

A FARADAY-EFFEKTUS DEMONSTRÁLÁSA

PATKÓ GYÖRGY

Ebben a dolgozatban a Faraday-effektussal kapcsolatos alapösszefüggéseket gyűjtöttük össze, valamint egy demonstrációs és egy gyakorlati mérésre alkalmas összeállítást ismertetünk.

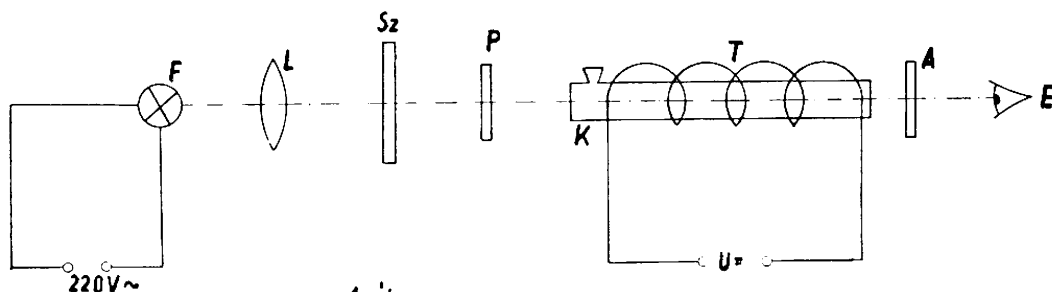
A T elektromágnes menetei közé helyezett mágneses térben optikailag aktívvá váló anyagon monochromatikus, lineárisan poláros fénynyalábot bocsátunk át (1. ábra). Ha a T elektromágnest nem gerjesztjük, s a fény polarizációs síkjára merőlegesen A analizátort helyezünk el, az F fényforrás fénye nem jut el az E szemlélő szemébe, a látófelület sötét lesz. Ha az elektromágnest gerjesztjük, a látófelület kivilágosodik, vagyis a mágneses térrel párhuzamos terjedési irányú polározott fény rezgési síkja a mágneses tér hatására α szöggel elfordul. Az A analizátor elforgatásával fokozatosan újra sötét látófelületet nyerünk. Ebből kiindulva ismert mérhető adatok segítségével meghatározhatjuk a polározott fény síkjának elfordulási szögét a H mágneses tér intenzitása függvényében. Az elfordulási szög függ az ún. V Verdet-féle állandótól, s arányos a H mágneses térerősség nagyságával és a fénynek az anyagban megtett l úthosszával.

$$\alpha = V \cdot l \cdot H \quad (1)$$

$$\text{ahol } V = \frac{\text{fok} \cdot \text{perc}}{\text{m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A menet}}$$

$$l = m$$

$$H = \frac{\text{A menet}}{m}$$



1. ábra

A magnetooptikának ezt az érdekes jelenségét Faraday 1845-ben, a mágneses és optikai jelenségek első közös megnyilvánulásaként fedezte fel [3].

A Faraday-effektus a Zeeman-effektus következménye. H. Becquerel a klasszikus elektrodinamika módszereivel a normális Zeeman-effektus tekintetbevételével vezette le először [10].

$$\alpha = \frac{e}{2m c^2} \cdot \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda} \cdot l \cdot H \quad (2)$$

A (2) formula alapján a Verdet-féle állandó a monochromatikus fény hullámhosszától függ, és független a hőmérséklettől, de a tapasztalat azt csak a diamágneses anyagoknál igazolja. Ladenburg hívta fel a figyelmet arra, hogy a (2) formulát paramágneses anyagoknál ki kell egészíteni egy taggal, amely az abszolút hőmérséklettel fordítva arányos. A hőmérséklettől való függés jelentőségét bizonyítja az is, hogy különböző hőmérsékleteken történő mérések útján megkülönböztethető az effektus diamágneses és paramágneses része [9]. A pontos elméletet R. De L. Kronig a kvantummechanika alapján adta meg.

Az α elfordulási szög előjelét a $\frac{dn}{d\lambda}$ és az elektron töltési előjeleinek szorzata határozza meg. Ha a lineárisan poláris fény elfordulási szögének iránya megegyezik az elektromágnes tekercsében folyó áram irányával, akkor az elfordulási szög pozitív. Pozitív elfordulást mutat a kén, foszfor, levegő, hidrogén és nagyon vékony fémfóliák. Negatív elfordulást adnak a vasklorid oldatok és a paramágneses sók. Megjegyezzük továbbá, hogy vas esetén az előfordulás vörös fénynél erősebb, mint kék fénynél, tehát egy anomális forgásdiszperzió lép fel [12].

