

ELJÁRÁS INTERFERENCIA-SPEKTROSKÓPIAI BONTÓELEMEK PRAKTIKUS FELBONTÓKÉPESSÉGÉNEK KÍSÉRLETI MEGHATÁROZÁSÁRA

KISS LÁSZLÓ—DR. PATKÓ GYÖRGY—VIDA JÓZSEF

Bevezetés

Sugárzó anyag spektrumvonalainak külső elektromos, ill. mágneses mező hatására történő felhasadását vagy a spin-pálya kölcsönhatásból származó finom vonalszerkezetet a legtöbb prizmás spektroszkóppal nem tudjuk észlelni, annak kis felbontóképessége miatt. A spektroszkóp felbontóképessége a már elért határok fölé lényegesen nem emelhető. Az interferencia-spektroszkópia feladata a fent említett vonalszerkezet tanulmányozása. Az interferencia-spektroszkópok felbontóképessége nagyságrenddel nagyobb lehet a prizmás spektroszkópokénál. Így azok segítségével a vonalszerkezet közvetlenül tanulmányozható [1].

Nem közömbös, hogy egy adott vonalszerkezet tanulmányozásához mekkora felbontóképességű eszközt használunk. Annak kiválasztása döntő jelentőségű. A gyakorlatilag elérhető felbontóképesség soha sem éri el az elméletileg kiszámítottat, így ez utóbbi nem biztos támpont a megfelelő eszköz kiválasztásához.

E fenti tény motivált bennünket, amikor a Lummer—Gehrcke-lemez felbontóképességének kísérleti meghatározását elvégeztük.

A felbontóképesség

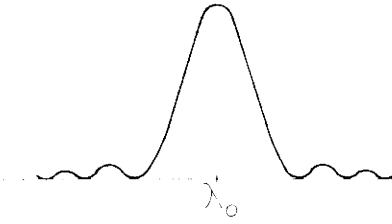
Az optikai műszerek által létrehozott képekben az elhajlás jelensége miatt a tárgy részletei — leképezési hibáktól mentes esetben is —, csak bizonyos határig jelennek meg.

A spektrográf részének még a szigorúan monokromatikus fényvel leképezett képe sem geometriai vonal. A színeképvonal hullámhosszúságának megfelelő helyen (λ) fő-intenzitásmaximummal jelentkezik, s ennek mindkét oldalán minimumok és egyre csökkenő maximumok jönnek létre (1. ábra) [5].

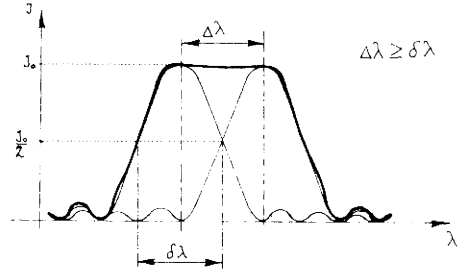
Rayleigh ismerte fel azt a feltételt, mely mellett két közeli fő-intenzitásmaximum (színeképvonal) egymástól megkülönböztethető. A megkülönböztetéshez az szükséges, hogy a két főmaximum távolsága ne legyen kisebb, mint a vonalak szélessége (félszélessége) (2. ábra) [1, 3, 4, 5, 6, 7].

Más megfogalmazásban: két szomszédos színeképvonal elméletileg akkor tekinthető felbontottnak, ha az egyik vonal fő-intenzitásmaximuma a másik vonal első intenzitásmaximumával éppen egybeesik (3. ábra) [1, 2, 5, 7, 10].

