Oktatási Hivatal

A 2014/2015. tanévi
Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny
döntő forduló

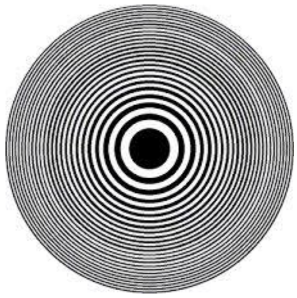
FIZIKA I. KATEGÓRIA

2015-ben, a Fény Évében

<u>MEGOLDÁSI ÚTMUTATÓ</u>

„Zónalemez leképezési tulajdonságai”

Bevezető:



A mérési feladat egy úgynevezett zónalemez leképezési tulajdonságainak vizsgálata. A zónalemez átlátszó és átlátszatlan koncentrikus gyűrűket tartalmazó lemez (lásd ábra). A gyűrűk úgy vannak megrajzolva, hogy az *n*-ik gyűrű határának sugara r_n arányos $\sqrt{n}$ -el. Ez azt eredményezi, hogy $r_{n+1}^2 - r_n^2 = c$, ahol *c* állandó (tehát a gyűrűk területe egyforma).

A zónalemez leképezése azon az elven alapszik, hogy valamely felületről kiinduló fény intenzitását egy pontban a felület pontjairól kiinduló gömbhullámok interferenciája adja (Huygens-Fresnel elv). Ezért párhuzamos fénynyalábbal történő megvilágítás esetén adott *c* mellett mindig van egy olyan pont a lemez középpontján átmenő rá merőleges egyenes mentén, amire teljesül, hogy az átlátszatlan tartományokból pont a hullámhossz felének megfelelő fáziskülönbséggel érkezne a fény, mint a szomszédos átlátszóból. Ezért az átlátszatlan területekkel a destruktív interferenciát okozó tartományokat kitakarjuk. Így egy erős fényintenzitást kapunk a kérdéses pontban, (a fókuszpontban). Megjegyezzük, hogy a zónák sugarát úgy kell megválasztani, hogy a fókusztávolság sokkal nagyobb legyen, mint a beeső fény λ hullámhossza, különben a kioltási feltétel nem pontosan teljesül.

A méréshez használt eszközök:
1db led-es lámpa
1db kondenzor lencse
1db zónalemez
1db T alakú tárgy
1 db ernyő
1 db mérőrúd
3 db különböző hullámhosszú színszűrő, kék λ=480nm, zöld λ=535nm, piros λ=640nm

A mérés összeállítása:
A kondenzor lencse mögött kb. 5cm távolságra helyezze el a lámpát. A lencse másik oldalán helyezze el a zónalemezt úgy, hogy azon a lehető legnagyobb legyen a megvilágítás (a lencsétől

kb. 50cm). A tárgyat és a színszűrőt helyezze a zónalemez és a lencse közé. Az ernyő mozgatásával keresse meg a tárgy éles képét.

Mérési feladatok:

I. Külön-külön mindhárom színszűrő alkalmazása mellett igazolja, hogy a lencséknél megismert leképezési és nagyítási törvény a zónalemezre is érvényes! A méréshez válasszon 4-5 különböző tárgytávolságot! Az eredményeket ábrázolja grafikusan! Igyekezzen a legmegfelelőbb ábrázolási módot megtalálni.

10 pont

II. Mindhárom szűrő esetén az előző mérésből határozza meg a fókusztávolságot! Vizsgálja meg, hogy a fókusztávolság hogyan függ a hullámhossztól! Itt is készítsen grafikont!

10 pont

III. A kapott fókusztávolság-hullámhossz összefüggést igazolja elméleti számolással! A számoláskor használja ki, hogy a fókusztávolság sokkal nagyobb a hullámhossznál!

10 pont

IV. A lencsével ellentétben a zónalemeznek több, de sokkal kevésbé éles, fókusztávolsága is van, amelyek rövidebbek az elsődlegesnél. A zöld színszűrő alkalmazása mellett keressen egy rövidebb fókusztávolságot is! Adjon elméleti magyarázatot a rövidebb fókusztávolság megjelenésére! Vegye figyelembe, hogy ekkor a kioltás már nem tökéletesen teljesül.