Különböző fázisú anyagok Verdet-féle állandójának meghatározásai igen eltérő kísérleti és elméleti fogásokat igényel.

Az oldatok Verdet-féle állandóját

$$V = \sum_m V_m \frac{q_m}{\varrho} \quad (3)$$

összefüggéssel határozhatjuk meg, ahol V_m a Verdet-féle állandókat, a q_m — a térfogattartamokat g/cm^3 -ben, a ϱ_m — az oldatban tartalmazott egyes anyagok sűrűségét jelenti. A (3) egyenlet kevés kivétellel akkor eléggül ki, ha a $\sum_m \frac{q_m}{\varrho_m} = 1$ egyenlet elégségesen beigazolódik. Tehát, ha az oldószer adatai (V_1, q_1, ϱ_1) ismertek, az oldat V Verdet-féle állandója mérhető, és ha csak egy anyag (V_2, q_2, ϱ_2) van feloldva, akkor az ismeretlen $\overline{V}_2$ -t a (4) egyenlet szerint számoljuk ki:

$$V_2 = \frac{\varrho_2}{q_2} \cdot \left(V - V_1 \cdot \frac{q_1}{\varrho_1} \right) \quad (4)$$

Egy adott gáz Verdet-féle állandója adott hullámhossz intervallumon belül a következő formulával határozható meg:

$$10^6 \cdot V_t^{\lambda*} = \frac{a}{\lambda} + \frac{b}{\lambda \cdot t} \quad (5)$$

Az (5) összefüggés $0,423 \mu < \lambda < 0,684 \mu$ hullámhossz intervallumban érvényes, s a következő táblázat adatainak felhasználásával oldható meg.

Adott anyag	Nyomás	t	a	b
CO ₂	1 kp/cm ²	6,5	2,682	0,83305
N ₂	100 kp/cm ²	14,0	171,2	52,86

A Faraday-effektus demonstrálását III. éveseink optikai előadásaihoz és IV. éves hallgatóink mérőgyakorlataihoz munkáltuk ki.

A kísérlet bemutatását technikailag kétféleképpen is megoldhatjuk:

- Az optikailag aktív anyagot mágneses teret gerjesztő tekercstől távolabb, az elektromágnes pólusai közé helyezzük el. Ez esetben a gerjesztő áram által létrehozott hő az anyag hőmérsékletét csak kis mértékben befolyásolja, viszont az elektromágnes pólusainak mechanikai kiképzése igen körültekintő munkát igényel [11].
- Egyszerűbben megoldható a kísérlet, s a tekercsben felszabaduló hő befolyása ellenére is kielégíti a demonstrációs igényeket, ha az optikailag aktív anyagot a gerjesztőtekercs belsejében helyezzük el [6].

A Faraday-effektus demonstráció formájában a következő egyszerű eszközökkel mutatható be (1. ábra).