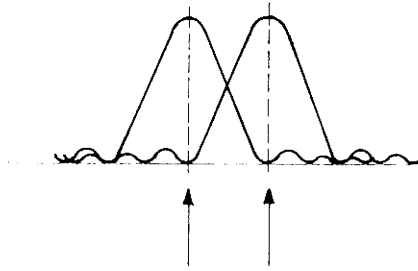
Két különböző intenzitású spektrumvonal pedig akkor tekinthető felbontottnak, ha a nagyobb intenzitású vonal kontúrgörbéje a kisebb intenzitású vonal



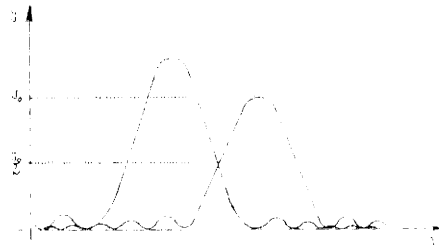
1. ábra



2. ábra



3. ábra



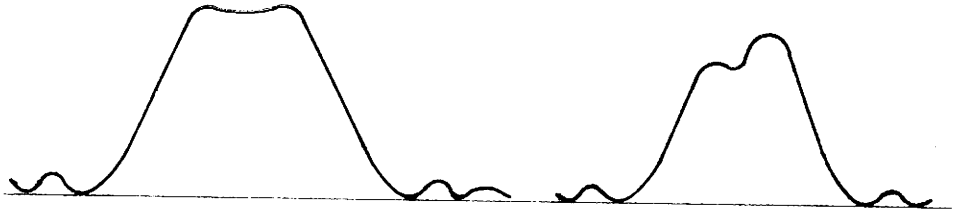
4. ábra

kontúrgörbéjét annak intenzitás-félértéke alatti tartományban metszi (4. ábra) [7].

Az eddig tárgyalt kritériumok gyakorlatilag nem használhatók, mivel a feketedési görbe az intenzitások összegét adja. Jól használható még a Sparrow-kritérium, amely szerint két színekvonalat felbontottnak tekintünk, ha a két vonal eredő intenzitás-görbéjén találunk olyan pontot, amelyre teljesül:

$$\frac{dI}{d\lambda} = \frac{d^2I}{d\lambda^2} = 0,$$

tehát az $I(\lambda)$ görbe első és második differenciálhányadosa is zérus (5. ábra).



5. ábra

Az $I(\lambda)$ görbe fotometrálassal határozható meg.

A színekélemező készülék elméleti felbontóképességén az

$$R_s = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

hányadost értjük, ahol λ és $\lambda + \Delta\lambda$ a készülékkel még éppen megkülönböztethető spektrumvonalak hullámhossza [1, 3, 4, 5, 7].

Ezt a mennyiséget nevezzük spektrális felbontóképességnek [3] is.

A bontóelemeket osztályozhatjuk aszerint, hogy milyen nagyságrendű felbontás érhető el velük. Így ismerünk kisbontású ($R_s \approx 10^3$), középontású ($R_s \approx 10^4$), és nagybontású ($R_s \approx 10^5$) készülékeket. Pl. az a berendezés, amelyik a 310 nm-es vastriplett 309,997 nm-es és 309,990 nm-es vonalait két vonalként regisztrálja, az középontású, mert:

$$\Delta\lambda = 0,007 \text{ nm}$$

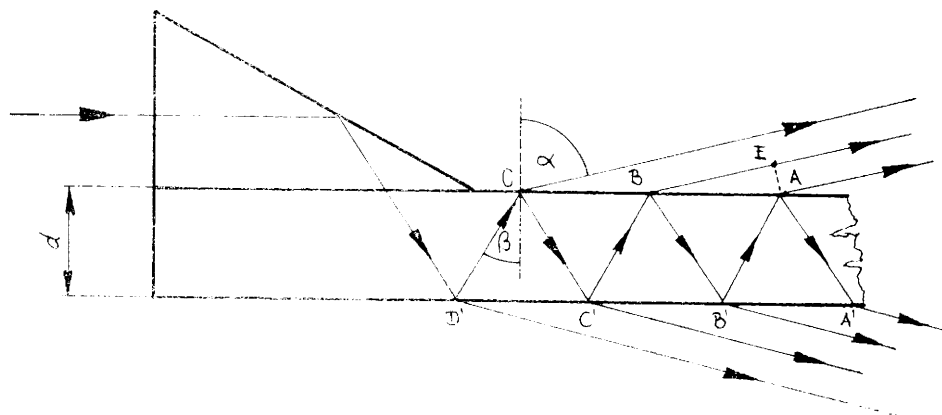
$$R_s = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{310 \text{ nm}}{0,007 \text{ nm}} \approx 4,4 \cdot 10^4.$$

Az R_s mennyiséget a bontóelem és regisztráló berendezés tulajdonságai, a diffrakciós jelenségek és az optikai rendszer aberrációi határozzák meg.

