



## **Szakdolgozat feladat kiírás**

## **Nyilatkozat**

Alulírott Beke Tamás (A1ULN8) a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a szakdolgozat-tervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a diplomatermben csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

.....

Beke Tamás

## **A szakdolgozat készítése során felhasznált szoftverek**

Microsoft	OfficeXP / Office2007
Dassault Systèmes - IBM	Catia V5.R16 / R17
Autodesk	AutoCad2007 / 2004
EDS - Unigraphics	I-deas 10 NX
Adobe	Acrobat 8 Professional
Microsoft	Paint

## Tartalomjegyzék

<b>Szakdolgozat feladat kiírás .....</b>	<b>2</b>
<b>Nyilatkozat .....</b>	<b>3</b>
<b>A szakdolgozat készítése során felhasznált szoftverek .....</b>	<b>3</b>
<b>Tartalmi összefoglaló .....</b>	<b>6</b>
<b>Thesis summary / összefoglaló angolul .....</b>	<b>7</b>
<b>Bevezetés .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Monokromátor típusok bemutatása .....</b>	<b>10</b>
<b>1.0. Fénytani alapok.....</b>	<b>10</b>
<b>1.0.1. Az elektromágneses sugárzás .....</b>	<b>10</b>
<b>1.0.2. A fény geometriai és hullámtani tárgyalásmódja.....</b>	<b>12</b>
<b>1.0.3. Az elektromágneses spektrum .....</b>	<b>12</b>
<b>1.0.4. Színképelemzés.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. A monokromátor meghatározása.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. A monokromátor működési elve .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1. Színbontás és –kirekesztés lehetőségei .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3. Típusok összehasonlítása működési elvük alapján .....</b>	<b>25</b>
<b>2. A vizsgált monokromátor bemutatása.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Fénybontás módja.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. Geometriai elrendezés .....</b>	<b>25</b>
<b>3. Mérések .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Geometriai teljesítmény mérése .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Optikai teljesítmény mérése .....</b>	<b>25</b>
<b>4. Kiegészítési javaslat elektromos mozgatáshoz .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Motor és vezérlés kiválasztása.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Mechanika.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4. Számítógépes szabályzás lehetőségei .....</b>	<b>26</b>
<b>Irodalomjegyzék .....</b>	<b>27</b>

**Függelék ..... 28**

## **Tartalmi összefoglaló**

## **Thesis summary / összefoglaló angolul**

## **Bevezetés**

A korszerű roncsolásmentes, valamint különböző laboratóriumi anyagvizsgálatok egyre pontosabb, nagyobb teljesítményű és gyorsabb kiértékelési lehetőséggel rendelkező műszereket igényelnek. A különböző hullámhossztartományban dolgozó, anyagra jellemző spektrumot vizsgáló műszerek egyre bővülő felhasználási lehetőséget nyernek fizikai, kémiai, biológiai és csillagászati vizsgálatoknál. Ezek a műszerek közös néven az úgynevezett színeké-analitikai műszerek, amelyek a vizsgálandó anyag összetételének meghatározásához annak fénykibocsátását, fényelnyelését vagy fényvisszaverő-képességét használják fel. Tervezésük és megvalósításuk igen magas optikai és finommechanikai ismereteket igényel, nagyon fontos továbbá azon tudományág megfelelő szintű ismerete, amelyben a műszereket alkalmazni kívánjuk. Közös jellemzőjük optikai rendszerük, amely fénykibocsátó részre, monokromátorra (egy színt biztosító) és fotometráló részre tagozódik. A tervezés során a későbbi felhasználási terület eleve meghatározza a kiindulási irányt. Ennek figyelembevételével kell a műszer gerincét alkotó optikai egységet megalkotni, ki kell dolgozni - a hullámhossztartománynak megfelelő - fényforrás egységet, a monokromátort és a fotométerrészt. A készülék mérési teljesítőképességét döntően a monokromátor határozza meg: ez az optikai egység bontja „színeire” a fényforrás fényét, határfoka és a kibocsátott hullámhossztartomány szélessége megadja a műszer felhasználási körét.

A szakdolgozat feladata egy rövid áttekintést nyújtani a különböző monokromátor-típusokról, egy már létező monokromátor mechanikai felépítésének elemzése, szabályozása, lehetséges hibáinak leírása elméleti számításokkal, számítógépes modell segítségével és egy kiegészítési javaslat készítése motoros mozgatáshoz. A dolgozat elsősorban mechanikai-finommechanikai szempontok szerint vizsgálja az adott műszert, nem célja a monokromátorok optikai elméletének mélyreható leírása. A 3D modell elkészítésének és a számítógépes elemzések elvégzésének a fő célja az, hogy



a tervezőn kívül mások számára is könnyen átláthatóvá, megérthetővé tegye a szerkezet működési mechanizmusát és a működés közben előforduló hibákat kategorizálhatóvá tegye. A számítógépes elemzések igyekeznek bemutatni a modern tervezés előnyeit, korlátait, a CATIA V5.R17 CAD/CAM/CAE PLM szoftverben rejlő olyan lehetőségeket, melyek kihasználása nem feltétlenül kézenfekvő.

A dolgozat négy fő részre tagolható:

1. A spektroszkópia rövid áttekintése. A monokromátorok különböző típusainak és azok működésének bemutatása, összehasonlítása különböző szempontok alapján.
2. A szakdolgozat témáját adó szerkezettel szemben támasztott követelmények meghatározása, működési elvének és felépítésének bemutatása. A mechanikai elrendezés gyártásból és pontatlan beszállásból eredeztethető hibáinak elméleti és számítógépes elemzése. A számítógéppel segített tervezés előnyeinek szemléletes bemutatása.
3. A szerkezet beállítása gyakorlati mérések és az előzetes elemzések segítségével. Az elméleti és mérési eredmények összehasonlítása, következtetések levonása.
4. Végül a negyedik fejezet áttekinti egy esetleges motoros mozgató megvalósításának lehetőségeit, az eredeti monokromátor és a kiegészítés teljes tervdokumentációjával.

