthoz, mint a foltok vörös vége.

A kísérletben látottak szintén a fényelhajlással értelmezhetők. A beeső fény a rács nyílásain áthaladva elhajlik. A rács mögötti térrészbe bejutó elemi hullámok az interferencia miatt bizonyos irányokban erősítik, másutt kioltják egymást. Az erősítés irányába eső fénynyaláb azonban most nem egyetlen, hanem nagyon sok, egymás mellett elhelyezkedő résen halad át. Emiatt több fény jut az ernyőre, ezért a látvány fényesebb, mint egyetlen résnél.

Az interferencia okozta erősítések irányát megadó összefüggés a következőképpen vezethető le. A d rácsállandójú rácstra beeső fény hullámhosszát jelöljük λ -val. Az ábrán olyan α szöggel eltérített sugarakat rajzoltunk be, amelyek hasonló helyzetűek. (A rések alsó szélénél haladnak.) Két ilyen szomszédos (pl. 1 és 2) sugár interferenciája akkor eredményez



erősítést, ha azonos fázisban találkoznak. Ennek feltétele, hogy a rajzon Δx -szel jelölt útkülönbségük a hullámhossz egész számú többszöröse legyen, azaz

$$\Delta x = k \cdot \lambda, \quad (\text{ahol } k \text{ egész szám}).$$

A megjelölt derékszögű háromszög Δx -szel szemközti hegyesszöge szintén α . (Merőleges szárú hegyesszögek.) A háromszög átfogója ugyanakkora, mint a rácsállandó, ezért az α szög szinusza:

$$\sin \alpha = \frac{\Delta x}{d}.$$

A számlálót az előző összefüggés alapján átalakítva:

$$\sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{d}, \quad (\text{ahol } k \text{ egész szám}).$$

Ha ez a feltétel teljesül, akkor az összes rés alsó szélénél haladó sugarak erősítik egymást. Ezek a sugarak ugyanis azonos fázisúak, mert a köztük lévő útkülönbség a hullámhossz egész számú többszöröse. Hasonlóan belátható, hogy ilyenkor a rések közepén átmenő, α szögű sugarak szintén erősítik egymást, és erősítést eredményez a rések felső szélénél áthaladó sugarak interferenciája is. Ugyanígy erősíti egymást az összes többi, azonos helyzetű sugár is. Ilyenkor tehát az α szögben elhajló fénysugarak interferenciája erősítést eredményez.

Ezek alapján megfogalmazható az erősítések irányára vonatkozó feltétel: *A d rácsállandójú optikai rácsot λ hullámhosszúságú fénnel megvilágítva az erősítések α irányára teljesül:*

$$\sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{d}, \quad (\text{ahol } k \text{ egész szám}). \quad (1)$$

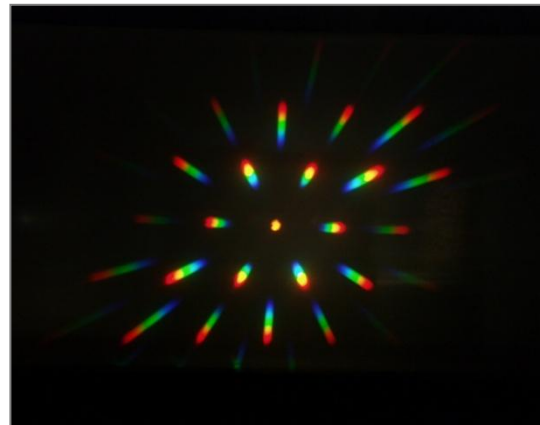
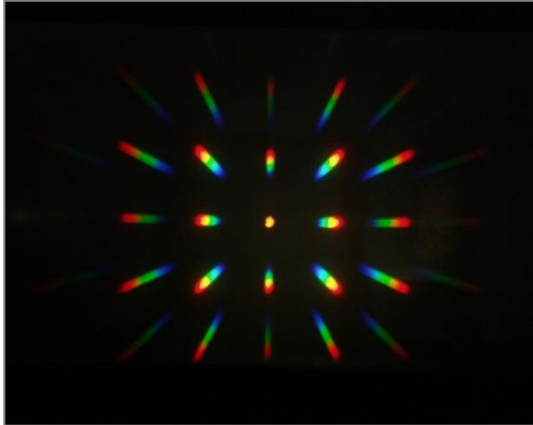
A $k = 0$ esetnek az eltérítés nélkül haladó ($\alpha = 0$) sugarak felelnek meg, ezek hozzák létre a közvetlen vagy nulladrendű maximumot. A $k = \pm 1$ esetnek megfelelő szögek azonos nagyságúak, csupán előjelük ellentétes:

$$\sin \alpha = \pm \frac{\lambda}{d}.$$

Eszerint (a kísérletben látottakkal összhangban) az elsőrendű erősítések a nulladrendűhöz képest szimmetrikusan helyezkednek el. Ugyanígy, páronként szimmetrikusan helyezkednek el a másod-, harmadrendű stb. maximumok is.