A felbontóképesség a műszerrel elérhető legnagyobb elvi felbontást jelenti. A gyakorlatban ez sohasem érhető el. A színekvonalak ugyanis mindig úgy keletkeznek, hogy egyrészt a rés nem végtelenül keskeny, másrészt pedig a színekvonalat létrehozó fénykéve többnyire nem esik merőlegesen a színekvonal síkjára. Ezen túl a fellépő mellékmaximumok a színekvonal szélét elmosódottá teszik. A valódi felbontóképesség — az úgynevezett felbontás — tehát mindig kisebb az elméletinél.

Fényinterferencia előállítása Lummer—Gehrcke lemezzel

Tekintsünk egy d vastagságú, környezetéhez képest n törésmutatójú Lummer-Gehrcke-lemezt, amelyre koherens, párhuzamos fénysugarakból álló fény-



6. ábra

nyalábot ejtünk a 6. ábrán látható módon. A lemez A, ill. B pontjából kilépő két sugár között a fáziskülönbség:

$$\delta = 2d \left(\frac{BB'}{\lambda} - \frac{CC'}{\lambda'} \right)$$

ahol λ és λ' az adott fény hullámhossza levegőben, ill. a lemezben. Ha a számbavett két sugár interferál, az interferencia eredményét δ szabja meg. A fentiekből következik, hogy a d vastagságú n törésmutatójú lemezre az erősítés feltétele [3]:

$$k\lambda = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$$

A Lummer-lemez felbontóképessége

A Lummer-lemez felbontóképességének meghatározásánál — a lemezből sűrűlő szög alatt kilépő sugarakra közelítést alkalmazva, valamint figyelembe

véve, hogy ezekre a sugarakra $\lambda n \frac{\partial n}{\partial \lambda}$ elhanyagolhatóan kicsi — adódik, hogy:

$$R_s = \frac{1}{\lambda} (n^2 - 1).$$

Lummer-lemez felbontásának kísérleti meghatározása

Adott Lummer-lemez felbontóképességét meghatározhatjuk, ha találunk olyan $\Delta\lambda$ hullámhossz-különbségű, megfelelő félerértékszélességű vonalakat, amelyeket a Lummer-lemez a Rayleigh-formulának megfelelően bont fel,

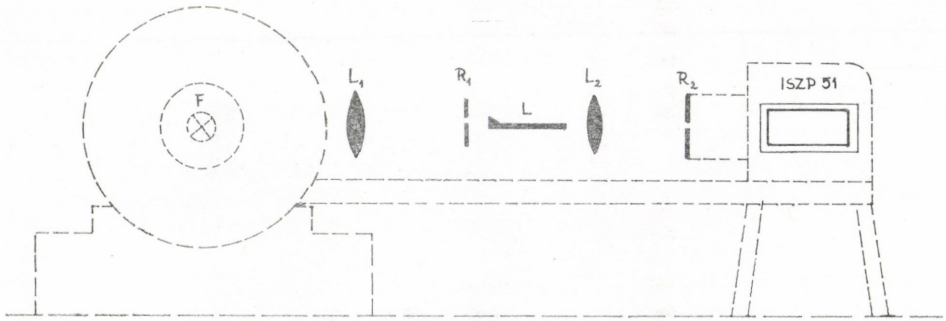
Természetesen minden bontóelemhez és bármely λ -hoz nem található megfelelő vonalpár. A problémát a Zeeman-effektus segítségével oldottuk meg: adott színeképvonalon mágneses mezővel kívánt mértékű felhasadást hoztunk létre.