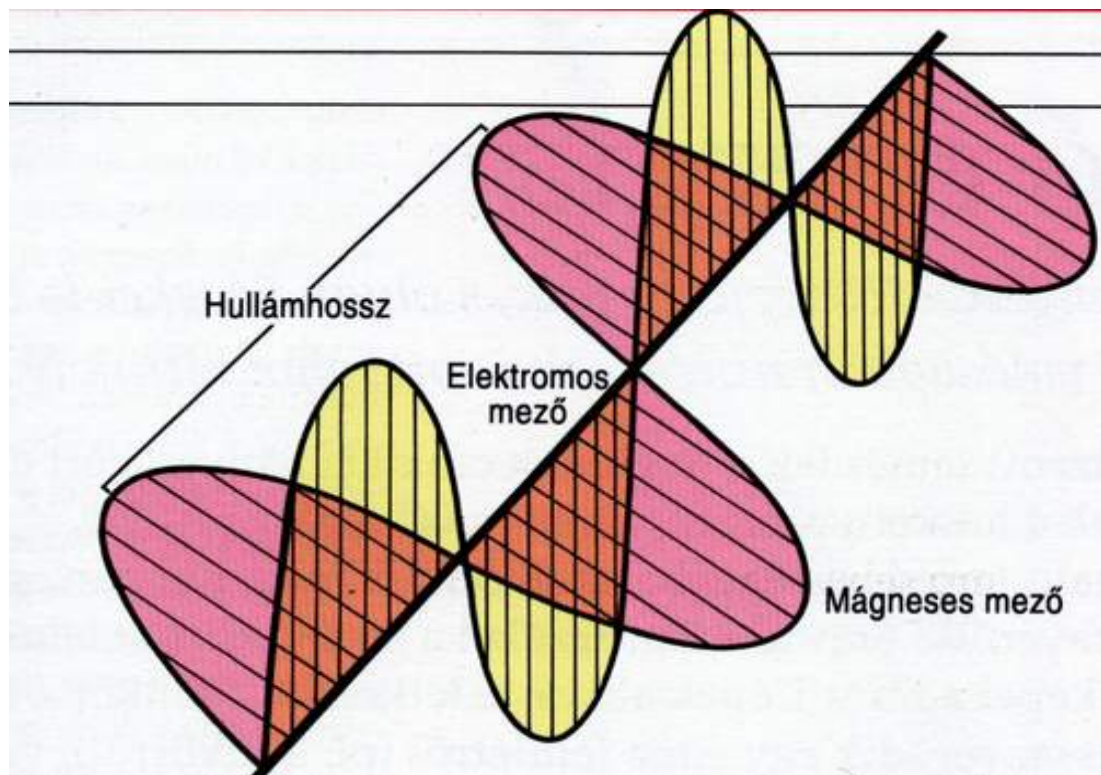
Ezúton szeretnék köszönetet mondani Plósz Béla Úrnak, a DÉS Z Kft. ügyvezető igazgatójának valamint a tanszéki konzulenseimnek Nagy Balázs Vincének és Halas Jánosnak, akik mindvégig segítettek munkámat.

# 1. Monokromátor típusok bemutatása

## 1.0. Fénytani alapok

### 1.0.1. Az elektromágneses sugárzás

A monokromátorok fényátbocsájtó, a színeképelemzésben használatos szerkezetek. Fénynek a teljes elektromágneses sugárzás emberi szemmel látó (VIS), valamint az azt alulról és felülről határoló ibolyántúli (UV) és infravörös (IR) tartományait hívjuk, optikai sugárzásnak pedig a kb. 1nm-es röntgensugárzás és a kb. 1mm-es rádiósugárzás közötti hullámhossztartományba eső elektromágneses sugárzást. A fényt, mint elektromágneses sugárzást leírják a Maxwell egyenletek. Az elektromágneses sugárzás egyenes vonalban haladó, a haladás irányára merőlegesen változó - oszcilláló - elektromos és mágneses tér, mely hullám formájában, vákuumban fénysebességgel terjed, frekvenciájával arányos energiát és impulzust szállítva.



1.1. ábra

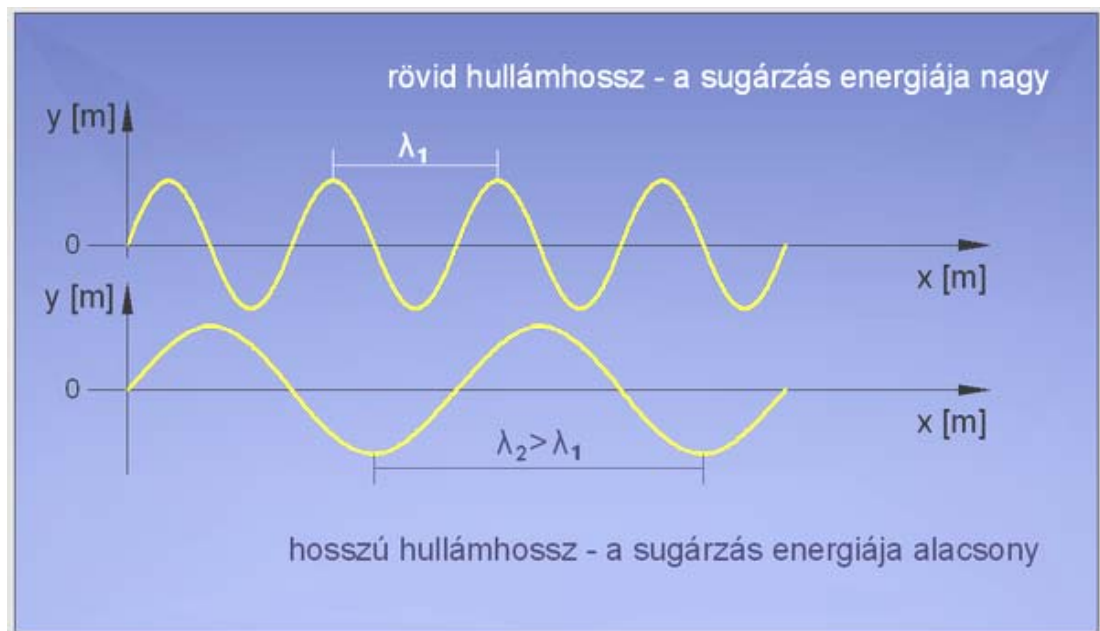
**Elektromágneses sugárzás: a haladási irányra merőleges elektromos és mágneses mező egyben**