Az erősítések iránya (a nulladrendű kivételével) függ a hullámhossztól is. A rácsot fehér fényel megvilágítva, az erősítések iránya így minden színnél más-más irányba esik, a rács tehát felhasználható színek létrehozására is.

Ha két vonalas rácsot egymásra helyezünk úgy, hogy a rácsvonalak merőlegesek legyenek, akkor a két rács egymásra merőleges irányokba téríti el a fényt, így az ábrán látható rácsos szerkezetű elhajlási kép jön létre.



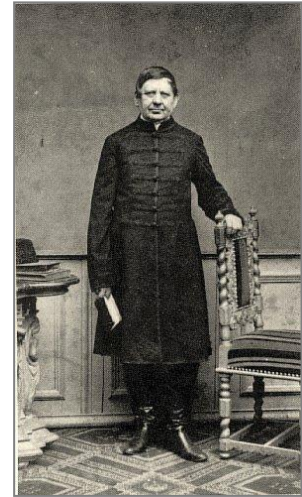
Ha a rácsok nem merőlegesek, akkor az elhajlási kép rácsszerkezete is megváltozik. Hasonló elhajlási kép hozható létre olyan ráccsal is, amely szabályos sorban elhelyezkedő nyílásokat tartalmaz. *A nyílások elhelyezkedése és a megjelenő elhajlási kép geometriája szoros összefüggésben van egymással.* Például méhsejtszerűen elhelyezkedő nyílásoknál az interferenciakép is hatszöges elrendeződésű.

Ha a rácson a nyílások szabálytalanul helyezkednek el, az elhajlási kép koncentrikus elhelyezkedésű sötét és világos gyűrűkből épül fel, mint egyetlen kis nyílásnál. Ez a kép tehát ugyanolyan jellegű, mint a kisméretű nyílás által létrehozott elhajlási kép, de annál lényegesen fényesebb.

Kiegészítések

1. Joseph *Fraunhofer* (1782–1826) német optikus 1821-ben elsőként alkalmazott réseket és optikai rácsokat a fény hullámhosszának mérésére, illetve színek előállítására.
2. Az optikai rácsokat úgy készítik, hogy üveglapra gyémánttűvel sűrű, párhuzamos vonalhálózatot karcolnak. A fény csak a karcolások közti részekben jut át, a karcolásoknál szétszóródik. Ma már nyomdai úton is előállítanak optikai rácsokat.

3. *Jedlik Ányos István* (1800–1895) magyar fizikus 1845-ben már olyan optikai rácsokat készített, amelyek 1 mm-en 1200 rést tartalmaztak. Ezek korának legjobb optikai rácsai voltak. Ehhez speciális rácsosztógépet is tervezett.



4. A *reflexiós rácsok* úgy készülnek, hogy egy tükröző felületre sűrű, párhuzamos vonalhálózatot karcolnak. A megkarcolt részek szétszórják, illetve elnyelik a fényt. A karcolások közti részekről szabályosan visszaverődő sugarak a már látott módon interferálnak egymással.

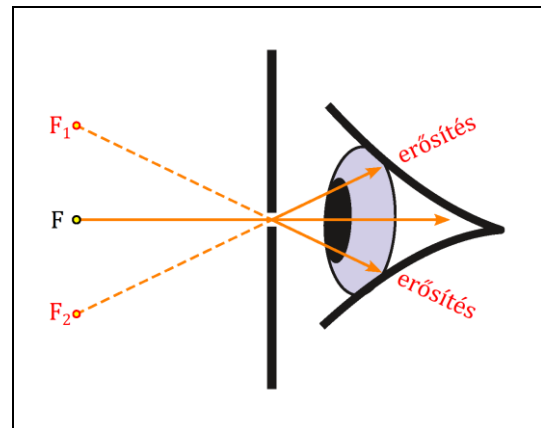
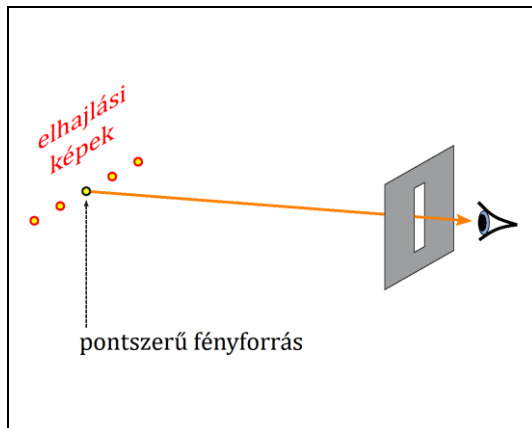
5. A CD és DVD tükröző rétegében koncentrikus körök mentén apró mélyedések vannak, ezek tárolják a lemezen rögzített információt. A lemezre eső fényt a mélyedések nem verik vissza, így a lemez reflexiós rácsként viselkedik. Emiatt a lemez egyes részei a ráeső fehér fényben szivárványszínűek.