A kísérlet menete a következő:

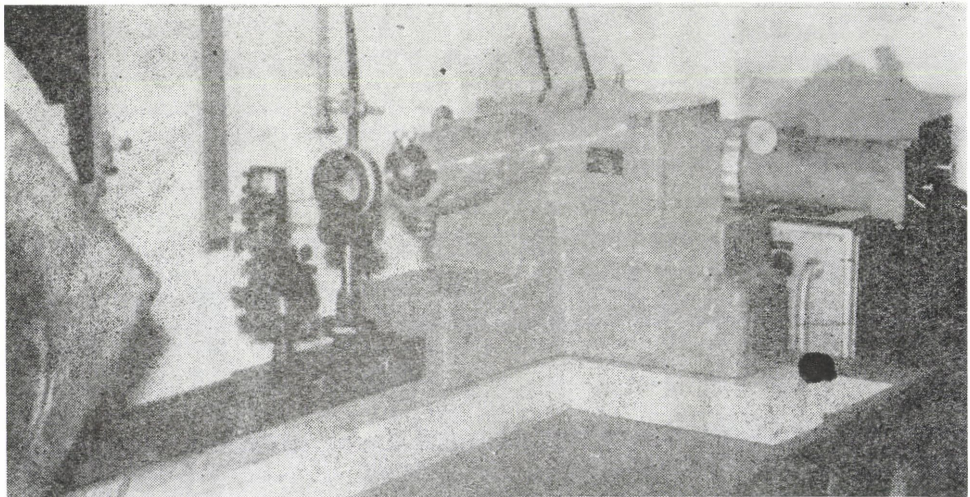
- Megfelelő fényforrás létrehozása és beszerelése elektromágnes légrésébe;
- A táblázatból kikeresett megfelelő színeképvonal meghatározása;
- Mágneses indukció mérése és grafikus ábrázolása a gerjesztő áram függvényében;
- A spektrográf keresztvezése Lummer-lemezzel. ($B=0$);
- Zeeman-vonalfelhasítás ($B \neq 0$);
- A $B \neq 0$ különböző fokozataiban spektrogramm készítése;
- Kísérleti és elméleti R_s értékek összehasonlítása.

A kísérleti összeállítás

A felbontóképesség meghatározásához Lummer—Gehrcke-lemezzel keresztvezett ISZP—51 típusú spektrográfot használtunk. Az elektromágnes légrésébe, az L_1 lencse fókuszpontjába helyezük az F fényforrást (Cd spektrállámpa). A keresztirányú R_1 résen át a párhuzamos fénynyaláb a 4,804 mm vastag, 150 mm hosszú, ömlesztett kvarcból készült Lummer—Gehrcke-lemez prizmájára jut. A többszörös visszaverődés után kapott 16 sűrűlően kilépő, közel egyező intenzitású nyaláb az L_2 lencsére esik. Az L_2 lencse fókuszszíkjában keletkezett interferenciaképet a spektrográf résén (R_2) élesen előállítjuk. A kísérleti összeállítás vázolata a 7. ábrán, fényképfelvétele a 8. ábrán látható.