Ebből következik, hogy hullámtermészete mellett részecsketulajdonságokat is mutat, e részecskék a fotonok, nyugalmi helyzetben tömeg nélküli kvantumok. A fotonok terjedési sebessége anyagi közegbe érve lelassul, terjedésük iránya megváltozhat, de frekvenciájuk - ezáltal energiájuk és lendületük változatlan marad. A foton energiáját és impulzusát a következő összefüggések írják le:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} \quad (1.2)$$

ahol  $E$  – a foton energiája [J],  $h$  – a Planck állandó =  $6,626 \times 10^{-34}$  [Js],  $\nu$  – a fény frekvenciája [Hz],  $c$  – a fény terjedési sebessége vákuumban  $\sim 3 \times 10^8$  [m/s],  $\lambda$  – a fény hullámhossza [m]. Elektromágneses sugárzás töltéssel rendelkező részecskék gyorsulásakor, atommagok szétesésekor vagy akkor keletkezik, amikor az atomokban egy elektron a maghoz közelebbi pályára ugrik. Minél nagyobb az ugrás mértéke annál rövidebb a keletkezett elektromágneses sugárzás hullámhossza és az 1.1 összefüggés alapján az energiája (1.2 ábra).



1.2. ábra

**Összefüggés a sugárzás energiája és hullámhossza között**

Bizonyos tulajdonságainak magyarázatához kvantummechanikai megközelítés szükséges, míg terjedését és a legtöbb elemi optikai képalkotást jól leírja a hullámtani és geometriai optikai tárgyalásmód. [1] [2]

### **1.0.2. A fény geometriai és hullámtani tárgyalásmódja**

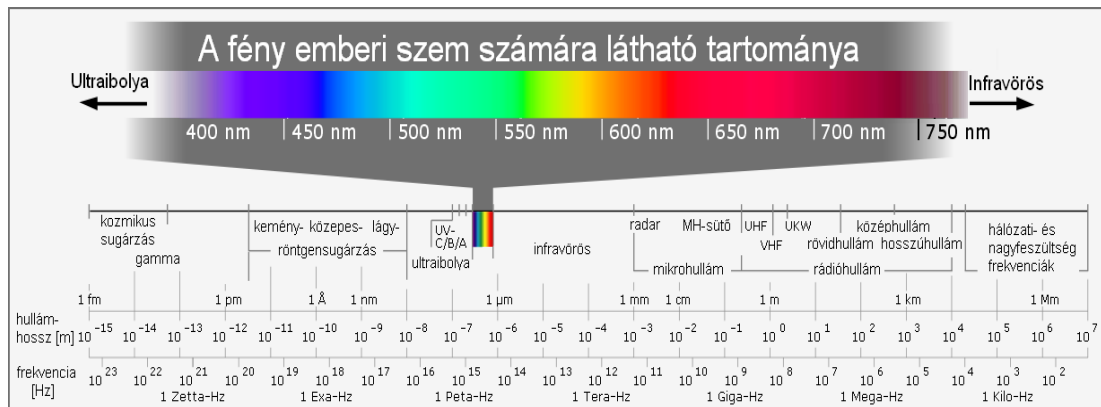
A geometriai optika a fényt sugarak formájában írja le, amelyeken a hullámfelületek ortogonális trajektóriáit értjük. A sugarak egyenes vonalban terjednek, visszaverődnek különböző közegek határfelületeiről, megtörve folytatják útjukat, ha más tulajdonságú (törésmutatójú) anyagba lépnek, a tér egy pontján keresztül akárhány fénysugár haladhat egymás zavarása nélkül (kivéve koherens lézerefények), a tér két pontja között a fény mindkét irányba mindig ugyanazon az útvonalon halad. Ezek a geometriai optika alaptörvényei, melyek segítségével jól modellezhető a fény viselkedése különböző közegekben, az optikában használatos anyagokban, így tükrök, lencsék, összetett optikai rendszerek hozhatók létre.

A hullámtani tárgyalásmód használatakor hullámfelületekkel jellemezzük a fény terjedését, amelyet hullámhossza, rezgési síkja, vagyis polarizációja, terjedési sebessége (amely közegfüggő) és intenzitása jellemez. A hullámok egymással interferálhatnak, mely jelenség nagyon fontos lesz egyes monokromátorok működésénél és később bővebb tárgyalására is sor kerül. **Két példa interferenciára: 1) Azonos hullámhosszú fény két résen áthaladva fényes és sötét csíkokból álló interferencia-képet eredményez; 2) és a fény hullámhosszával összemérhető rácsparaméterű optikai rácsról visszaverődő fény szétbontja a különböző hullámhosszú komponenseket....** [1]

### **1.0.3. Az elektromágneses spektrum**

Mikor Maxwell 1867-ben bemutatta első átfogó elektromágneses elméletét, az ismert hullámhossztartomány még csak az UV, VIS és IR tartományokra korlátozódott. Annak ellenére, hogy ezek a tartományok teljes spektrumnak igen kis szegmensét képezik jórészt ezek az optikai tartományok. Hertz szikragenerátorral végzett kísérletei során bebizonyította Maxwell egyenleteinek helyességét, a következő évtizedekben az ő és Röntgen felfedezései nagyban hozzájárultak a spektrum kiszélesítéséhez a rádió és

röntgen tartományokkal. Mai mérési ismereteink alapján a teljes elektromágneses spektrum a  $\sim 1\text{pm}$  -  $\sim 29,7\text{Gm}$ , azaz gammasugárzás alsó határa és a világból érkező leghosszabb mért hullámhossz közötti tartományt jelenti, bár a hullámhossznak elméleti felső határa nincs. Az elektromágneses spektrum egyik legtöbb információt tartalmazó összefoglalása a [<http://unihedron.com/projects/spectrum/index.php>] internetcímen található, sajnos egyes spektrumhatárok hibásan szerepelnek benne, ezért forrásként nem használható. Az elektromágneses spektrum tartományai közül a földi légkör csak a látható fényt és a hozzá csatlakozó hullámhossz kis részét, a közepes és termális infravörös  $3\text{-}5\mu\text{m}$  és a  $8\text{-}15\mu\text{m}$  hullámhossztartományaiba eső sugárzást, valamint az  $1\text{mm} - 20\text{m}$  hullámhosszú rádiósugárzást engedi át.