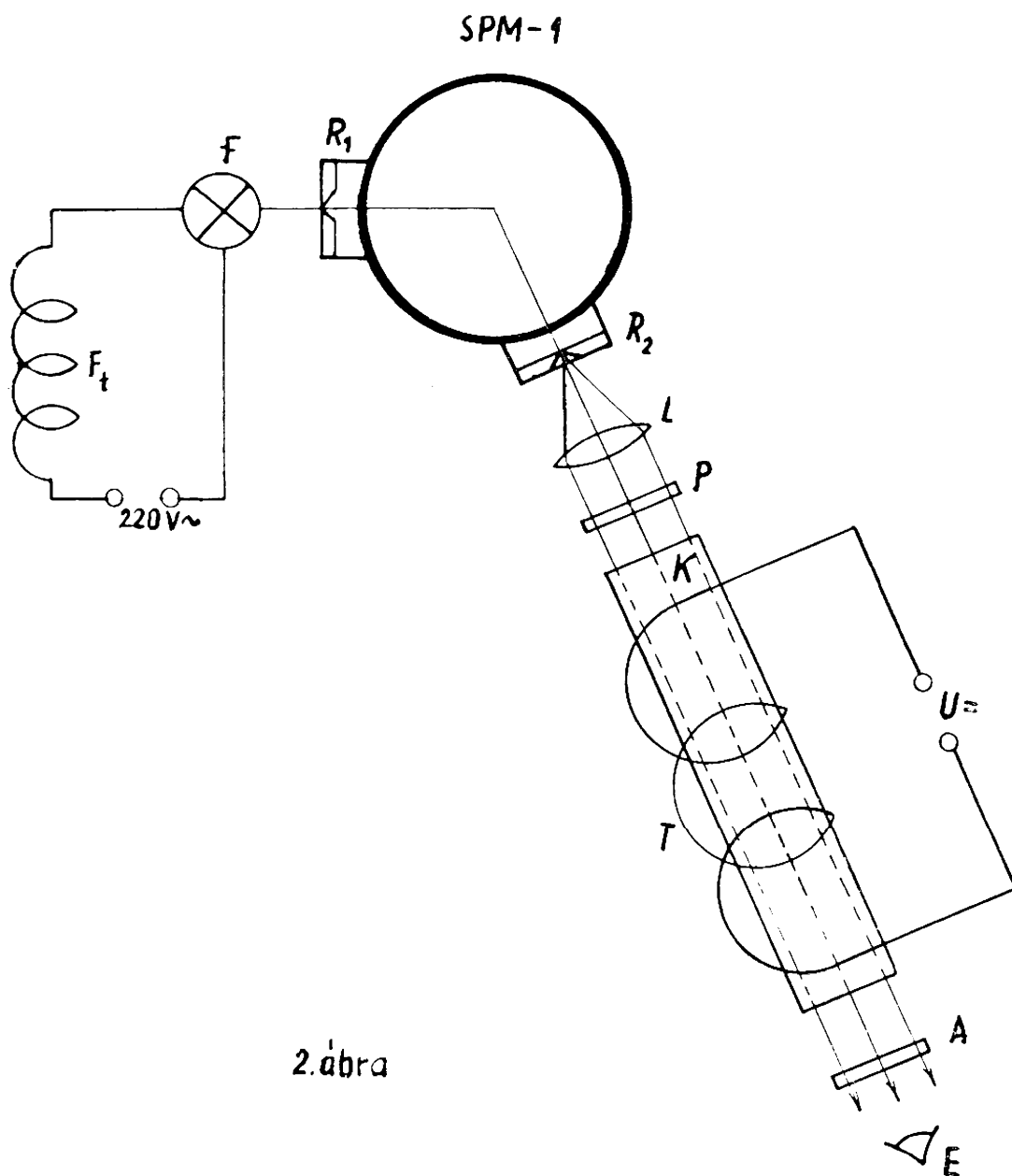
- 1 db Gamma diavetítő (fényforrás F, kondenzátorlencse L)
- 1 db zöld színszűrő (Sz)
- 1 db polarizátor (P)
- 1 db elektromágnes (T)
- 1 db Bomeko áramforrás (U =)
- 1 db küvetta (K) C₆H₆-al
- 1 db analízátor (A)

A kísérletet úgy is összeállítottuk, hogy gyakorlatokon végzett fizikai mérésekre, valamint hallgatói szakdolgozatok készítéséhez is alkalmas legyen.

- Szükséges eszközök: 1 db Hg spektrállámpa (F_t F)
 1 db Monochromátor (SPM—1)
 1 db gyűjtőlencse (L)

* V_t^{λ} — A felső indexszel a kísérletnél használt fény hullámhosszát, az alsó indexszel az anyag hőmérsékletét jelöljük.

- | | |
|--------------------|-----|
| 1 db polarizátor | (P) |
| 1 db küvetta | (K) |
| 1 db elektromágnes | (T) |
| 1 db áramforrás | (U) |
| 1 db analizátor | (A) |



2. ábra

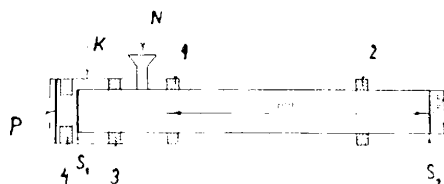
A H -t a gerjesztési törvény segítségével határozhatjuk meg. Homogén tér esetében az $l \cdot H$ -val dolgozunk. Ha a tér nem homogén, akkor $\int_0^l l H dl$ mágneses feszültség lép az $l \cdot H$ helyébe. Megjegyezzük, hogy pontos mérésnél még a Föld mágneses terét, a 0,67 G-t is figyelembe vesszük. Mérőgyakorlathoz, szakdolgozatokhoz érdekesebb több menetet és kisebb gerjesztőáramot alkalmazni, mert a kis gerjesztőáram stabilizálása technikailag könnyebben megoldható.

