

PhD - TÉZISEK

MOLNÁR MIKLÓS

**JÓZSEF ATTILA TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉK**



Téziseimben az alábbi három témakörben elért eredményeimet foglalom össze:

- A. Szerves festéket tartalmazó detergens (micella)-rendszerek stabilitásának vizsgálata;
- B. Lumineszcencia-spektroszkópiai kísérleti vizsgálatok fotokémiai folyamatok nyomon követésére;
- C. Új kísérleti módszerek és demonstrációs eszközök kidolgozása a középiskolai fizika tanításához.

I. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

A. *Szerves festéket tartalmazó detergens (micella)-rendszerek stabilitásának vizsgálatára* vonatkozó eredményeimet egyetemi doktori disszertációmban [1] foglaltam össze.

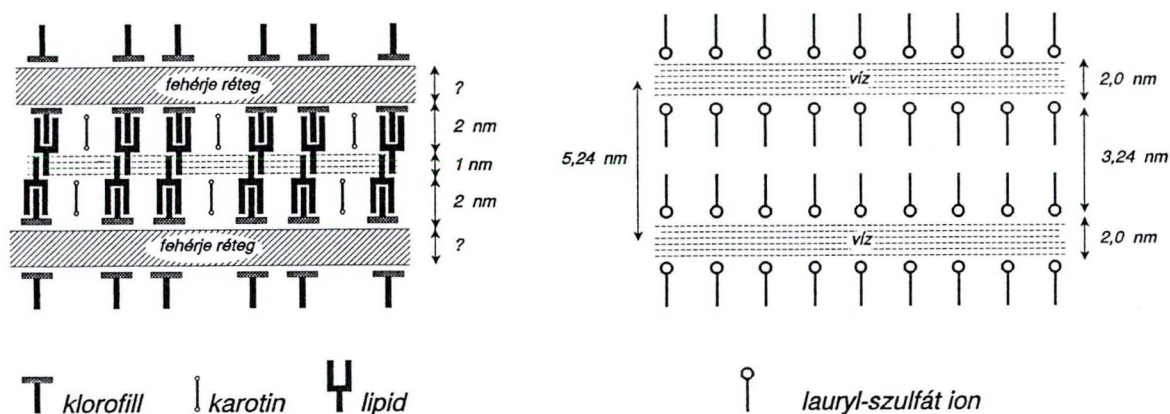
A fotoszintézis fizikai folyamatainak, illetve szűkebben a gerjesztési energia vándorlásának kísérleti tanulmányozása *in vivo* rendszerekben (mint pl. levelek, algák, kloroplasztok stb.) meglehetősen nehéz feladat. Miután Hill [D17]¹ felfedezte, hogy az *izolált* kloroplasztok alkalmasak a fotoszintézis részfolyamatainak tanulmányozására, e felismerés a különböző kutatócsoportok érdeklődését arra a kérdésre koncentráltta, hogy a gerjesztő energia vándorlásának tanulmányozása egyszerűbb, *in vitro* rendszerek segítségével is elérhető-e. A kérdésre pozitív választ adtak a téma kutatói, többféle *in vitro modell-rendszert* dolgoztak ki a fotoszintézis egyes részfolyamatainak tanulmányozására [D19].

Hevesi J. és munkatársai [D21-D30] az energiaátadás tanulmányozására eredményesen alkalmazták a szerves festéket tartalmazó *detergens-rendszereket*, az ún. *micella- rendszereket*.

Vizsgálataim során modell-rendszerként az asszociációs kolloidok csoportjába tartozó egyik anionos tenzidet, a nátrium-lauryl-szulfát (NaLS vagy SLS) detergenst használtam. A detergens egy jól meghatározott koncentráció-

¹ A doktori disszertációmban található irodalomjegyzékre utaló sorszámok

értékénél, az ún. kritikus micella koncentrációnál (c.m.c.) rendezett struktúrák, ún. *micellák* jönnek létre. Kimutatták, hogy az in vivo kloroplaszt és a NaLS-micellák strukturálisan és méreteiket tekintve is jól megegyeznek egymással (1. ábra), ezek biztosítják a modellezés lehetőségét [D43].



1. ábra

A modellezni kívánt kloroplaszt fotoszintetikus pigmenteket is tartalmaz. Az általam alkalmazott modellben a pigmenteket az oldatba vitt szerves festékek (rhodamin 6G (Rh 6G), thionin (Th), metilénkék (MB)) molekulái helyettesítik.

A kísérleti vizsgálatok során a modell-rendszereket külső hatások érik: hosszabb ideig tárolni kell őket két újabb mérés között, megváltozhatnak a hőmérsékleti viszonyok, tárolás, illetve mérés közben - esetleg káros - megvilágítás érheti őket stb. A modell-rendszerek alkalmazhatóságának fontos kritériuma tehát stabilitásuk, állandóságuk a környezeti változásokkal szemben.

Vizsgálataim ennek megfelelően arra irányultak, hogy *kísérletileg* nyomon kövessem, milyen hatással van a festék-detergens rendszerek fajlagos vezetőképességi értékeire, abszorpciós és fluoreszcencia spektrumaira a hőmérséklet, a hosszabb idejű sötétben tartás, valamint az erős megvilágítás [6-8].

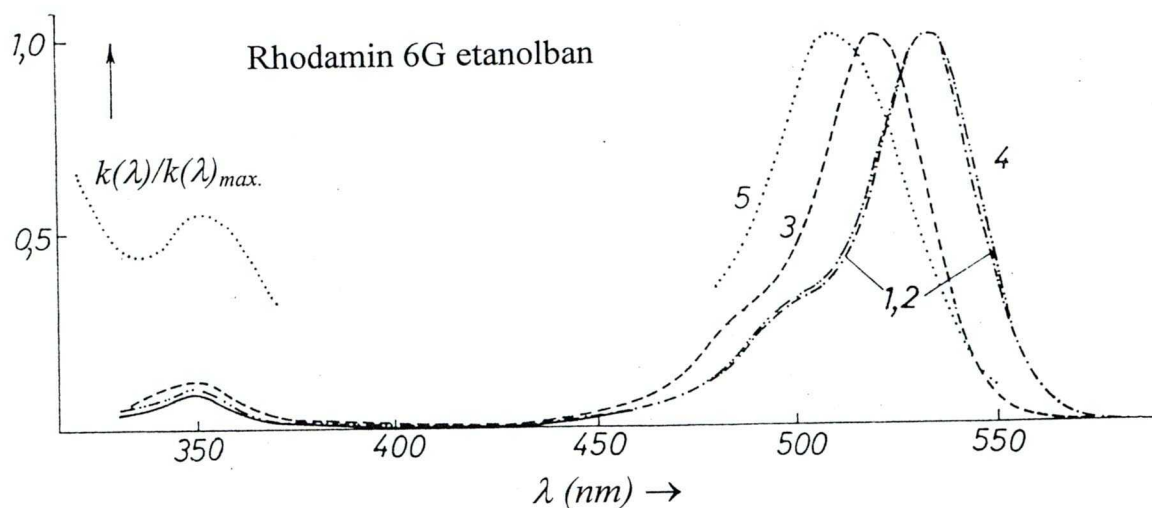
B. Az 1970-es évek elején a molekuláris lumineszcencia témakörben megjelenő cikkek között sok fotokémiai tárgyú látott napvilágot. A *fotokémiai folyamatok mibenléte, időbeli lefolyása*, a folyamatok kinetikájának tisztázása bizonyos esetekben *lumineszcencia-spektroszkópai módszerekkel* is tanulmányozható.

A JATE Kísérleti Fizikai Tanszékén és az ott működő kutatócsoportban ebben az időben megkezdett festéklézer kutatások is több - a fotokémia tárgykörébe tartozó - problémát vetettek fel. Kiderült ugyanis, hogy a villanólámpával gerjesztett rhodamin 6G festéklézerek működését hátrányosan befolyásolják azok a fotokémiai változások, amelyek a villanólámpa intenzív fényének hatására következnek be, és a festékek elszíntelenedéséhez, bomlásához vezetnek.