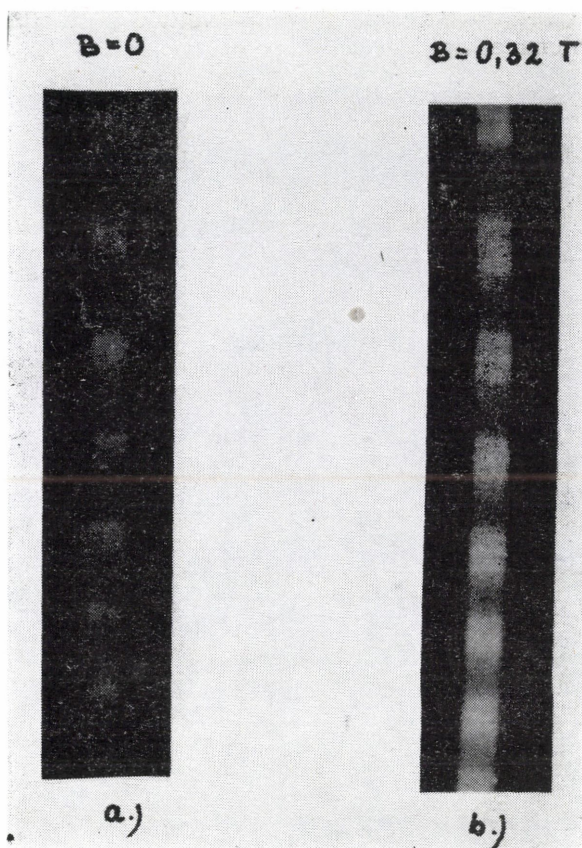
7. ábra



8. ábra

$B=0$ esetén a kadmium $643,85 \text{ nm}$ hullámhosszúságú vonalát a Lummer-lemezzel keresztezett spektrográf a 9. a ábrán látható módon állítja elő. A 9. b ábrán a $B \neq 0$ esetén előállított normális transzverzális triplétt spektrogrammjának húszszoros nagyítású fényképe figyelhető meg.

Az elektromágnes egy adott gerjesztésénél bekövetkezik a felhasadás olyan mértéke, amely a Rayleigh-kritériumnak tesz eleget. A fotometráls során $B=0,26 \text{ T}$ indukciónál kaptunk olyan feketedési regisztrogramot, amelyen éppen megjelentek a relatív minimumok.