1.3. ábra

### A teljes elektromágneses spektrum

[1] [2] [3] [4]

#### 1.0.4. Színképelemzés

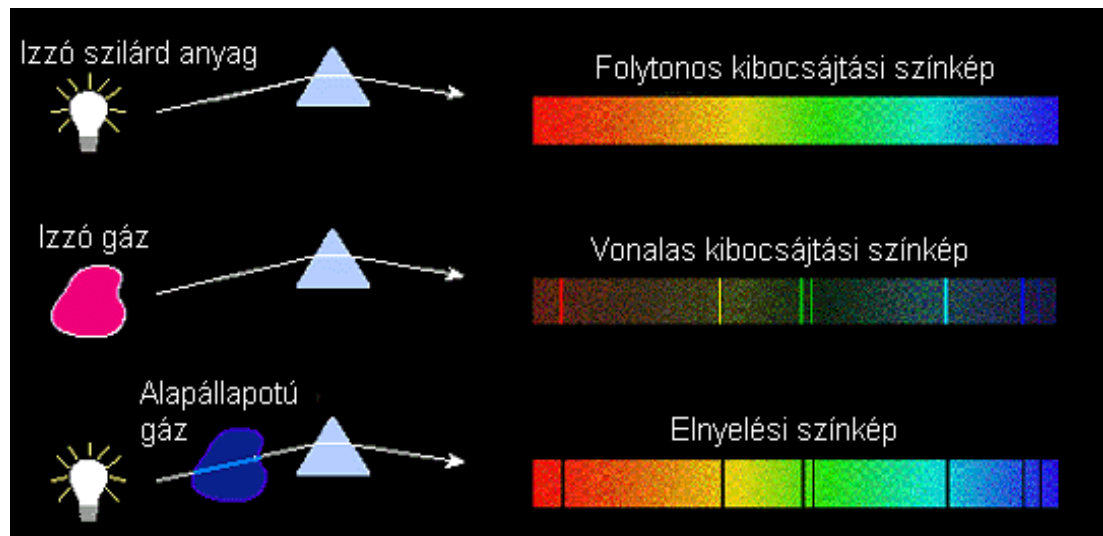
Az anyagok spektroszkópia szempontjából fontos tulajdonsága a színe, amely szoros összefüggésben van molekula-szerkezetükkel. Egy anyagot akkor nevezünk vagy látunk színesnek, ha a ráeső fényből szelektíven nyel el vagy szelektíven ver vissza. Ha pl. valamely anyag a fehér fényből a vöröset nyeli el, akkor a többi spektrumszín keverékét, vagyis a zöldet engedi át vagy veri vissza. (A zöld a vörös kiegészítő színe.) Az átlátszó anyagokat is színesnek mondjuk, ha különböző hullámhosszakon más-más mértékben bocsájtják át a fényt, pl. lehetséges, hogy az anyag az ultraibolya vagy az infravörös

tartományban abszorbeál, ezt szemünk nem érzékeli, ezért azt színtelennek látjuk. A fényforrásokat színesnek nevezzük, ha különböző hullámhosszúan eltérő intenzitással sugároznak.

A színeképelemzés vagy spektroszkópia <lat.+gör.> szűkebb értelemben az optikai hullámhosszokon felvett színekép vizsgálatával, tágabb értelemben a teljes elektromágneses színekép és mindenféle sugárzás (pl.: részecskesugárzások) spektrumának elemzésével foglalkozó, különösen annak energia (hullámhossz, rezgésszám) szerint felbontott összetevőinek tulajdonságait vizsgáló tudományág. A spektroszkópia, változatos vizsgálati területének köszönhetően, jelentősen hozzájárult az anyagról szerzett ismeretekhez, hősokora a XIX. század utolsó harmadában volt. Segítségével tárták fel az atomok elektronszerkezetének sajátosságait, határozták meg az elektronállapotokat jellemző kvantumszámokat; végeredményben ez tette lehetővé a kémiai elemek periódusos rendszerének elméleti értelmezését. Felvilágosítást ad a molekulák szerkezetéről, a molekulákon belüli atomtávolságokról, az elektronok elrendeződéséről. Számos elemet, elemek izotópjait, molekulát a spektroszkópia révén fedeztek fel. Anyagok összetételének vizsgálatánál széleskörűen alkalmazták és alkalmazzák ma is a mindennapi orvostudományban, a kémiában, az asztrofizikában, a technikában, a régészetben, a rendőri nyomozásban stb.

A színeképelemzés széleskörű tudományág, e gyűjtőnév alatt igen sokféle mérési technikát értünk. Mindegyik közös alapja az, hogy az anyagok molekuláris -, atomi szintű energia-átmenetei kvantáltak és ezek az energiaszintek jellemzőek az adott anyagra. Az egyes energia-átmenetekhez meghatározott hullámhosszak (elnyelt vagy kibocsájtott) tartoznak az 1.1 összefüggés alapján. Mivel az elektromágneses sugárzás tulajdonságai az azt kibocsátó, elnyelő, visszaverő anyag minőségétől, mennyiségétől, állapotától függenek, a színeképelemzés tehát felosztható aszerint, hogy keletkezését tekintve kibocsátott (emittált), elnyelt (abszorbeált), visszavert (reflektált), elhajolt, vagy szórt fényt vizsgál, továbbá aszerint, hogy a keletkezett színekép folytonos vagy diszkrét (vonalas ill. sávós). A kibocsátási vagy emissziós színeképelemzés egy gerjesztett állapotban levő anyag