A fotokémiai folyamatok tanulmányozásának szükségességét a rhodamin 6G abszorpciós- és lumineszcencia-tulajdonságainak vizsgálata is felvetette [9]. Vizsgálataink során kiderült, hogy a gyári készítményű festékek abszorpciós és lumineszcencia spektruma függ a festék előéletétől, attól, hogy felhasználás (mérés) előtt, állás közben milyen fényhatások érték. Szükségesnek bizonyult emiatt a festékek tisztítása, melyet kromatográfiás módszerrel végeztünk. A gyári preparátumból (Merck) több komponenst kaptunk, ezek között egy kb. 97 %-ban, 4-5 további pedig kisebb mennyiségben volt jelen. Az alábbi táblázatban a

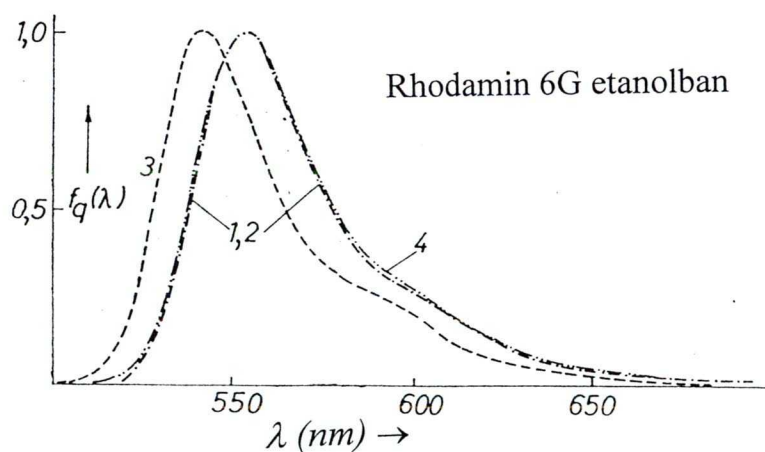
Mennyiség (%)	$\lambda_{gerj.}$ (nm)	$\lambda_{max.}^{absz.}$ (nm)	$\lambda_{max.}^{lum.}$ (nm)
-	470	535	553
97	470	535	553
1	470	520	540
1	470	535	553
1	470	510	-

komponensek néhány jellemző adatát tüntettem fel. A nyert komponensek spektrumait a 2. és 3. ábra mutatja, az 1. görbe a tisztítatlan festék, a 2. görbe a főkomponens spektruma, a 3-5. görbe rendelhető a többi komponenshez. A kapott főkomponenst átkristályosítás után etanolos oldatba vittük, és vizsgáltuk az



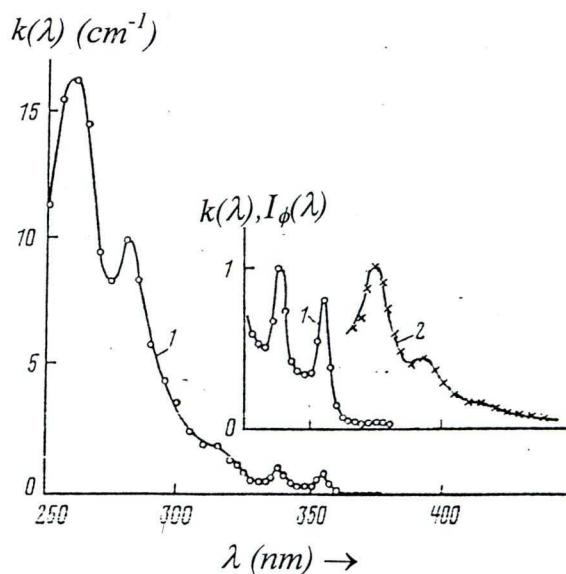
2. ábra

abszorpciós- és lumineszcencia-spektrumban megvilágítás hatására bekövetkező változásokat [9, 11, 12, 14].



3. ábra

Sok esetben célszerűnek látszott olyan anyagokon is spektroszkópiai vizsgálatokat végezni, amelyeknél a fotodisszociációs folyamatok részben vagy egészben ismertek, és a fototermékek előállíthatók kémiai úton külön-külön olyan mennyiségben, hogy azokon további vizsgálatokat végezzünk. Ezek során tisztázni lehet a lejátszódó kémiai reakciók spektroszkópiai hatását, másrésről pedig spektroszkópiai adatok alapján a kémiai folyamatok további részleteit lehet feltárni. Ilyen vizsgálatokat végeztünk a fény hatására intenzív biomedikális hatást mutató 2,3 - dimetoxifenantro-kinolizidin (DFK) anyagon [10,14]. A 4. ábrán a



4. ábra

DFK $k(\lambda)$ abszorpciós spektrumát, illetve nagyított léptékben $k(\lambda)$ hosszúhullámú részét és az $I_\phi(\lambda)$ lumineszcencia-spektrumot (relatív egységekben) ábrázoltam a jobb összehasonlítás céljából.

C. 1982-től a JATE Kísérleti Fizikai Tanszékén a fizika szakmódszertanával foglalkozó csoportban tevékenykedtem. Ettől kezdve munkám homlokterébe a középiskolai fizika tanításával kapcsolatos kérdések kerültek. Már akkor is látni lehetett - amit a különböző nemzetközi és hazai felmérések eredményei is megerősítettek -, hogy a tanulóknak a természettudományos tárgyak, így a fizika iránti érdeklődése is erősen megcsappant. Az érdeklődés visszaesésének nagyon sok, jelenleg is vizsgált, feltárásra váró oka van. Az egyik befolyásoló tényező lehet pl. az, hogy a fizika középiskolai tanítása sokszor nélkülözi az élményszerűséget, a tanárok és a tanulók nem vagy csak elvétve kísérleteznek, mérnek, sokszor hiányzik a jelenségek, folyamatok személyes megtapasztalása is. Nem egyszer arra hivatkoznak a tanárok, hogy nem állnak rendelkezésre olyan kísérleti eszközök, amikkel a jelenségek bemutatathatók, tanulmányozhatók lennének.

Célul tűztem magam elé, hogy keressem azokat a módszertani lehetőségeket, melyekkel a fizika a tanulókhöz közelebb hozható. A fizika órákon, a tehetséggondozásban (szakkörökön, versenyeken) eredményesen alkalmazható az ún. "fekete doboz" (black box) - módszer, amelynek elterjesztését magam is fontosnak tartottam; a módszerről több előadást tartottam középiskolai tanárok



részére, illetve az Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny fizika tantárgyi bizottsága tagjaként több olyan kísérleti versenyfeladatot fogalmaztam meg, amelyek e módszer alkalmazását igényelték [27,30,34].

Törekedtem arra, hogy bizonyos fizikai jelenségek tanulmányozására és bemutatására a drága, bonyolult berendezések helyett, olcsón beszerezhető alkatrészekből könnyen megépíthető kísérleti eszközöket tervezek és állítsak elő. A középiskolai fizika több témakörének tanításában, egyes jelenségek bemutatáshoz eredményesen használtam fel fénykibocsátó diódákat (LED-eket) [25].

Az utóbbi években mind az analóg, mind a digitális integrált áramköröket széles körben alkalmazzák. Több olyan kísérleti eszközt terveztem, melyek digitális integrált áramkörökkel működnek. Ezen készülékek egyszerű működésűek, alkalmazásukkal pl. fizikai jelenségek szimulálhatók [15,16,17,24,25].

Az általam tervezett eszközökkel az Országos Középiskolai Fizikatanári Ankétok Eszközkiállításain eredményesen szerepeltem, többször díjazásban részesültem.

A középiskolai tanulók egyetemi felvételi vizsgára történő felkészítéséhez egy példatár összeállításával járultam hozzá, amely könyv formájában jelent meg. A könyvet - mint az ország számos városából jött visszajelzések mutatják - eredményesen használják tanórákon is a tanárokollégák és a tanulók egyaránt [3].

II. A VIZSGÁLT RENDSZEREK, KÍSÉRLETI MÓDSZEREK

A. A fotoszintetikus modellként választott festék-detergens *rendszerek összetételét* az alábbiak szerint választottam meg:

- A detergens - nátrium-lauryl-szulfát (NaLS , $/\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4\text{Na}/_n$) vizes oldata - koncentrációjának értékei: $0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$, $8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$.

- A detergens-oldatokba három különböző szerves festéket, thionint (Th), rhodamin 6G-t (Rh 6G) és metilénkéket (MB) vittem. Mindegyik festék koncentrációja $5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$ értékű volt.