10 pont

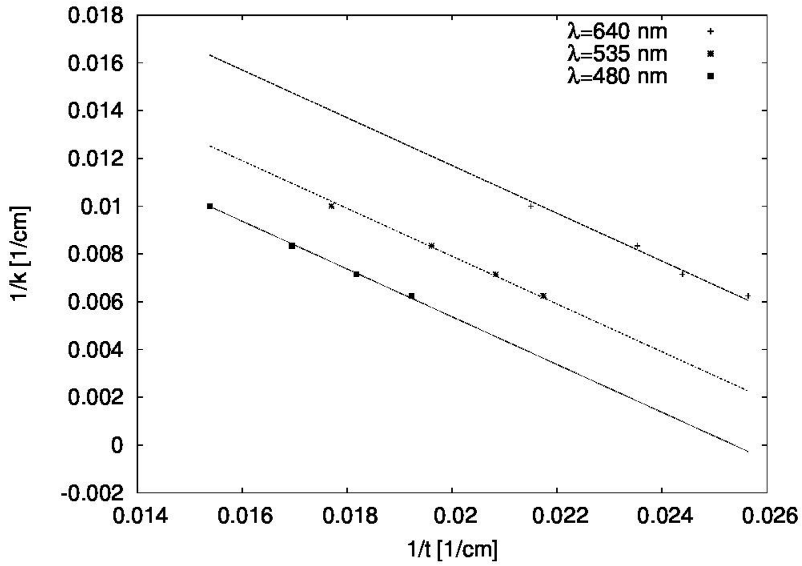
A mérés elvégzéséhez 4 óra áll rendelkezésre. A feladatok megoldásához számítógép és telekommunikációs eszköz kivételével bármilyen segédeszköz használható. Ha valamelyik eszközzel problémája van, forduljon a felügyelő tanárhoz.

Jó munkát!

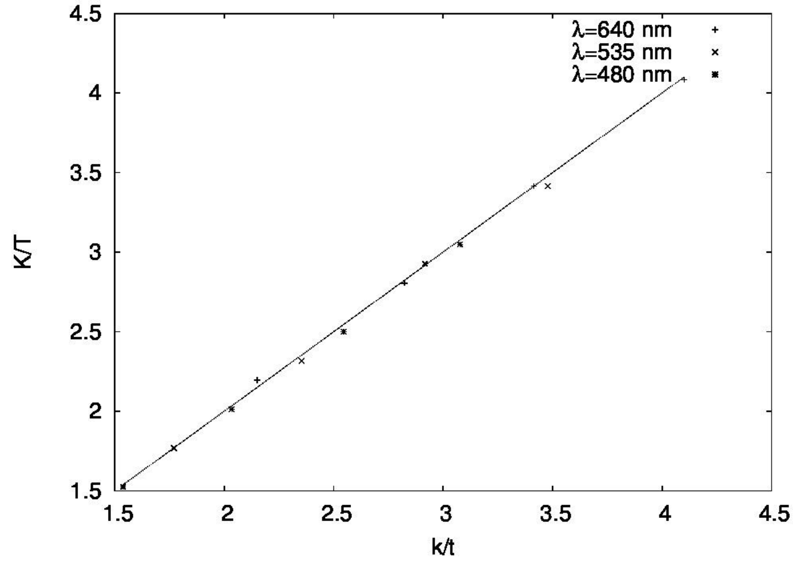
A feladatok megoldása

1. feladat

Mind a 3 színszűrő esetén 4 tárgytávolságot érdemes választani. Az $\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f}$ leképezési törvényt célszerű, úgy igazolni, hogy az $1/t$ tárgytávolság függvényében ábrázoljuk az $1/k$ képtávolságot. Ez egy (-1) meredekségű egyenes kell legyen, amelynek egyik



1. ábra A három különböző hullámhossz esetén az 1/t-1/k összefüggés az illesztett (-1) meredekségű egyenessel.



2. ábra K/T a *k/t függvényében mindhárom hullámhossz esetén.*

tengelymetszetéből a fókusztávolság egyszerűen meghatározható. A $K/T = k/t$ nagyítási törvény igazolásához pedig célszerű a *k/t* függvényében a *K/T* arányt ábrázolni, ahol *K* a kép, míg *T* tárgy mérete. A kapott eredmények az 1. és 2. ábrákon láthatók. Megállapítható, hogy a zónalemez valóban követi a leképezési és a nagyítási törvényt