sugárzásának, a hullámhossz szerinti eloszlását (spektrumát) vizsgálja, abból következtet részben az anyagi minőségre, részben az anyagmennyiségre, sőt némely esetben a molekula-szerkezetre is. Az emissziós színek lehet folytonos vagy vonalas. A folytonos színeképet felfoghatjuk úgy is, hogy az monokromatikus (egyszínű) hullámok keveréke, amelyek együttesében két szélső frekvenciaérték között minden frekvencia előfordul. Ilyen színeképet kapunk pl. az izzó fémek, általában a szilárd testek és a folyadékok által kibocsátott fény felbontásakor, de a világűrben vizsgálva a nap színeképe is folytonos, amire Brewster jött rá, miután földi körülmények között sikerült előállítania a Fraunhofer által megtalált sötét vonalakat a nap színeképeben. Vannak azonban olyan anyagok is, amelyek kibocsátási színeképeben nem minden szín jelenik meg, hanem csak néhány vonal. A sugárzás színeképet vonalasnak nevezünk, ha a színeképeben csak bizonyos frekvenciájú (pontosabban nagyon keskeny frekvenciaintervallumba eső) színeképvonalak jelennek meg. Vonalas színeképet adnak az atomos, vagy egyszerű molekulákból álló izzó gázok, gőzök, híg oldatok. Ha egy folytonos, emissziós színeképe anyag (pl. izzó fém, izzólámpa) által kisugárzott fényt alapállapotban lévő gőzön, gázon vagy híg oldaton vezetünk át, majd színeire bontjuk, az emissziós színeképeben sötét vonalakat látunk, vagyis a teljes színeképeből hiányozni fognak bizonyos színek, vonalak, amelyeket a gáz, gőz vagy oldat elnyel a rajta átmenő fényből. Ez az adott anyag abszorpciós színeképe. Ha összehasonlítjuk egy gáz kibocsátási és elnyelési színeképet, azt láthatjuk, hogy a kibocsátási színeképeben pontosan ugyanazokon a helyeken találunk fényes vonalakat, amely helyeken az elnyelési színeképeben a fekete vonalak látszanak – komplementerei egymásnak.



1.4. ábra

### Kibocsájtási és elnyelési színeképek

Az előbbi színeképeket tovább osztályozhatjuk a szerint is, hogy milyen hullámhossztartományban vizsgáljuk őket, ezek alapján beszélhetünk látható, gamma, röntgen, ultraibolya, infravörös, mikrohullámú, stb. emissziós vagy abszorpciós spektroszkópiáról. Szokásos a kép alakban előállított spektrumokat tanulmányozó spektroszkópiát spektrográfiának, a spektrumok mennyiségi (kvantitatív) tulajdonságaira összpontosító ágát pedig spektrometriának; látható, ultraibolya, vagy infravörös fény esetén spektrofotometriának nevezni. Legegyszerűbbek és legelterjedtebbek a látható fényvel történő mérések, de a szerves molekulák vizsgálatára az infravörös tartományba eső rezgési színeképeket használják, és nagyon sok módszer van, amely a belső pályán lévő elektronok UV vagy RTG szinthez tartozó átmeneteit használja mérésre. A tágabb értelemben vett spektroszkópia részecskesugárzásokkal is foglalkozik (tömeg~, elektron~), valamint egyéb anyagra jellemző, energiájuk szerint rendezett tulajdonságok vizsgálatával (pl.: mágneses magrezonancia- (NMR) spektroszkópia).

A legtöbb színes szerves vegyület bizonyos hasonló atomcsoportokat tartalmaz, ezeket kromofór (színhordó) csoportoknak nevezzük. Ilyen színhordó csoportok pl.:  $=C=O$  (keto),  $-N=O$  (nitrozo),  $-N=N-$  (azo). Ezek az atomcsoportok önmagukban véve sokszor nem is a látható tartományban, hanem az UV-ban vagy IR-ben abszorbeálnak. Ugyanakkor léteznek olyan



csoportok, amelyek az előzőekhez kapcsolódva képesek a fényabszorpciót a hosszabb, vagy a rövidebb hullámhosszak felé eltolni, ezeket auxokrom csoportoknak nevezzük. A kromofór csoportokban mindig megtalálhatók a lazábban kötött  $n$  elektronok, legtöbbször konjugált kötésben (hosszabb láncszakaszon minden második kötés kettős). A szerves anyagok között nem található ilyen közös szerkezeti elem, itt az anyagi minőség és az atom kémiai környezete dönti el, hogy egy kötő- vagy vegyértékelektron milyen energiával gerjeszthető, azaz milyen hullámhosszúságú fényt nyel el. Szabadon levő atomok, molekulák esetében (azaz gáz halmazállapotban) a gerjesztő energia néhány diszkrét érték lehet (az elemek energiaszintjei határozott értékek) ennek következtében az elnyelt fény is csak a megfelelő hullámhosszúságú (energiájú) lehet. Ezért a gázok abszorpciós spektruma vonalas. Kondenzált rendszerekben, így oldatokban is a közvetlen környezet, az erős kölcsönhatás a szomszédokkal azt eredményezi hogy az energiaszint-rendszer zavart szenved, torzul; energiasávok alakulnak ki. Ezért az elnyelt fény is egy hullámhossz-sávra terjed ki. Az abszorpciós sáv szélessége és helye is befolyásolható a szomszédos idegen molekulákkal. Az oldószer szolvát burka (vizes oldatban hidrát burka) jelentősen eltolhatja az abszorpciós sáv helyzetét. Pl. a jód ibolya színnel oldódik azokban az oldószerekben, amelyekben nem szolvatálódik, és barna vagy sárga színű, ha igen. Másik példa: a réz ion: hidratáltan kék, vízmentes környezetben színtelen.

Színes oldatok fényabszorpciója :

Az oldatban az oldott ionok vagy molekulák kölcsönhatásba lépnek a megvilágító fény fotonjaival, s azokból energiát nyelnek el. A molekulák energiafelvétele a fényintenzitás csökkenését vonja maga után. A színes oldaton átengedett fény spektrális összetétele az oldat anyagi minőségétől, intenzitása pedig a koncentrációtól és az átvilágított réteg vastagságától és természetesen az anyagi minőségtől függ (Bouguer - Lambert -Beer törvény)

$$I = I_0 e^{-\epsilon c l} \quad (1)$$

ahol :  $I$  az átengedett fény intenzitása;

$I_0$  a belépő fény intenzitása;

$c$  az oldat koncentrációja, (mól/ l) ;

$l$  a rétegvastagság (az edény szélessége);

$\alpha$  a moláris abszorpció (extinkciós) koefficiens (függ az anyagi minőségtől , valamint a hőmérséklettől, nyomástól és a megvilágító fény hullámhosszától).