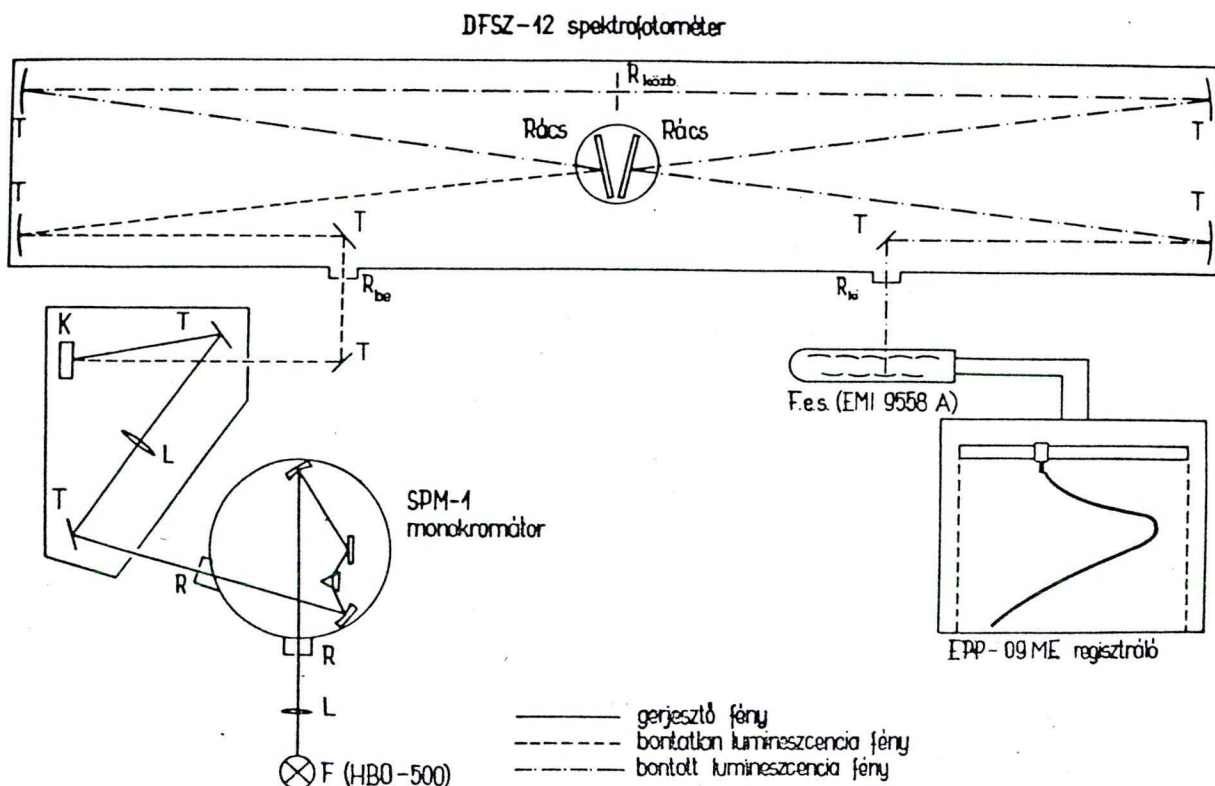
Így a vizsgált rendszerek száma nyolcszor három, azaz huszonnégy.

Megmértem az oldatok κ fajlagos vezetőképességét, meghatároztam $k(\lambda)$ abszorpciós és $f_q(\lambda)$ emissziós spektrumát három különböző hőmérsékleten (30°C, 50°C, 70°C), öt különböző időpontban (az oldat készítésekor, valamint 6, 24, 54 és 96 órával később), miközben az oldatokat állandó hőmérsékleten (30°C, 50°C, 70°C) sötétben tartottam. Az oldatokat szárítószekrényben tároltam, amivel biztosítottam az állandó hőmérsékleten való tartást is. Az oldatokat folyamatosan fehér fénnel világítottam meg (a megvilágítás erőssége 1500 lux volt) és 70°C-os állandó hőmérsékleten tartottam. Az előzőekben leírt időpontokban szintén meghatároztam az oldatok fajlagos vezetőképességi értékét, illetve felvettem abszorpciós és emissziós spektrumaikat.

- Az oldatok *fajlagos vezetőképességének* mérése a $\kappa = \frac{1}{R} \cdot C^*$ összefüggésnek megfelelően két lépésből állt: az oldatok $\frac{1}{R}$ vezetőképességi értékének méréséből, és a mérőelektroda C^* cellaállandójának meghatározásából. Az $\frac{1}{R}$ mérésére OK-102 (Radelkis) típusú konduktométert, valamint OK-902 típusú platinagyűrűs harangelektrodát használtam. A C^* meghatározásához ismert töménységű (1n, 0,1n és 0,01n) káliumklorid-oldatot alkalmaztam. A mérések során az állandó hőmérséklet biztosításához temperálható házat készítettem, a háznak és vele együtt az oldatnak a hőmérsékletét Ministat (Típ. 607) termosztát felhasználásával tartottam a fentebb közölt értékeken.

- Az oldatok $k(\lambda)$ *abszorpciós spektrumát* egy Optica Milano CF-4DR típusú, regisztrálóval összekötött spektrofotométerrel vettem fel. Az állandó hőmérsékleten történő mérést egy temperálható küvettatartóval és egy U-10 típusú Höppler-féle termosztáttal biztosítottam.

- Az oldatok $f_q(\lambda')$ *emissziós színekének* felvételére DFSZ-12 típusú spektrofotométert használtam. A készüléknek lumineszcencia-spektrumok felvételére alkalmas felépítését, alapegységeit, valamint a sugármenetet az 5. ábrán mutatom be.



A mért, vagyis az ún. külső lumineszcencia-spektrumokat az

$$f_q(\lambda') = konst \cdot B(\lambda') \cdot \frac{\alpha + \beta}{1 - e^{-(\alpha + \beta)}} \cdot \frac{1}{\alpha}$$

összefüggésnek megfelelően reabszorpcióra korrigáltam [D10]. Az összefüggésben $B(\lambda')$ a mért, külső lumineszcencia-spektrum; $\alpha = k(\lambda) \cdot \ell$ és $\beta = k(\lambda') \cdot \ell$, ahol ℓ a lumineszkáló oldat rétegvastagsága, $k(\lambda)$ és $k(\lambda')$ pedig az abszorpciók együtthatók értékei a λ gerjesztő-, illetve λ' megfigyelési hullámhossznál.

Az állandó hőmérsékleten való mérést temperálható küvetttartóval és U-10 Höppler-típusú termosztáttal valósítottam meg.

B. A rhodamin 6G etanolos oldatának abszorpciós spektrumát egy OPTON típusú spektrofotométerrel, a lumineszcencia-spektrumokat egy, a JATE Kísérleti Fizikai Tanszékén megépített készülékkel vettem fel. Az utóbbinál a gerjesztésre XBO 450 típusú xenon-lámpa és SPM 2 rácisos monokromátor szolgált. A fényforrás és a monokromátor közé vízsűrítőt és üvegsűrő-rendszert helyeztem el.

Anti-stokes-i gerjesztésre He-Ne-gázlézert alkalmaztam. A lumineszcencia-fény megfigyelésére szintén SPM 2 típusú monokromátort, illetve EMI 9558A típusú fotoelektronsokszorozót használtam. A fotoelektronsokszorozó elektromos jelét - a fényintenzitással arányos feszültséget - digitális voltmérővel mértem.

A rhodamin 6G oldatokat az egyik kísérlet-sorozatban egy villanólámpával gerjesztett festéklézer küvettájába töltöttem, és a lámpa (típusa IFP 5000) fényimpulzusával húsz impulzussal megvilágítottam. Egy impulzusban az elektromos energia értéke 640 J volt. Megvilágítás után felvettem az oldatok abszorpciós- és lumineszcencia spektrumát.

Az abszorpciós spektrumokat Aljencev módszerével analizáltam. Kimutatható ugyanis, hogy ha a festékkoldat $\varepsilon(\nu)$ moláris dekadikus extinkciós koefficiense és a ν frekvencia hányadosának logaritmusát ν függvényében ábrázoljuk, egyenest kapunk, ha az oldatban csak egy komponens van jelen.