6. A ráccsal előállított spektrumok előnye a prizmával létrehozottakkal szemben, hogy a színeképvonalaknak a nulladrendű maximumtól mért távolsága egyenesen arányos a hullámhosszal. *A ráccszíneképek mellé ezért lineáris hullámhossz-skála illeszthető.*

7. A *röntgensugárzás* című fejezetből tudjuk, hogy a kristályrácsokon elhajló röntgensugarak interferenciája jellegzetes elhajlási képet hoz létre. Ezt Max von *Laue* (1879–1960) német fizikus ismerte fel 1912-ben. Felfedezéséért Laue 1914-ben fizikai Nobel-díjat kapott. Az elhajlási kép (Laue-diagramm) alapján ugyanúgy következtetni lehet a kristályrács felépítésére, mint ahogy az optikai rács szerkezetére is következtethetünk az interferenciakép alapján.

8. Ha egy szűk résen keresztül egy egyszínű, pontszerű fényforrásra nézünk, akkor a fényforrás mellett kétoldalt szimmetrikusan további fénylő pontokat láthatunk. A rés szélességét szűkítve ezek a fénylő pontok távolabb kerülnek a fényforrástól. A kísérletekben látottak szintén a fény elhajlásával és interferenciájával értelmezhetők.



Szemünkbe ugyanis az erősítések irányából, tehát egyszerre többfelől jut be a fényforrás fénye. Tudjuk, hogy a fényforrást (tárgyat) mindig abban az irányban látjuk, amelyből a róluk kiinduló fény a szemünkbe érkezik. Mivel most ugyanarról a fényforrásról többféle irányból is bejut egy-egy fénynyaláb a szemünkbe, többszörös képet látunk. (Az ábrán csak három ilyen irányt tüntettünk fel. A képen a fényforrás és a rés távolsága szándékosan torzított.)

Ugyanígy interferenciaképet láthatunk, ha egy kisméretű nyíláson, illetve egy optikai rácson keresztül nézünk egy pontszerű fényforrásra, vagy ezeken át fényképezünk egy pontszerű fényforrást.

Példa

A vörös és zöld lézertény rácson történő elhajlását és interferenciáját bemutató (korábban már látott) fénykép elkészítésekor lemertük az alábbi adatokat:

A rácson és az ernyő távolsága 220 mm. A 635 nm hullámhosszúságú vörös fény két másodrendű maximumának



egymástól mért távolsága 116 mm. Az 532 nm hullámhosszúságú zöld fény másodrendű maximumai 96 mm messze voltak egymástól. Mekkora volt a kísérletben használt rácson állandója?

Megoldás

Mivel a maximumok elhelyezkedése szimmetrikus, az ábra jelöléseinek megfelelően:

$$\lambda_v = 635 \text{ nm} = 6,35 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\lambda_z = 532 \text{ nm} = 5,32 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

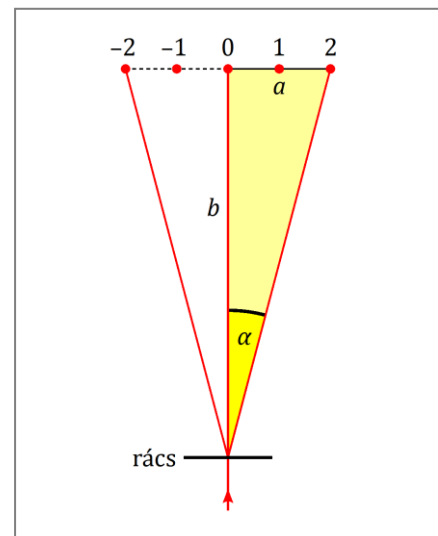
$$k = 2$$

$$a_v = \frac{116 \text{ mm}}{2} = 58 \text{ mm}$$

$$a_z = \frac{96 \text{ mm}}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$d = ?$$



Az (1) összefüggés szerint:

$$\sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{k \cdot \lambda}{\sin \alpha}.$$

Az α szög tangense az ábrán megjelölt derékszögű háromszög oldalai alapján:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}.$$

a) Vörös fényre:

$$\operatorname{tg} \alpha_v = \frac{a_v}{b} = \frac{58 \text{ mm}}{220 \text{ mm}} \approx 0,2636 \quad \Rightarrow \quad \alpha \approx 14,77^\circ.$$

Ezt a rácsállandóra kapott előző képletbe helyettesítve:

$$d_v = \frac{k \cdot \lambda_v}{\sin \alpha_v} = \frac{2 \cdot 6,35 \cdot 10^{-4} \text{ mm}}{\sin 14,77^\circ} \approx 0,004982 \text{ mm}.$$

a) Zöld fényre:

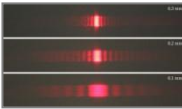
$$\operatorname{tg} \alpha_z = \frac{a_z}{b} = \frac{48 \text{ mm}}{220 \text{ mm}} \approx 0,2182 \quad \Rightarrow \quad \alpha \approx 12,31^\circ.$$

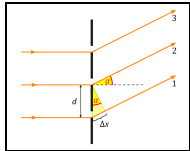
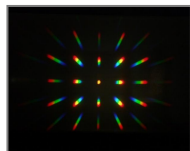



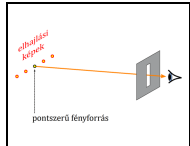
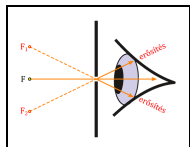
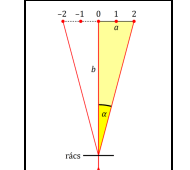
Ezt felhasználva a rácsállandó:

$$d_z = \frac{k \cdot \lambda_z}{\sin \alpha_z} = \frac{2 \cdot 5,32 \cdot 10^{-4} \text{ mm}}{\sin 12,31^\circ} \approx 0,004991 \text{ mm}.$$

A rácsállandóra kapott két adat gyakorlatilag megegyezik, átlaguk 0,004987 mm. Ez azt jelenti, hogy a rácson milliméterenként kb. 200 rés van. (1 mm / 0,004987 mm \approx 200.)

Képek jegyzéke

 <p>A diagram showing a monochromatic light source (Fényforrás (egyszínű)) on the left. Light rays pass through a slit (Kisnyílás) and are diffracted. The rays then interfere, creating a pattern of light and dark spots on a screen (Elhajlási képek).</p>	<p>Fényelhajlás és interferencia résen (egyszínű fénnnyel) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0658.svg</p>
 <p>A photograph showing three horizontal interference patterns of monochromatic light (red) passing through a slit. The patterns consist of alternating bright and dark horizontal bands.</p>	<p>Fényinterferencia réseken (egyszínű fénnnyel) © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1063.jpg</p>
 <p>A diagram showing a white light source (Fényforrás (fehér)) on the left. Light rays pass through a slit (Kisnyílás) and are diffracted. The rays then interfere, creating a spectrum of colors on a screen (Elhajlási képek).</p>	<p>Fényelhajlás és interferencia résen (fehér fénnnyel) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0659.svg</p>
 <p>A photograph showing a single horizontal interference pattern of white light. The pattern consists of a central white band with colored fringes on either side.</p>	<p>Fényinterferencia résen (fehér fénnnyel) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diffraction_sunlight_-_color_channels.jpg</p>
 <p>A diagram showing a monochromatic light source (Fényforrás (egyszínű)) on the left. Light rays pass through a circular hole (Kislyuk) and are diffracted. The rays then interfere, creating a pattern of light and dark spots on a screen (Elhajlási képek).</p>	<p>Fényelhajlás és interferencia apró, kör alakú nyíláson (egyszínű fénnnyel) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0660.svg</p>
 <p>A photograph showing a circular interference pattern of monochromatic light (red) passing through a circular hole. The pattern consists of concentric red and dark rings.</p>	<p>Fényinterferencia apró, kör alakú nyíláson (egyszínű fénnnyel) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beugungsscheibchen.k.720.jpg</p>
 <p>A photograph showing a laser experiment. A green laser beam and a red laser beam are directed at a grating. The light is diffracted and interferes, creating a pattern of spots on a screen.</p>	<p>Fényelhajlás és interferencia rácson (zöld és vörös lézertfénnnyel) © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1064.jpg</p>
 <p>A photograph showing a white light interference pattern through a grating. The pattern consists of a central white band with colored fringes on either side.</p>	<p>Fényinterferencia rácson (fehér fénnnyel) © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0322.jpg</p>

	<p>Rajz az erősítések irányának levezetéséhez rácsonál © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0661.svg</p>
	<p>Fényinterferencia derékszögű rácson (fehér fényvel) © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0323.jpg</p>
	<p>Fényinterferencia hatszöges rácson (fehér fényvel) © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0324.jpg</p>
	<p>Jedlik Ányos fényképe W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jedlikanyos4.jpg</p>
	<p>Interferencia CD-n © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1065.jpg</p>
	<p>Fényelhajlás résen (szubjektív megfigyeléssel) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0662.svg</p>
	<p>Rajz a résen át látható elhajlási képek kialakulásának magyarázatához © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0663.svg</p>
	<p>Rajz a példában szereplő mérési elrendezéshez © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0664.svg</p>

Jelmagyarázat:

© **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.

	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---