Vezessük be a  $\lg(I_0/I) = A$  (abszorbancia , régebben extinkció) fogalmát:

$$A = \alpha l c .$$

$\alpha$

a definíció értelmében megegyezik annak a rétegvastagságnak a reciprokéval, amelyen áthaladva a fényintenzitás eredeti értékének tizedére csökken. Azok az anyagok,

[1] [5] [6]

### 1.1. A monokromátor meghatározása

A monokromátor egy olyan, legtöbbször mechanikusan állítható optikai eszköz, amely a bemeneti nyílásán belépő szélesebb hullámhosszkálát átfogó kevert fényt vagy más sugárzást összetevőire bontva a kimeneti nyílásán egy nagyon szűk hullámhossz-tartományú sugárzást bocsájt ki. A név a görög *mono-*: egyetlen, *chroma*: szín és a latin *-ator* ragból származik. Monokromatikus fényt előállító berendezést széleskörűen alkalmaznak a tudomány különböző szakterületein, ugyanis nagyszámú jelenség mutat eltérő tulajdonságokat különböző színű megvilágításokban. Annak ellenére, hogy egyszínű megvilágítást sokféleképpen tudunk előállítani, fényforrásokból színszűrőkkel a megfelelő hullámhosszúságú sugarat pontosan kiválasztani nem lehet , kellően szűk tartomány pontos kiválasztása szabadon a színek egy folytonos tartományából pedig csak monokromátorral, interferenciaszűrővel vagy hangolható lézerrel lehetséges, **a szerkezet felbontásától függően** akár tizednanométer pontossággal. Létezik azonban olyan felhasználási terület is, ahol nincs szükség igen szűk hullámhosszra, ilyen esetekben színszűrős monokromátort alkalmaznak. Feladatát tekintve hasonlít a monokromátorhoz a rádiók csatornakeresője, de attól eltérő elven és az elektromágneses sugárzás egy más tartományban működik.

Megfelelő hullámhosszúságú neutron- vagy röntgensugárzás előállításához, kristály monokromátort használnak. A helyes irányban beállított kristály ezekben a hullámhossz-tartományokban optikai rácsként működik, lehet grafit (neutronsugárzás -) Si vagy Ge kristály (RTG sugárzás esetén). Dolgozatomban a spektrofotometriában használt monokromátorokkal foglalkozom. [7] [8]

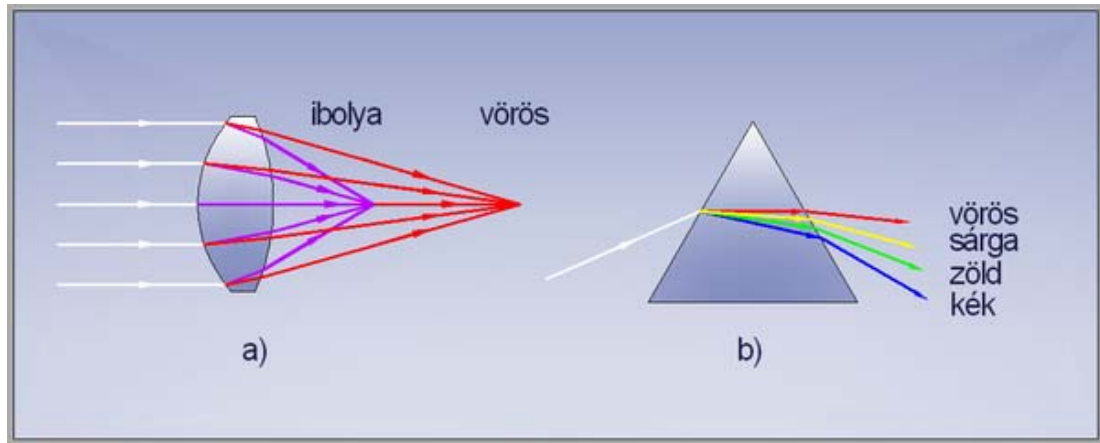
## **1.2. A monokromátor működési elve**

Ahhoz, hogy egy meghatározott hullámhosszúságú fénnel dolgozhassunk vagy lézert kell alkalmaznunk, vagy egy polikromatikus fényforrás szélesebb skálát átölelő tartományból kell kiválasztanunk, kirekeszteni azt. Nem mindig célszerű lézert alkalmazni, hiszen egy-egy vizsgálat során egymástól távol eső hullámhosszokra lehet szükség, mely tartományt a hangolható lézerek nem tudnak átfogni. Mikor egy széles skálájú forrásból származó, egyedi vagy más-más hullámhosszakra van szükség, a sugárzást összetevőire – színeire – kell bontani, a nem kívánt hullámhossztartományt ki kell tudni rekeszteni, a szerkezetnek pedig a mérés kellő pontosságához állíthatónak kell lennie. Ezt teszik a monokromátorok.

### **1.2.1. Színbontás és –kirekesztés lehetőségei**

A monokromátorok általában spektrometriai műszerek azon eleme, ami az összetett fényt spektrális komponenseire bontja. A spektrális bontóelem lehet színszűrő, interferenciaszűrő, prizma vagy optikai rács, ezen kívül többnyire bemeneti rést, kimeneti rést és leképező optikát tartalmaz. A színbontás ezek szerint többféle elven valósulhat meg. Szigorú monokromatikus világítás esetén figyelembe kell venni a be- és kilépőrések szélességét, általánosságban – ha nincs egyéb megkötés – a kilépőrések kétszerese a belépőréseknek. Ahhoz, hogy a rés megvilágítása a legmegfelelőbb és legerősebb legyen, a megvilágító fényforrás képét a rés síkjába kell állítani. A leképező optika feladata az emittált fény gyűjtése a belépőrésekre, a sugarak párhuzamosítása, a felbontott sugár fókuszálása a kilépőrésekre és a sugárzás eljuttatása az érzékelőkre. A feladat megvalósítása történhet optikai lencserendszerrel vagy

száloptikával. Monokromátorok optikai rendszerénél is figyelembe kell venni a lencsék szférikus és kromatikus aberrációjából eredő színhibát, vagyis azt, hogy a lencsék beállítása szigorúan véve csak egy hullámhosszra lehetséges. Ezzel eljutottunk a diszperzióhoz, ami az anyagok törésmutató változását jelenti a hullámhossz függvényében és megmagyarázza a prizma fénybontását.