Sztyepanov megmutatta, hogy meghatározott feltételek teljesülése esetén a $k(\nu)$ abszorpciós és $f_e(\nu)$ emissziós színeképek között fennáll a következő kapcsolat:

$$\frac{f_e(\nu)}{k(\nu)} = D(T) \cdot \nu^3 \cdot e^{-\frac{h\nu}{kT}},$$

ahol T a hőmérséklet, $D(T)$ a ν frekvenciától független állandó, k a Boltzmann-állandó, h a Planck-állandó. Ha az

$$F(\nu) \equiv 3 \lg \nu - \lg \frac{f_e(\nu)}{k(\nu)}$$

függvényt ν függvényében ábrázoljuk, akkor az

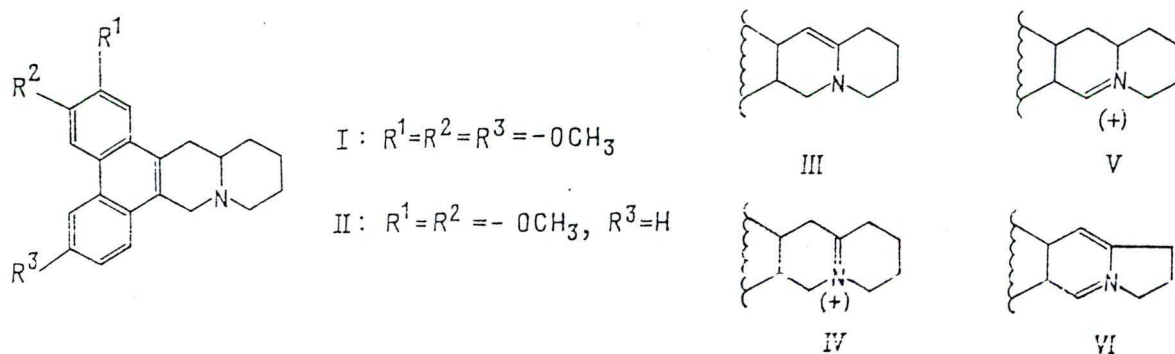
$$F(\nu) = \frac{h\nu}{kT} \lg e + \text{konstans}$$

összefüggésnek megfelelően egyenest kapunk. A kapott egyenes meredekségét a T hőmérséklet szabja meg. Ha az oldat több komponenst is tartalmaz, akkor a Sztyepanov-összefüggés nem ad egyenest.

Egy másik kísérletsorozatban a kromatográfiásan előállított (megtisztított) rhodamin 6G festék főkomponensének etanolos oldatát 1 cm-es rétegvastagságú kvarcküvettába töltöttem és egy XBO 450 típusú xenon-lámpa speciális üvegszűrőkön (UG-5 típusú szűrő az ultraibolya tartományra, WG-9 típusú szűrő a

látható tartományra) átmenő fényével világítottam meg. A xenon-lámpa fényének intenzitását különböző transzmissziójú drótrács-fénygyengítők segítségével változtattam. Ezek után vizsgáltam a rhodamin 6G abszorpciós maximumának közelében ($\lambda = 535 \text{ nm}$) az abszorpciós együttható időbeli változását.

Spektroszkópai vizsgálatokat végeztem kémiai ismert modellrendszeren is. Ez a rendszer a 2,3-dimetoxifenantro-kinolizidin (II, DFK) vegyület volt, melynek szerkezeti képletét a 6. ábra mutatja.



6. ábra

A DFK kloroformos oldatát fehér fényel besugározva, vékonyréteg kromatográfiás analízissel jól követhető, új termékeket létrehozó fotokémiai változás megy végbe.

A feltételezett fototermekek közül az 1,10-dehidro-DFK-t (III), a 4,5-dehidro-DFK-t (V) és az 5,1-dehidro-DFK-t (IV) kémiai úton állítottuk elő, és ezek abszorpciós és emissziós spektrumait hasonlítottuk össze a besugárzott DFK spektrumával.

Ezeket a vizsgálatokat a következő módszerrel végeztem. A többszöri átkristályosítással tisztított kiinduló anyagot és a feltételezett fototermekeket kloroformban oldottuk. Az oldatokat óvtuk a fényvel való besugárzástól. Az abszorpciós és emissziós spektrumok felvételét úgy végeztük, hogy a mérőfény, illetve a gerjesztőfény ne váltsa ki az oldat lumineszcencia-jellemzőinek változását. A fotodisszociációs termékek létrehozásához 313 nm hullámhosszúságú fénynyalábot alkalmaztunk, amelyet egy HBO-200 típusú Hg-lámpa fényéből vágunk ki, alkalmasan választott szűrőkombináció segítségével. Az abszorpciós és az emissziós spektrumok felvételére a már ismertetett készülékek szolgáltak.

C. A tudományos megismerés egyik gyakran alkalmazott módszere a "fekete doboz" (black box)-módszer. A "fekete doboz" - módszer olyan eljárás, melynek segítségével egy ismeretlen belső felépítésű, összetételű doboz struktúrája deríthető fel anélkül, hogy a dobozt felnyitnánk. A doboz bemeneteire jeleket viszünk, melyekre kapott válaszokból lehet a doboz felépítését feltérképezni. A fekete dobozra megfogalmazott feladat megoldása általában nem könnyű, de egyrészt igen hatásos eljárás, másrészt a megoldáshoz a tanulók önálló, kreatív munkájára, az ismeretek magas fokú alkalmazására van szükség. Fizika versenyeken, a tehetséggondozásban jól használhatók az olyan feladatok, melyek a "fekete doboz"-módszer segítségével oldhatók meg.

A mechanika, a mozgások témakörének oktatása során találkozunk a tanuló a nyomkép fogalmával. Egy mozgó (pontszerű) test nyomképét akkor kapjuk meg, ha a testnek a vonatkoztatási testhez viszonyított helyzet egyenlő időközökben megjelöljük. A nyomkép sok esetben sokkal többet mond a mozgásról mint pl. a pálya, ugyanis a nyomkép a mozgás időbeli lefolyásáról is tájékoztat. A nyomképek felvételére több módszert dolgoztak ki (stroboszkópos megvilágítás, mozgókép stb.). Egyszerű mozgások (egyenes vonalú egyenletes mozgás, egyenes vonalú gyorsuló mozgás, körmozgás, harmonikus rezgőmozgás) nyomképéhez az általam kidolgozott eljárással könnyen eljuthatunk. Rögzítünk a mozgó testhez egy fénykibocsátó diódát, melyet impulzusgenerátorról működtethetünk. Ekkor a villogó LED együtt mozog a testtel. Elsötétített szobában nyitott rekeszű fényképezőgéppel a nyomkép felvehető, a film előhívása után a kép kiértékelhető.

A LED-ek több, az elektromosságtan témakörébe tartozó kísérletek bemutatására alkalmasak, segítségükkel bonyolult, drága kísérleti eszközöket válthatunk ki.

A gimnáziumi első osztályban a statisztikus fizika egyes törvényszerűségeinek, jelenségeinek a bemutatására statisztikus modelljátékokat alkalmaznak. A gázok egyenletes térkitöltésének, a legvalószínűbb állapot kialakulásának tanulmányozására egy Ehrenfesttől származó játékot, az ún. "darazsas" játékot játsszák el a tanulók. A játék eredeti változatában hat (megszámozott) "részcseke szerepel". Digitális integrált áramkörökkel megépítettem

egy olyan készüléket, amellyel a "részecskék" véletlenszerű "röpködése", a kialakult eloszlás jól tanulmányozható.

A pontsoron, illetve a síkrács pontjain történő bolyongás - mint a Brown mozgás modellje - szintén egy modelljátékkal játszható le. Integrált áramkörökkel megvalósítottam egy olyan eszközt, mellyel a bolyongás szabályszerűségeit követhetjük nyomon.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A.

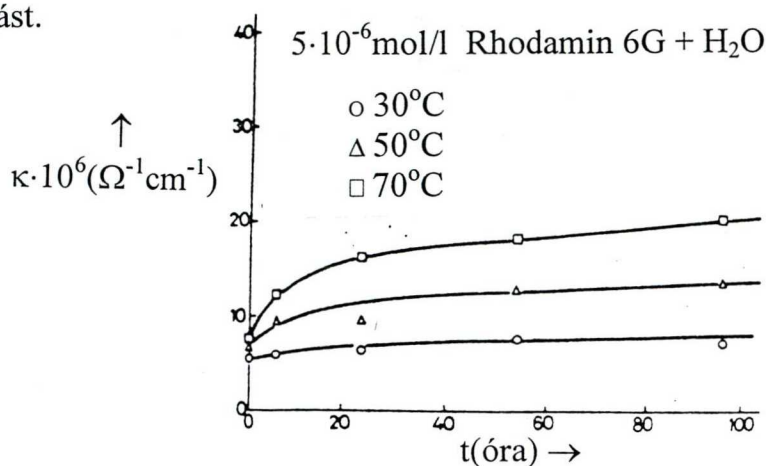
A fotoszintézis fizikai folyamatainak, a gerjesztési energia vándorlásának tanulmányozására in vitro modell-rendszereket használtak, illetve használnak. Az általam választott modell-rendszer, a festék-detergens rendszer nátrium-lauryl-szulfát (NaLS) vizes oldata és az ebben oldott thionin (Th), rhodamin 6G (Rh 6G), metilénkék (MB) szerves festékek egyike, a kloroplasztal való strukturális és méretbeli egyezés miatt alkalmasnak bizonyult sok fizikai folyamat tanulmányozására. A modell alkalmazhatóságának fontos feltétele, hogy a kísérleti körülményekkel szemben megfelelő stabilitást mutassanak.