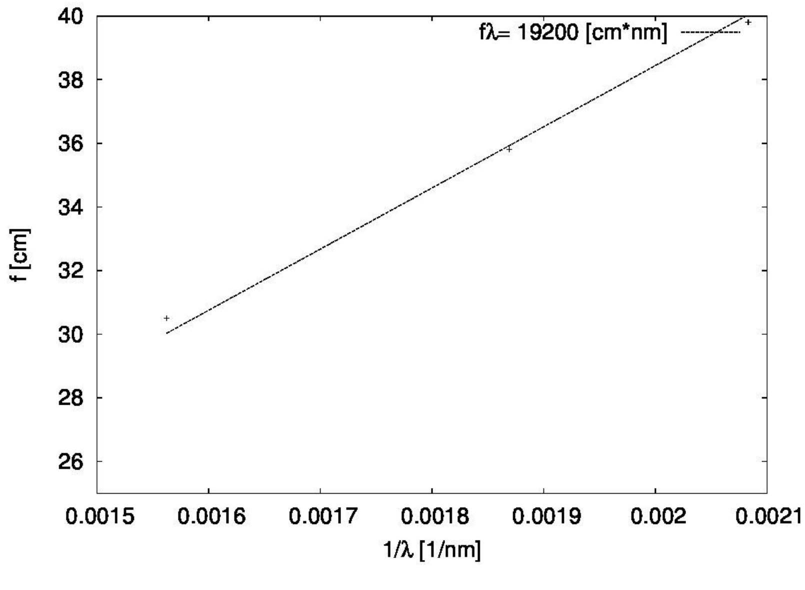
2. feladat

Az 1.-es árán illesztett egyenesekből a tengelymetszet leolvasása után a fókusztávolságok meghatározhatók. Az eredmények az alábbi táblázatban láthatók.

λ hullámhossz [nm]	f fókusztávolság [cm]
640	30.5
535	35.8
480	39.8

(Megjegyezzük, hogy több versenyző is a fele ekkora második fókusztávolságot (lásd 4. feladat) határozta meg, és nem vette észre, hogy van még egy távolabbi éles kép is. Ezeket azonban, amennyiben helyes eredmény szolgáltattak, teljes értékűnek fogadtuk el.)

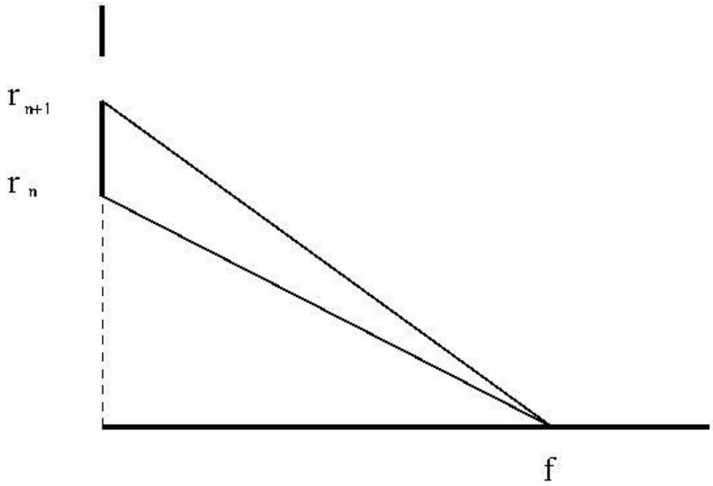
A 3. feladat megoldása alapján az adódik, hogy a fókusztávolság fordítottan arányos a hullámhosszal. Ezért az 1/λ függvényében ábrázolva a fókusztávolságot az origón átmenő egyenest kell kapnunk. A 3. ábra tanulsága szerint ez valóban teljesül.



3. ábra A fókusztávolság hullámhossz függése.

3. feladat

A fókusztávolság meghatározásához feltételezzük, hogy a zónalemezre párhuzamos fénynyaláb érkezik. Ekkor az f fókuszpontban akkor kapunk maximális erősítést ha az átlátszó tartományokból érkező fény csak olyan, hogy erősítést okoz. Azaz a destruktív interferenciát okozó tartományokat kitakarjuk. Ezt úgy lehet elérni, hogy a zónák sugarát pont úgy választjuk meg, hogy a zóna két széléről a fókuszpontba érkező hullám optikai úthossz különbsége pont a hullámhossz fele legyen.



4. ábra. Az f pontban az erősítés feltétele.