1.5. ábra

**A diszperzió hatásai: a) – a rövidebb hullámhosszra (ibolya) rövidebb a lencse fókusztávolsága, mint a hosszabbra (vörös);  
b) – a prizma színbontása**

### **Prizma törésmutatója és felbontóképessége.**

A különböző színű fények hullámhossza és terjedési sebessége más és más. A fény terjedési sebessége függ attól a közegtől is, amin éppen áthalad. Más vákuumban, levegőben, szilárd anyagokban. A fény hullámhossza vákuumban

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu}, \quad (1.3)$$

illetve anyagi közegben

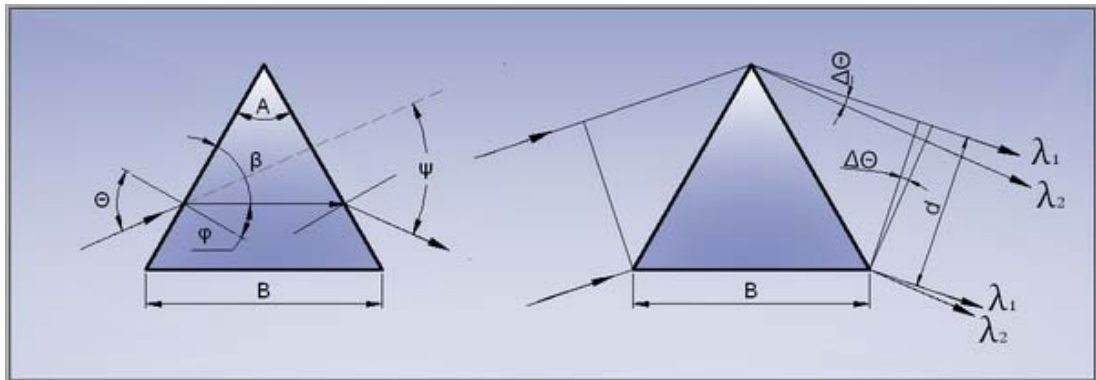
$$\lambda = \frac{v}{\nu}, \quad (1.4)$$

ahol  $c$  a fény vákuumbeli,  $v$  pedig a közegbeli sebességét jelenti (frekvenciája változatlan). A sebesség vákuumbelihez képesti csökkenését egy viszonyzámmal, a törésmutatóval fejezzük ki.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.5)$$

A törésmutató is színfüggő, vagyis egy anyagnak nem egyetlen törésmutatója van, hanem minden hullámhosszra más és más.

A törésmutató változása a hullámhosszal rendszerint kicsi az átlátszó anyagokban. Például koronaüvegben 656,3nm-nél  $n=1,514$  és 434,0nm-nél  $n=1,528$ . Mindazonáltal az ilyen nagyságrendű diszperzió is fontos lehet. Az ilyen anyagokból készített prizmán áthaladó fehér fény komponenseire bomlik, az eltérülés a hullámhossz függvénye. A törésmutatót a minimális eltérülés  $\psi_{min}$  szögének meghatározásával mérhetjük, melyet az 1.6 ábra mutat. Amikor az eltérülés éppen  $\psi_{min}$ , a bejövő és a kilépő sugarak szimmetrikusan helyezkednek el a prizma  $A$  törőszögének felezősíkjához képest. Ha ez a szimmetria nem állna fenn, akkor a fény irányának megfordítása arra vezetne, hogy a minimális eltérüléshez két szög tartozik.



1.6. ábra

**Geometriai vázlat törésmutató számítására a minimális eltérülés szögéből**

1.7. ábra

**A  $\lambda_1 > \lambda_2$  hullámhosszakra a törési szögek  $\Delta\theta$  különbsége**

Az 1.6 ábráról leolvasható, hogy

$$\psi = 2(\theta - \varphi) \quad (1.6)$$

(mivel a teljes eltérülés az egyes felületeken fellépőknek a kétszerese), vagyis

$$\theta = \frac{\psi}{2} + \varphi. \quad (1.7)$$

Továbbá

$$\beta + \varphi = \frac{\pi}{2}, \quad (1.8)$$

és

$$\beta + \frac{A}{2} + \frac{\pi}{2} = \pi, \quad (1.9)$$

mivel egy háromszög belső szögeinek összege  $\pi$ . A  $\beta$  szöget kiküszöbölve az (1.8) és (1.9) egyenletekből,

$$\varphi = \frac{A}{2} \quad (1.10)$$

adódik. Ha  $\varphi$  ezen kifejezését az (1.7) egyenletbe helyettesítjük, akkor

$$\theta = \frac{\psi + A}{2}. \quad (1.11)$$

A törési törvényt a felületen alkalmazva

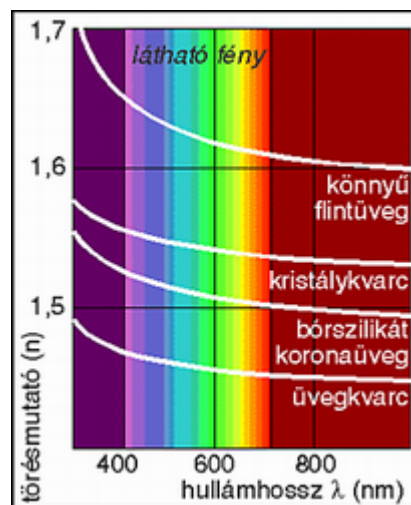
$$n = \frac{\sin\theta}{\sin\varphi}. \quad (1.12)$$

Az (1.10) és (1.11) egyenleteket az (1.12)-be helyettesítve kapjuk, hogy

$$n = \frac{\sin[(\psi + A)/2]}{\sin(A/2)}. \quad (1.13)$$

Egy adott prizmánál az eljárás az, hogy először megmérjük az  $A$  törőszöget. Ezután meghatározzuk a minimális eltérés szögét több különböző hullámhosszra, majd az (1.13) egyenlet alapján kiszámítjuk az anyag diszperziós görbéjét.

A törésmutató változása a hullámhosszal,  $dn/d\lambda$ , nem állandó. Átlátszó anyagokra általánosan érvényes, hogy rövidebb hullámhosszokra (azaz kék és ibolya tartományokban) nagyobb. Mind a törésmutató, mind a diszperzió függ az anyagtól. (1.8. ábra)



### 1.8. ábra

#### Különböző anyagok diszperziós görbéi

Amikor a prizmat monokromátor bontóelemeként alkalmazzák, kívánatos, hogy diszperziója a lehető legnagyobb legyen. Ekkor ugyanis a spektrum kiterjed és nagy lesz a felbontás.