Kísérleti vizsgálataim annak kimutatására irányultak, milyen feltételek mellett mutatnak megfelelő stabilitást a vizsgált rendszerek, milyen mértékben van hatással a növekvő hőmérséklet, a különböző idejű sötétben tartás és a fehér fénnel történő megvilágítás a festék-detergens rendszerek κ fajlagos vezetőképességi értékeire, $k(\lambda)$ abszorpciós-, illetve $f_q(\lambda')$ emissziós spektrumaira.

1. Az oldatok *vezetőképességének* mérésével megmutattam, hogy a micellák - azaz rendezett struktúrák - a $4 \cdot 10^{-3}$ mol/l detergens-koncentráció fölött alakulnak ki, ez a kritikus micella koncentráció (rövidítve: c.m.c.). Kimutattam, hogy a festékek oldatba való vitelével a kritikus micella koncentráció értéke $3,5-3,8 \cdot 10^{-3}$ mol/l detergens-koncentrációnál található, a csökkenés az indukált micellaképződéssel



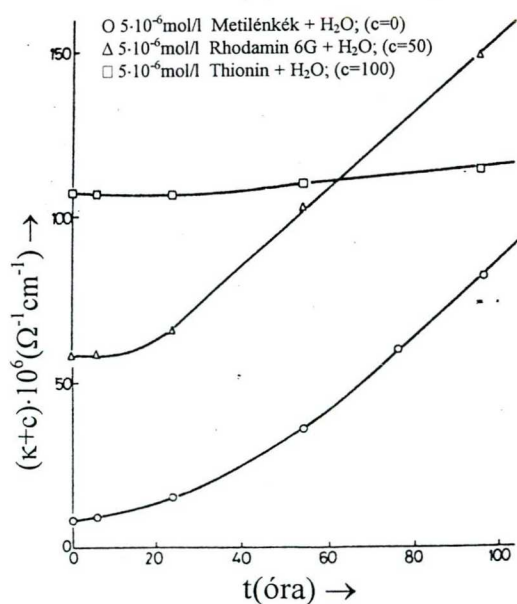
magyarázható. A hőmérséklet növelése a c.m.c. értékében nem eredményezett változást.



7. ábra

A festék-detergens rendszerek κ fajlagos vezetőképessége a 96 órás sötétben tartás során nem változott meg, ugyanakkor a detergens nélküli (vizes) festékoldatok fajlagos vezetőképessége mindhárom festéknél és mindhárom (30°C, 50°C, 70°C) hőmérsékleten - jó közelítéssel - egy "telítési" értékhez tart, a sötétben tartás időtartamának függvényében. Különösen jól megfigyelhető ilyen típusú változás a rhodamin 6G festéket tartalmazó oldat esetén, miként azt a 7. ábra mutatja.

A rendszerek κ fajlagos vezetőképességét mértem 70°C hőmérsékleten, miután az oldatokat erős fehér fénnel világítottam meg 6, 24, 54 és 96 órán át.

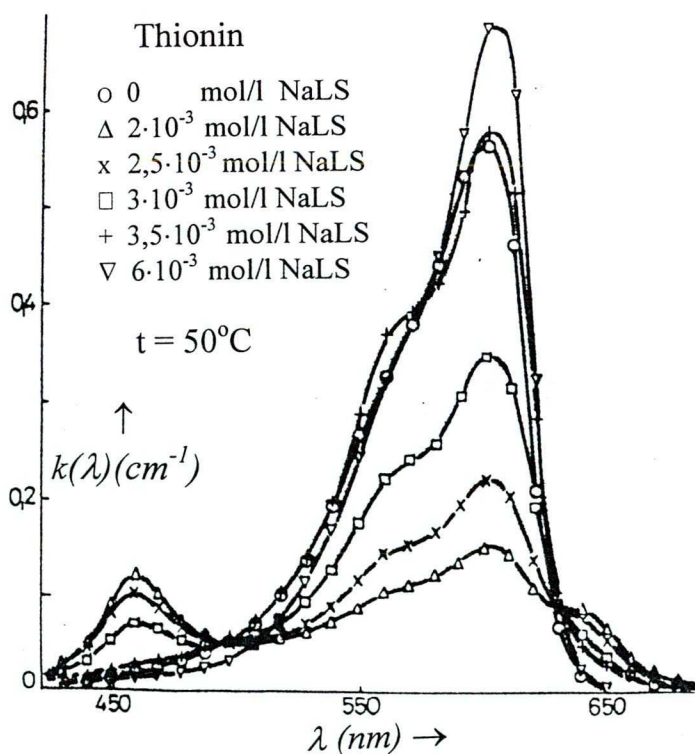


8. ábra

Megállapítottam, hogy a detergenst is tartalmazó oldatok fajlagos vezetőképessége nem változik a megvilágítási idő függvényében. A festékek vizes oldatainak fajlagos vezetőképességében ezzel szemben jelentős változást tapasztaltam, miként azt a 8. ábra mutatja [6-8].

2. Vizsgálataim során kimutattam, hogy a festék-detergens rendszerek abszorpciós tulajdonságaira (az abszorpciós maximumok helyére és értékeire, a spektrum alakjára) jelentős hatással van a detergens koncentrációja, a hőmérséklet és a megvilágítási idő is [6-8].

Ha a festékek vizes oldatába detergenst viszünk, festék-aggregátumok, festék-detergens komplex sók jönnek létre, amelyek jelenlétére az abszorpciós spektrumban mutatkozó sávok utalnak. *Thionint* tartalmazó oldatokra vonatkozóan a 9. ábrán mutatom be az abszorpciós spektrumban bekövetkező változásokat. Mint látható, a detergens-koncentráció függvényében az abszorpciós spektrum alakja jelentősen megváltozik. A detergensnek az oldatba való vitele az abszorpciós maximumok értékeinek jelentős csökkenését vonja maga után, a detergens koncentráció növelésével a maximum értéke növekszik, a c.m.c.-nél, illetve ennél

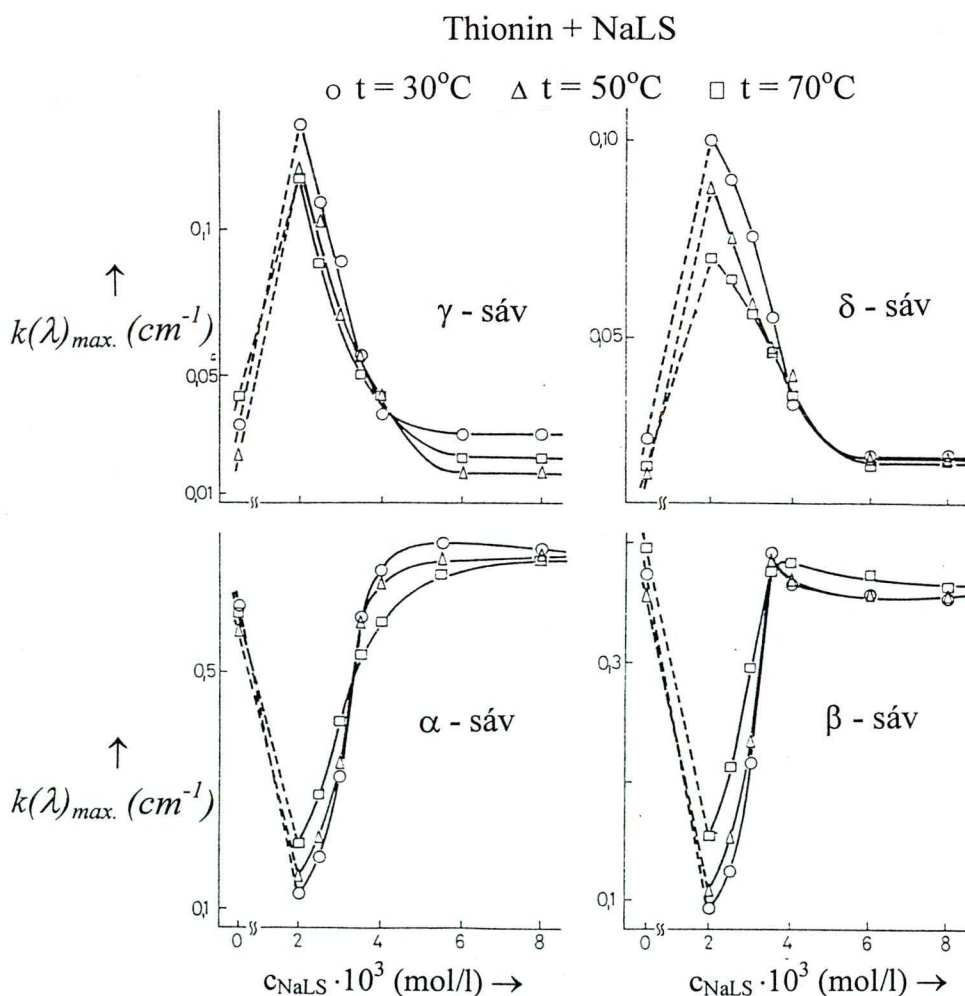


9. ábra

nagyobb koncentrációknál eléri, illetve meghaladja a vizes oldat abszorpciós maximumának értékét. Az abszorpciós spektrumban több helyi maximum (abszorpciós sáv) figyelhető meg. A főmaximum vagy α -sáv 600 nm-nél jelentkezik, ami a festék monomerek jelenlétének tulajdonítható. Az 565 nm-nél megfigyelhető a thionin dimerektől származó helyi maximum, a β -sáv is, amit az abszorpciós spektrumokban fellelhető "váll" jelez.