A 4. ára alapján az optikai úthossz különbségre felírhatjuk, hogy

$$\sqrt{r_{n+1}^2 + f^2} - \sqrt{r_n^2 + f^2} = \frac{\lambda}{2}$$

Az egyenlet bal oldalán a második tagot áttéve a jobb oldalra és az egyenletet négyzetre emelve adódik, hogy

$$r_{n+1}^2 = r_n^2 + \lambda\sqrt{r_n^2 + f^2} + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2$$

Felhasználva, hogy a hullámhossz sokkal kisebb a zónák sugaránál, illetve, hogy a fókusztávolság sokkal hosszabb a zónák sugaránál adódik, hogy

$$r_{n+1}^2 - r_n^2 = \lambda f$$

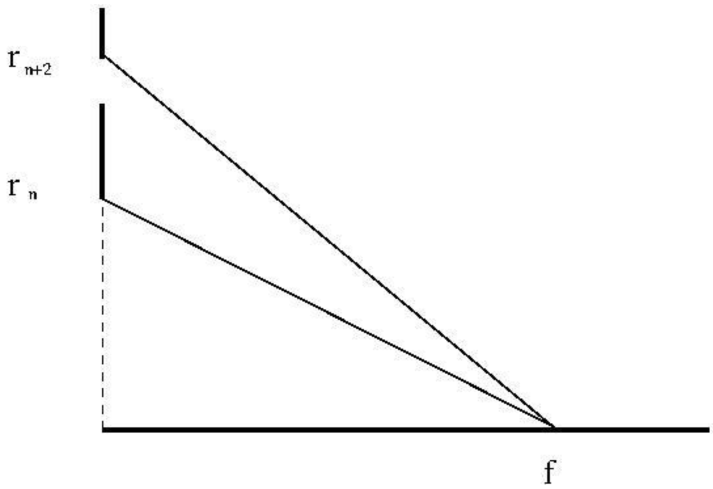
Mivel a zónalemezt úgy szerkesztettük, hogy, $r_{n+1}^2 - r_n^2 = c$ ahol *c* egy állandó adódik, hogy

$$\lambda f = c$$

Tehát a fókusztávolság valóban fordítottan arányos a hullámhosszal.

4. feladat

Ellentétben a lencsékkel a zónalemeznek több fókusztávolsága is van. Az *m.*-dik fókusztávolság a leghosszabb (lásd 3. feladat) *m*-ed része, $f_m = f/m,$ ahol *m* egy egész szám. A piros színszűrő esetén ez a második fókusztávolság a mérések szerint f_2*=18.9 cm.* (Megjegyezzük, hogy aki csak a másodlagos fókuszokat vette észre az 1. feladatban elvégzett mérések során azok a következő fókusztávolságra az 1-es feladatban mért 2/3-dát kapta. Azonban helyes eredmény esetén ezt is elfogadtuk.)



5. ábra A magasabb rendű fókusztávolságok magyarázata.

A magasabb rendű fókusztávolságok kialakulása legegyszerűbben úgy magyarázható meg, hogy amennyiben két egymást követő átlátszó zóna széle között az optikai úthossz különbség a hullámhossz egész számú többszöröse, akkor az átlátszó zónákból kiinduló fény erősíti egymást. Tekintettel arra, hogy a destruktív interferenciát okozó tartományok a magasabb rendek esetén nincsenek teljesen kitakarva, nem kapunk olyan éles képet mint az elsődleges fókusztávolsághoz tartozó leképezésnél.

Az 5. ábra alapján az f_m, azaz az m-edik fókusztávolságra felírhatjuk, hogy

$$\sqrt{r_{n+2}^2 + f_m^2} - \sqrt{r_n^2 + f_m^2} = m\lambda ,$$

ahol m egy egész szám. A 3. feladatban alkalmazott átalakítások és elhanyagolások után adódik, hogy

$$m\lambda f_m = c$$

Pontozási útmutató

1. feladat

A mérés sikeres elvégzése: 3 pont.

A megfelelő ábrázolás megtalálása: 2 pont.

A leképezési és a nagyítási törvény igazolása: 5pont.

2. feladat

A három fókusztávolság meghatározása: 5 pont.

A fókusztávolság hullámhossz függésének felismerése: 3 pont.

A helyes ábrázolás megtalálása: 2 pont.

3. feladat

Annak felismerése, hogy mikor jön létre erősítés: 7 pont.

A fókuszpont hullámhossz függésének pontos meghatározása: 3 pont.

4. feladat.

Annak felismerése, hogy az eredeti fókusztávolság felénél is van egy másodlagos fókuszpont: 4 pont.

A másodlagos fókuszpont magyarázata: 6 pont.