Hitelesítéseknél a Na fény használata mellett a következő összefüggések alkalmazhatók:

$$\text{CS}_2 \quad V_t = 4,347 \cdot 10^{-2} \cdot (1 - 1,696 \cdot 10^{-3} \cdot t) \\ (t = 0 \text{ } ^\circ\text{C} - 42 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad V_t = 1,311 \cdot 10^{-2} \cdot (1 - 3,05 \cdot 10^{-5} \cdot t - 3,05 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) \\ (t = 0 \text{ } ^\circ\text{C} - 98 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Az összeállítások lényeges része a küvetta és az elektromágnes.



A küvetta (3. ábra) a tekercs belső átmérőjénél néhány mm-rel kisebb átmérőjű, N nyílással ellátott üvegcső, mely a két végén csiszolt, s epokittal ragasztott síküveg lemezzel van borítva, s a tekercsbe az 1, 2 gumigyűrűkkel rögzíthető. Az N nyílás a cseppfolyós anyag, esetünkben C_6H_6 betöltésére vagy kiszivattyúzására szolgál. A küvettához a 3-as gumigyűrűvel szorosan kapcsolódik egy k műanyag kupak, amelyben a 4-es gumigyűrű segítségével a polarizátort rögzítettük. A kupak küvettával masszív, egységes darabot képez. (Ügyeljünk a C_6H_6 tisztaságára — H_2O vagy egyéb oldószer a V értékét nagymértékben csökkenti.)

Az elektromágnes — 2 mm átmérőjű rézhuzalból készült, 1431 menetes, $2,1 \Omega$ belsőellenállású légmagos tekercs. A tekercs hossza 200 mm. 14 A-es gerjesztőárammal 6 percig üzemeltethető. Hőmérséklete ez idő alatt ($18 \text{ } ^\circ\text{C}$ környezeti hőmérsékletnél) $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ -kal emelkedik. A felszabaduló hő hatására a mágneses tér erőssége csökken, s ez a térerősség-csökkenés a demonstrációnál a 10%-ot is eléri.

A Faraday-effektus néhány műszaki fizikai intézetben kutatási frontot képez. Gyakorlati alkalmazása a jövőben egyre jobban növekedhet, mivel a laser-sugár polarizációjának modulációja a Faraday-effektus alkalmazásával is megoldható. A [8] irodalom szerint „A mágneses hatást hasznosító laser-modulátorok sorában a Faraday-hatáson alapuló modulátor a legcélszerűbb”.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Brockhaus: ABC der Optik VEB. F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig, 1961 (243. o.)
- [2] B. Brown: Modern Optics New York Reinhold Publishing Corporation. London, 1965. (618. o.)
- [3] Grimschel: Lehrbuch der Physik Band III. B. G. Teubner. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1962. (366. o.)
- [4] Hedvig P.: Kvantumelektronika. M. K. Bp. 1965. (166. o.)
- [5] Jeges K.: Fizika V. (kézirat). T. K. Bp. 1963. (219. o.)
- [6] Kunfalvi R.—Kulin Gy.—Léviusz E.—Vermes M.: Fizikai kísérletek gyűjteménye III. T. K. Bp. 1965. (117. o.)
- [7] Mátrai T.: Gyakorlati spektroszkópia. M. K. Bp. 1963. (184. o.)
- [8] Nagy E.: A laser. M. K. Bp. 1965. (104. o.)
- [9] Novobátzky—Neugebauer: Elektrodinamika és optika. T. K. Bp. 1961. (234. o.)
- [10] Pogány B.: Az elektromágneses tér. Bp. 1927. Az Athenaeum irodalmi és nyomdai RT. kiadása. (462. o.)
- [11] Recknagel: Experimental physik Elektrik-Optik P. E. Bank. Verlag Weinmark, 1951. (361. o.)
- [12] H. Staude: Physikalisch-Chemisches Taschenbuch Band II. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, 1949. (1761. o.)