A c.m.c. alatti detergens koncentrációknál egy rövidhullámú sáv, a γ -sáv mutatható ki 465 nm-nél, ami festék-detergens komplex sók kialakulásával kapcsolatos. A 640 nm-nél megjelenő hosszúhullámú sáv vagy δ -sáv fellépte magasabbrendű festék-aggregátumok kialakulásával magyarázható.

A 10. ábra alapján az előbbieken ismertetett abszorpciós sávok (a spektrumban mutatkozó helyi maximumok) változásairól a következők mondhatók.



10. ábra

Az α -, illetve a β -sávhoz rendelhető abszorpciós együttható értéke - adott hőmérsékleten - a detergensnek a rendszerbe vitelével erőteljesen lecsökken, majd a c.m.c. körül eléri, illetve a c.m.c. után meghaladja a detergenst nem tartalmazó festék-oldathoz rendelhető abszorpciós együttható értékét. A detergens koncentrációjának további növekedése lényeges változást már nem eredményez.

A γ - és a δ -sávok a detergensnek a festék-oldatba való vitelével jelennek meg, értékük a $2 \cdot 10^{-3}$ mol/l detergens-koncentrációnál a legnagyobb. A detergens koncentrációjának, illetve a hőmérsékletnek a növelésével a γ - és a δ -sávok gyakorlatilag eltűnnek. Ez a tapasztalat azzal magyarázható, hogy a komplex sók a hőmérséklet emelkedésével egyre inkább feloldódnak. Megállapítható tehát, hogy a c.m.c.-nél nagyobb detergens-koncentrációknál a rendszerben a lényegében csak festék monomer és dimer formája van jelen.

A *rhodamin 6G*, illetve a *metilénkék* festéket tartalmazó oldatok abszorpciós spektrumait tanulmányozva láthatjuk, hogy a főmaximumhoz tartozó α -sávon kívül (ez a sáv rendelhető a festék-monomerekhez) csak egy "váll" formájában megjelenő sáv lép fel, ez a dimereknek tulajdonítható β -sáv. Mivel a metilénkék β -sávja sokkal kifejezettebb mint pl. a thionint tartalmazó rendszerek β -sávja, ebből arra következtettem, hogy a metilénkék dimerizációra való "hajlama" sokkal nagyobb, mint a thioniné.

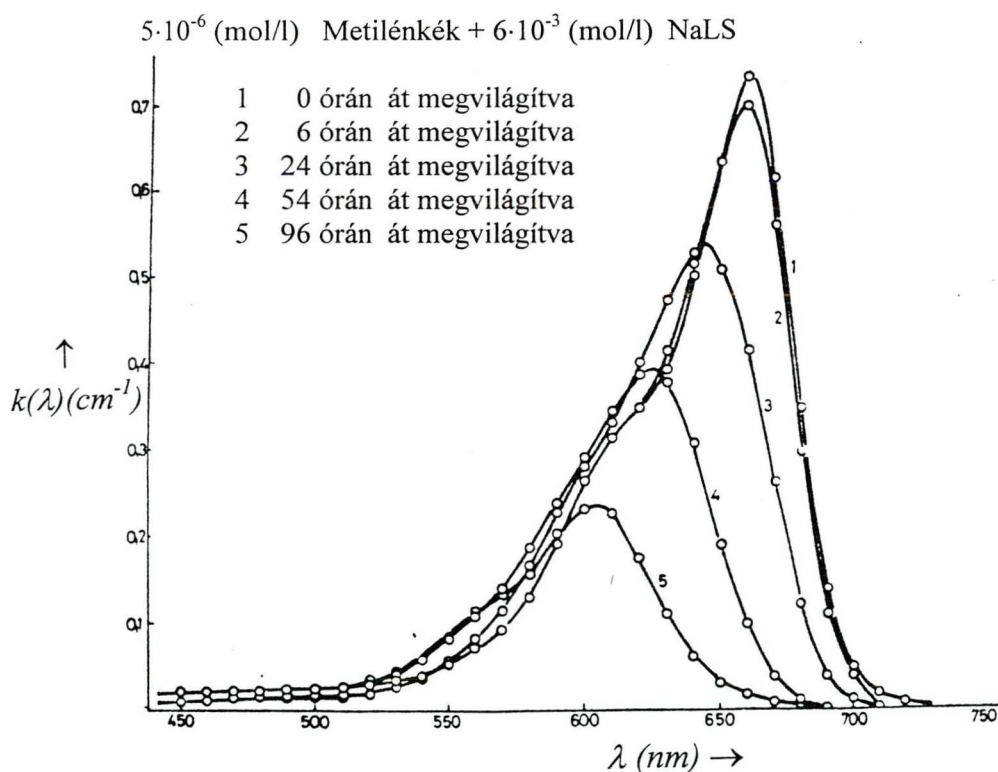
Ábrázolva az egyes abszorpciós sávokhoz rendelhető abszorpciós együtthatók értékeit a detergens koncentrációjának függvényében - paraméterül választva a hőmérsékletet -, azt tapasztaltam, hogy a három görbe egy pontban metszi egymást. A metszésponthoz tartozó detergens-koncentráció éppen a kritikus micella koncentrációt adja. Ez a megfigyelés a *c.m.c. meghatározásának egy újabb lehetőségét eredményezi.*

Az oldatokat állandó hőmérsékleten *sötétben* tartottam, és meghatároztam abszorpciós spektrumaikat az oldatkészítéskor, illetve utána 6, 24, 54, és 96 órával. Az abszorpciós spektrumok alakjában, az abszorpciós maximum helyében és értékében a *hosszabb idejű tárolás jelentős változást nem eredményezett*, különösen vonatkozik ez a megállapítás azokra az esetekre, amikor az oldatok detergens-

koncentrációja meghaladja a c.m.c. értékét, azaz amikor kialakul a rendezett micella-struktúra.

Ezzel szemben *megvilágítás hatására jelentős változásokat* tapasztaltam a rendszerek abszorpciós spektrumaiban. A megvilágításra a thionin és a metilénkék festéket tartalmazó rendszerek reagáltak erőteljesebben. A c.m.c. alatti detergens-tartományokban a festék-oldatok teljesen kifehérednek, az abszorpciós maximum értéke közel zérusra csökken. Ugyancsak csökkenés figyelhető meg a c.m.c. fölötti tartományokban is. Az abszorpciós spektrumban észlelt változásokat a festékekben végbemenő fotokémiai változások, a fotodegradáció okozza.

A megvilágítás hatására bekövetkező változásokat metilénkék festék esetére a 11. ábrán mutatom be. Jól látható, hogy a $6 \cdot 10^{-3}$ mol/l NaLS-t tartalmazó oldat abszorpciós maximumának értéke 96 órányi megvilágítás után az eredeti érték közel negyedére esik. Az abszorpciós maximum 55 nm-rel a rövidebb hullámhosszak felé tolódik el, ami arra utal, hogy a festék a detergennel erős kölcsönhatásba lép.