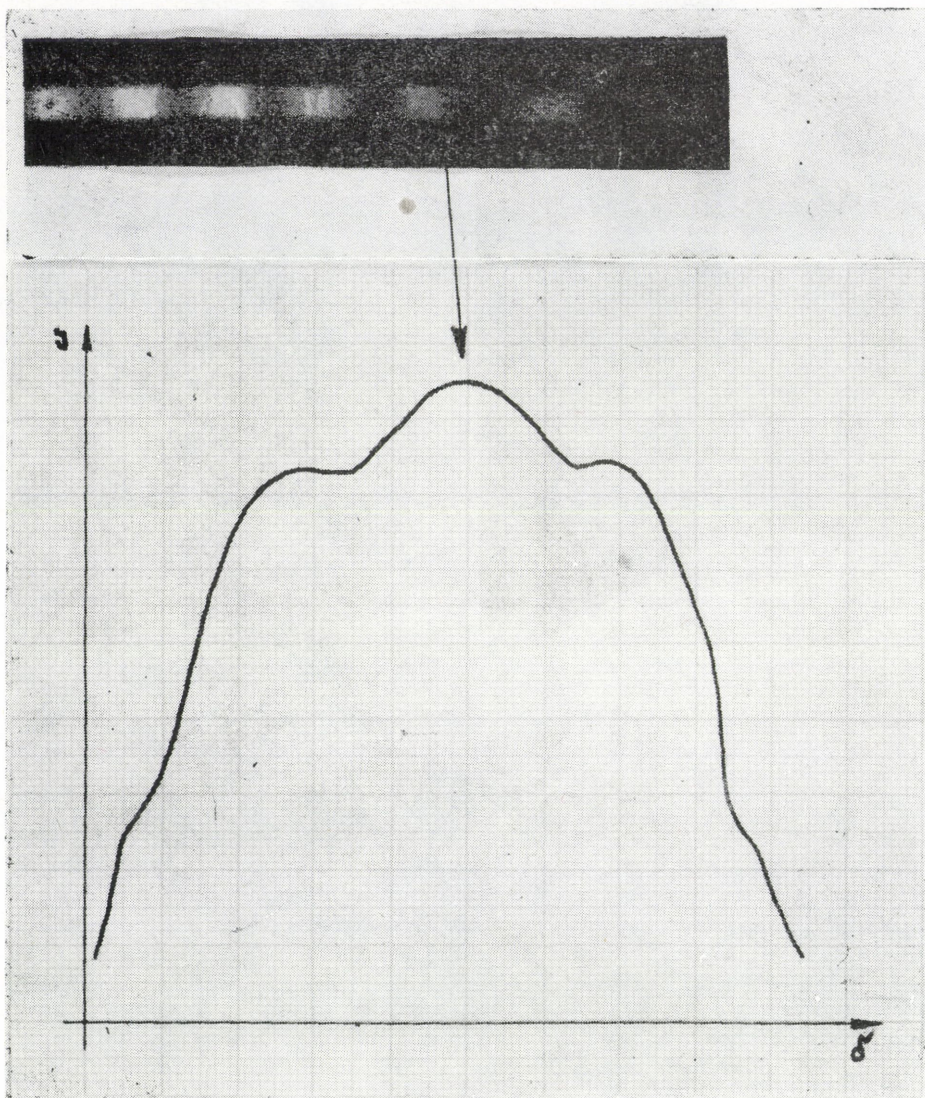


9. ábra

A spektrogramm felvételének adatai:

Résszélesség:	300 mikrométer
Kollimátor:	20,5 skálarész
Kamara:	22,4 skálarész
Precíziós hullámhosszdob állása:	62,2
Kazetta dőlési szöge:	4
Az L_1 lencse fókusztávolsága:	300 mm
átmérője:	40 mm
Az L_2 lencse fókusztávolsága:	300 mm
átmérője:	75 mm
Fotolemez típusa:	AGFA Spektrál-Platten, Rot Rapid
Megvilágítási idő:	15 s
Hívó:	FENOFORT negatív hívó
A lemez hívásának ideje:	300 s

A pozitív képet hússzoros nagyítással, színeképvetítőn készítettük. A kiértékelés során használt fotométer típusa: MF—2.



10. ábra

A 10. ábrán a spektrogramm hússzoros nagyítású részlete, a 10. b ábrán az $n+3$ -ik rend feketedési regisztrógrammja látható.

A 643,85 nm hullámhosszon a kísérletben szereplő Lumer-lemez elméleti felbontóképessége $R_s = 2,6 \cdot 10^5$, a kísérlet eredménye szerint: $R_s = 1,5 \cdot 10^5$. Láthatjuk, hogy a gyakorlati feloldóképesség kisebb, mint az elméleti [8].

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Dr. Budó Ágoston—dr. Mátrai Tibor: Kísérleti fizika III. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
2. Kiss László—dr. Patkó György: Transzervális normális Zeeman-effektus demonstrálása. Tudományos Közlemények, Eger, 1979.
3. Dr. Mátrai Tibor: Gyakorlati spektroszkópia. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
4. Dr. Mátrai Tibor—dr. Patkó György: Fénytan (optika) Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.
5. Mika József—Török Tibor: Emissziós színképelemzés, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1968.
6. Scheller N.: Bevezetés a gyakorlati színképelemzésbe. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
7. Tolansky S.: High resolution spectroscopy New York—Chicago, 1947.
8. Vida József: Lummer-lemez felbontóképességének kísérleti meghatározása. Egyetemi szakdolgozat, 1980.
10. Zeeman P.: Doublets and triplets in the spectrum produced by external magnetic forces Philos. Magazine (5.) 44. 1897.

System für die experimentelle Bestimmung des praktischen Auflösungsvermögens von Trennungselemente in der Interferenz-Spektroskopie

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Bestimmung des praktischen Auflösungsvermögens von hochauflösenden Spektralapparaten ist ein allgemein gebräuchliches Verfahren, damit die Spektrallinien mit kleinen Wellenzahldifferenzen und mit entsprechenden Linienbreiten von Dublett, Triplet oder von dem bekannten Streifensystem untersucht werden.

Dieses ursprüngliche optische Messverfahren gibt nur in speziellen Fällen zuverlässige Werte. Das Ergebnis der Messung ist nur zu erfahren, daß das Auflösungsvermögen von einem bestimmten Wert größer oder kleiner ist.

In dieser Abhandlung machen wir — mit Hilfe des Zeeman-Effektes — ein Verfahren um die hochexakte Festsetzung des praktischen Auflösungsvermögens bekannt.

Beim Schreiben unserer Arbeit hat uns der Gesichtspunkt geführt, daß in die wissenschaftliche optische Spektralanalyse sich einschalteten Studenten und den Mitgliedern des wissenschaftlichen Studentenbundes eine Hilfeleistung geben könnten.