A prizmás monokromátor  $\Delta\lambda/\lambda$  színi felbontóképességét a prizma effektív apertúrájának diffrakciós korlátjából határozhatjuk meg. Az (1.7.) ábrán a prizma alapja  $B$ , effektív apertúrája  $d$ , és törésmutatója  $\lambda_1$ -nél  $n$ . Vizsgáljuk a  $\lambda_1$ -re feltüntetett két sugár optikai útját. Mivel a hullámfront sík, a felső és az alsó sugár optikai úthosszának azonosnak kell lennie. Egy második  $\lambda_2$  hullámhosszúságú sugár az elsőhöz képest  $\Delta\theta$  szög alatt lép ki a prizmából, és a felső sugár útkülönbsége  $d\Delta\theta$ . Ennek egyenlőnek kell lennie az alsó sugár útkülönbségével (amelyet a diszperzió okoz), tehát

$$B\Delta n \quad (1.14)$$

-nel. A kettőt egyenlővé téve

$$d\Delta\theta = B\Delta n . \quad (1.15)$$

Ha feltételezzük, hogy a még felbontható legkisebb szöget a diffrakciós korlát szabja meg (ld. a [10] 10.3. alfejezete), tehát feltételezzük azt, hogy a prizma felülete a megtört fénysugarakat egy téglalap alakú részre korlátozza, akkor

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{d} . \quad (1.16)$$

$\Delta\theta$  - e kifejezést az (1.15) egyenletbe helyettesítve

$$\lambda = B\Delta n \quad (1.17)$$

adódik.  $\Delta\lambda$ -val osztva

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = B \frac{\Delta n}{\Delta\lambda} . \quad (1.18)$$

Tehát a prizma felbontóképessége az alap és a diszperzió szorzatával egyenlő.

[1] [8] [9] [10]

**Minden monokromátornak van egy belépő és egy kilépőnyílása.....-  
felbontóképesség stb.**

A monokromátorok többféle elven működhetnek.

1.: A színbontás módja szerint:

- prizmás
- rácsos
- interferenciaszűrős
- interferenciatükrös

2.: Mechanikai elrendezésük szerint:

- Littrow
- Czerny-Turner
- Chupp-Grantz
- Plósz-féle



## 1. Prizmás monokromátor

- prizma felbontóképessége: OPTIKA/213

### **1.3. Típusok összehasonlítása működési elvük alapján**

## **2. A vizsgált monokromátor bemutatása**

### **2.1. Fénybontás módja**

- vékonyrétegek
- interferencia és változása a beesési szög függvényében
- a tükrök működési szögtartománya (később kimérve is)
- optikai átvitel - struktúra gráf, átviteli fv

### **2.2. Geometriai elrendezés**

- általános leírás -
- a tükrök együttmozgásának geometriai magyarázata
- mozgás átvitele - tükrök mozgásának szögtartománya (később kimérve is)
- tükörelfordulás linearitása a tekerőgomb elfordulásának függvényében (később kimérve)
- mozgás átvitele más módszerekkel, ezek linearitásának és kotyogásmentesíthetőségének vizsgálata
- mechanika mechatronikai megközelítése - struktúra gráf felrajzolása, átviteli fv

## **3. Mérések**

### **3.1. Geometriai teljesítmény mérése**

- linearitás mérése (egységnyi állításra mekkora a hullámhosszváltozás) különböző tartományokban vagy a teljes tartomány linearitásának kimérése
- mért eredmények összehasonlítása az elmélettel

### **3.2. Optikai teljesítmény mérése**

- fényforrás színekének a felvétele (esetleg összehasonlítása a katalógussal)
- vékonyréteg mérése

- sáv szélesség - 1 tükör, szerkezet 4 tükörrel
- felbontóképesség - 1 tükör, szerkezet 4 tükörrel
- hatásfok mérése a teljes sáv szélességen belül – 1 tükör, szerkezet 4 tükörrel? (tulajdonképpen a monokromátor kimeneti színeképek a felvétele a működési tartományon belül, majd összevetése a fényforrásával)
- mért eredmények összehasonlítása az elmélettel

## **4. Kiegészítési javaslat elektromos mozgathoz**

### **4.1. Motor és vezérlés kiválasztása**

- DC motor és vezérlés
- léptetőmotor és vezérlés
- választás a kettő közül

### **4.2. Mechanika**

- mechanikai illesztés lehetőségei tervrajzokkal és 3D modellek bemutatásával
- vezérlőáramkör és kapcsolók dobozba integrálása

### **4.4. Számítógépes szabályzás lehetőségei**

- csatlakozás a PC-hez (USB, soros, ill. párhuzamos port)
- 
- önműködő beállítás visszacsatolás segítségével

## **Irodalomjegyzék**

- [1] ÁBRAHÁM Gy. Dr. (szerk.): Optika, Panem – McGraw-Hill, Bp., 1997.
- [2] HECHT, EUGENE: Optics, 2nd ed., Addison-Wesley, USA, 1987.
- [3] ISMERETLEN SZERZŐ: Elektromágneses hullám, Wikipédia szócikk,  
[http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektrom%C3%A1gneses\\_hull%C3%A1m](http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektrom%C3%A1gneses_hull%C3%A1m),  
2008.04.10.
- [4] ISMERETLEN SZERZŐ: Elektromagnetisches Spektrum, Wikipédia szócikk,  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches\\_Spektrum](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum),  
2008.04.10.
- [5] ISMERETLEN SZERZŐ: Színképelemzés, Wikipédia szócikk,  
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Spektroszk%C3%B3pia>, 2008.04.11.
- [6] ISMERETLEN SZERZŐ: Színképek, Mozaik Kiadó, Szeged,  
[http://www.mozaik.info.hu/MozaWEB/Feny/FY\\_ft412.htm](http://www.mozaik.info.hu/MozaWEB/Feny/FY_ft412.htm), 2001.06.27.
- [7] ISMERETLEN SZERZŐ: Monochromator, Wikipédia szócikk,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Monochromator>, 2008.01.21.
- [8] BÁRÁNY NÁNDOR: Optikai műszerek elmélete és gyakorlata, Nehézipari  
Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Bp., 1952.
- [9] BOTH ANDRÁS: Diplomadolgozat – Transzmissziós spektrofotométer  
tervezése, Bp., 2008.
- [10] NUSSBAUM, A. – PHILLIPS, R. A.: Modern optika mérnököknek és  
kutatóknak, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1982.
- [11]
- [12]
- [13]

## **Függelék**