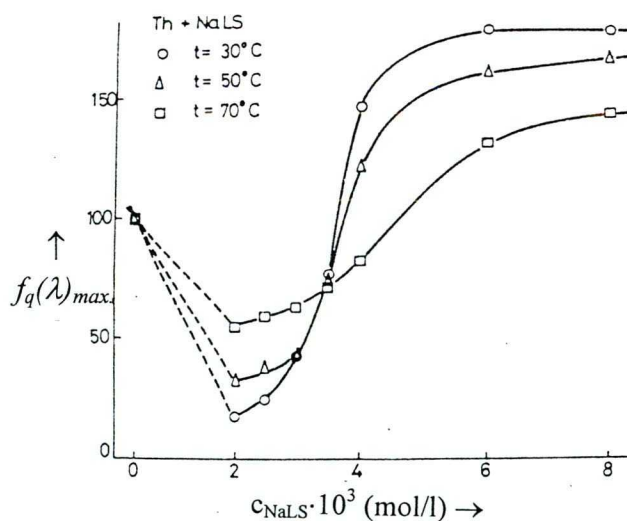
11. ábra

3. A festék-detergens rendszerek lumineszcencia-spektrumait tanulmányozva kísérletileg kimutattam, hogy a lumineszcencia-intenzitás nagyságára jelentős hatással van a detergens-koncentráció, a hőmérséklet, a sötétben tartás és a megvilágítás [6-8].

Mindhárom festék esetén azt tapasztaltam, hogy a detergens bevitelével a lumineszcencia-intenzitás lecsökken, és csak a c.m.c. feletti detergens-koncentrációknál éri ismét el (illetve haladja kis mértékben meg) a detergenst nem tartalmazó oldat lumineszcencia-intenzitását. Spektrális változásokat a detergens koncentrációjának változása nem eredményezett.

A hőmérséklet növelésével a c.m.c. alatti detergens-koncentrációknál a lumineszcencia-intenzitás növekedését mutattam ki. A c.m.c. fölött - mindhárom festék esetén - a hőmérsékleti kioltás hatása megfigyelhető.

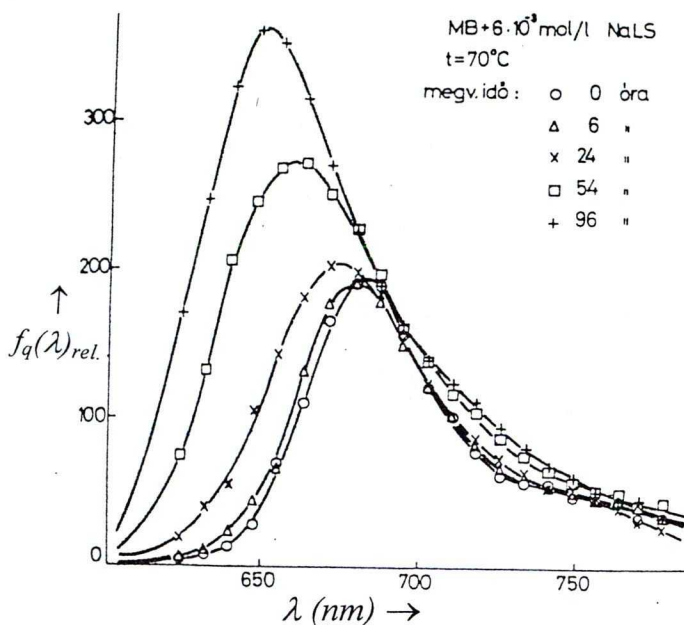
A 12. ábrán a thionint tartalmazó festék-oldatokra vonatkozó eredményeket mutatom be. Az ábra jól szemlélteti az előbbi megállapításokat. A három görbe közös metszéspontja megadja a c.m.c. értékét (c.m.c. meghatározási lehetőség!).



12. ábra

A lumineszcencia-spektrumok felvételével megállapítottam, hogy a sötétben tartás az oldatok fluoreszcencia-tulajdonságaira csak magasabb hőmérsékleten van hatással.

Az abszorpciós spektrumok alapján is várható volt, hogy az intenzív fehér fénnel történő megvilágításra érzékenyen reagál mindegyik festék-detergens rendszer. A thionin és a rhodamin 6G festéket tartalmazó oldatok lumineszcencia-intenzitása a megvilágítási idő növekedésével csökken. A csökkenés mértéke a c.m.c. alatt a nagyobb.



13. ábra

A metilénkék festéket tartalmazó rendszerek lumineszcencia-spektrumaiban - megvilágítás hatására - *meglepő* változásokat észleltem. A $6 \cdot 10^{-3}$ mol/l NaLS-t tartalmazó oldatra vonatkozó eredményeket a 13. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy az emissziós maximum-hely mintegy 34 nm-rel a *rövidebb* hullámhosszak felé tolódik el, másrészt az intenzitás értéke 96 órás megvilágítás után kb. kétszeresére növekszik. Ez a tapasztalat meglepő, ugyanis - miként azt a 10. ábrán bemutattam - az abszorpciós maximum értékének csökkenése mellett a maximum-hely nagyobb (55 nm-es) - a rövidebb hullámhosszak felé történő - eltolódását figyelhettem meg. E tapasztalat magyarázata további diszkussziókat igényel, bár vélhetően összefüggésbe hozható a rendszer lokális hőmérsékletével.

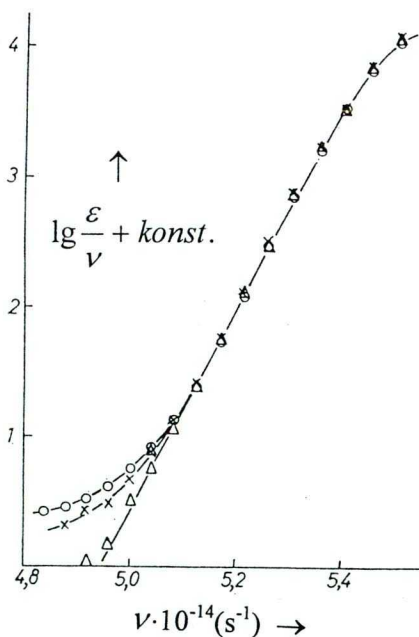
B.

A fotokémiai folyamatok lumineszcencia-spektroszkópiai vizsgálata terén elért eredményeim az alábbiakban foglalhatók össze.

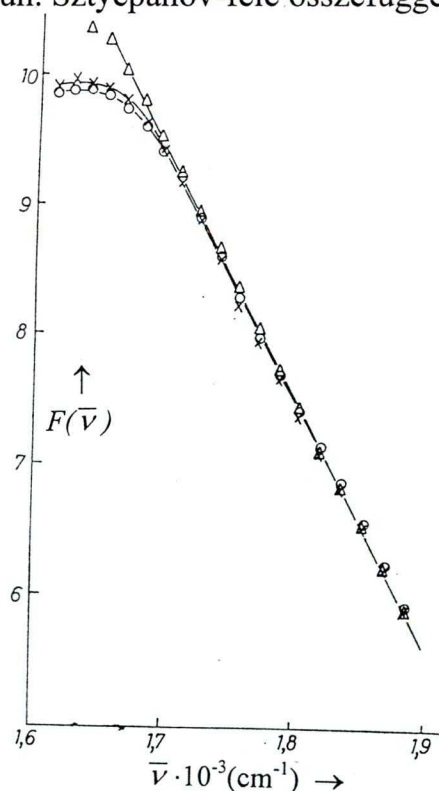
4. Kimutattam, hogy a rhodamin 6G megvilágítás hatására végbemenő fotokémiai változása során fototermékek keletkeznek. A fototermékek jelenlétére az abszorpciós és emissziós spektrumokból következtettem [9,11,12,14].

Az oldatba vitt, átkristályosított főkomponenst megvilágítva, majd kromatográfiásan vizsgálva ugyanazok a komponensek nyerhetők, mint amelyeket a tisztítatlan gyári készítmény analizálásánál nyertünk. A 14. ábrán a rhodamin 6G oldatok $\lg(\varepsilon/\nu)$ értékeit tüntettem fel. Az ábráról jól látható, hogy a megvilágítatlan főkomponensre jó közelítéssel egyenes adódik (a Δ -gel jelölt pontok), míg a megvilágított főkomponensre (o-val jelölt pontok), valamint a megvilágítatlan, tisztítatlan festékre (x-szel jelölt pontok) kapott görbe menete a lineáristól eltér, bizonyítva azt, hogy az oldat már nem egy komponensű.

Az előbbi eredményt alátámasztottam az ún. Sztjepanov-féle összefüggés



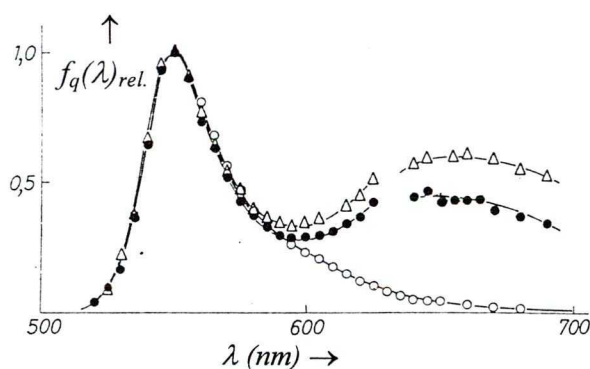
14. ábra



15. ábra

segítségével is. A 15. ábráról jól látható, hogy csak a megvilágítatlan főkomponensre kapunk egyenest (Δ -gel jelölt pontok), míg a tisztítatlan rhodamin 6G-re (x-szel jelölt pontok) és a megvilágított főkomponensre (o-val jelölt pontok) vonatkozó pontok nem szolgáltatnak egyenest.

Kromatográfiás módszerrel nem sikerült azt a komponenst leválasztani, melynek abszorpciós spektruma a rhodamin 6G abszorpciós spektrumának hosszúhullámú részére esik. Ennek az anyagnak a mennyisége ugyan nagyon kicsi, de abszorpciója a rhodamin 6G e területre eső abszorpciójából kimérhető. A 16. ábra mutatja a rhodamin 6G lumineszcencia-spektrumát (o-val jelölt görbe), stokes-i gerjesztésnél ($\lambda = 470$ nm), a tisztítatlan komponens (Δ -gel jelölt görbe) és a főkomponens spektrumát ($\bullet$ -val jelölt görbe), He-Ne-gázlézerrel ($\lambda = 632,8$ nm) történő gerjesztés esetén. Látható, hogy a tisztítás csökkenti annak a komponensnek a mennyiségét, amelyik a spektrum vörös tartományában abszorbeál, illetve világít.

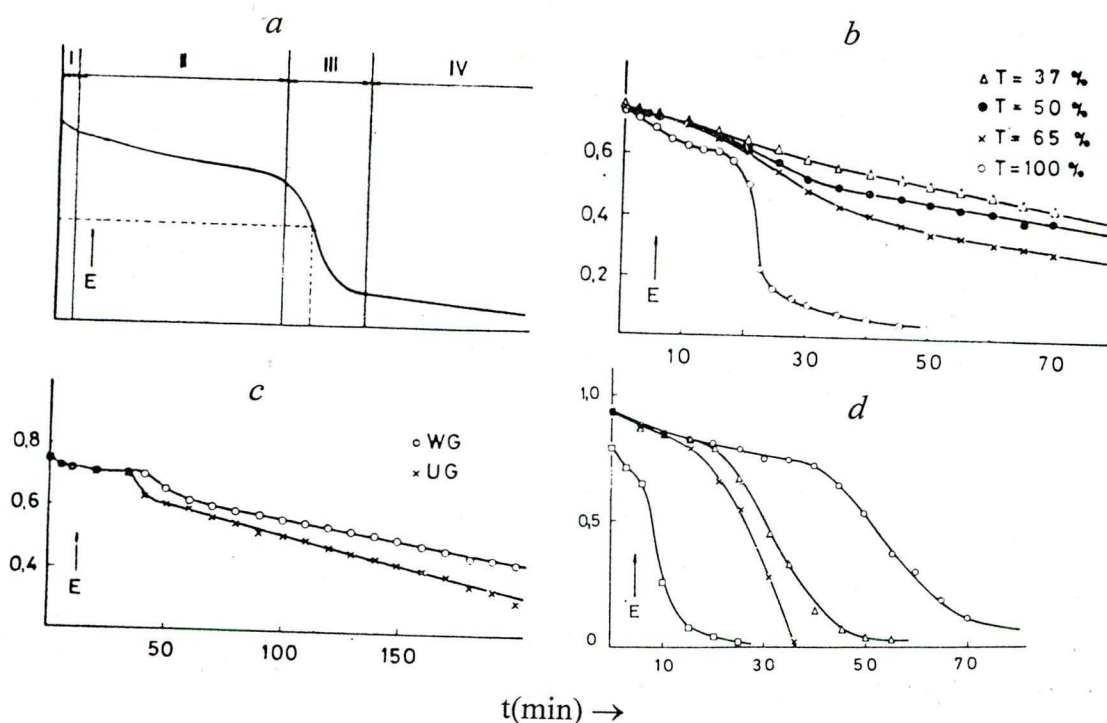


16. ábra

Ebből következik, hogy ez a komponens és a főkomponens kromatográfiás módszerrel nem választható szét.

Vizsgáltam a kromatográfiásan előállított főkomponens abszorpciós koefficiensének időbeli változását az abszorpciós maximum közelében ($\lambda = 535$ nm).

Alkoholos oldatban az abszorpcióváltozás a megvilágítási idő függvényében a 17.a. ábrán vázolt lefutást mutatja. A görbén négy rész különböztethető meg: a görbe egy rövid, viszonylag meredek szakasszal indul (I.), ezt egy hosszú, közel lineáris csökkenés váltja fel (II.), ezután ugrás következik be (III.), miközben a



17. ábra

fluoreszcencia-fény színe megváltozik, majd gyors elszíntelenedés játszódik le (IV.), az oldat fénytörővé válik, benne szemmel látható részecskék örvénylenek.

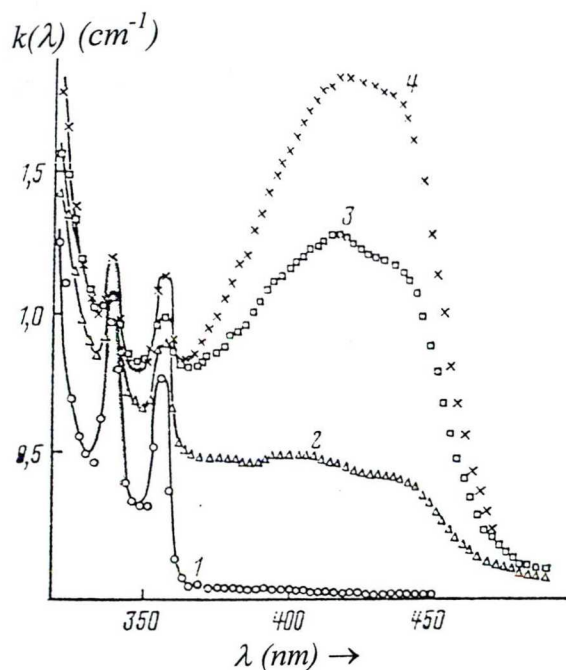
Megmutattam, hogy a fotobomlás koncentrált megvilágítás esetén lényegesen felgyorsul a nagy felületű, kis intenzitású megvilágításhoz képest. A mérés eredményeit a 17.b. ábrán mutatom be (az egyes görbék különböző megvilágításokhoz tartoznak, a fénygyengítők transzmissziójának értékei: $T = 37\%$ (Δ -gel jelölt görbe), $T = 50\%$ ($\bullet$ -val jelölt görbe), $T = 65\%$ (x-szel jelölt görbe), $T = 100\%$ (o-val jelölt görbe). Látható, hogy kis intenzitásoknál a III., meredek szakasz nem lép fel, a görbe végig közel lineáris. A fényintenzitás növelésével a III. szakasz szerepe egyre nagyobb lesz. Ezt a függést magyarázhatja, hogy létrejöttéhez két foton egymást követő abszorpciójára van szükség.

A 17.c. ábráról látható, hogy a megvilágító Xe-lámpa fényének ultraibolya tartománya (UG-5 szűrő, x-szel jelölt görbe) és látható tartománya (WG-9 szűrő, o-val jelölt görbe) gyakorlatilag ugyanazt a menetet eredményezi a reakciósebességi görbéken.

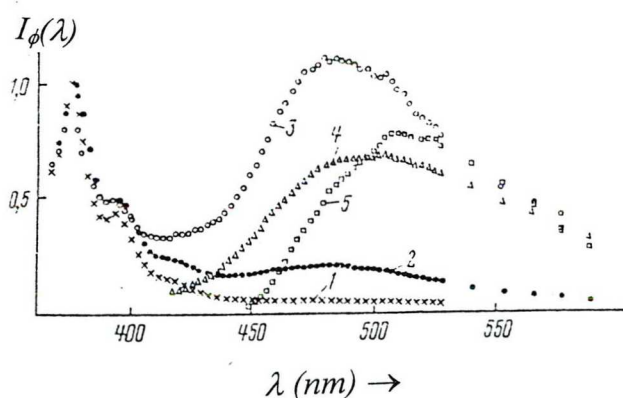
A detergentek (Triton X-100, nátrium-lauryl-szulfát) az indukciós periódust megnyújtják, a görbe II. szakaszának meredekségét nem csökkentik, miként azt a 17.d. ábra szemlélteti.

5. A dimetoxifenantro-kinolizidin (DFK) anyagon végzett vizsgálataim során megmutattam, hogy a lumineszcencia-spektroszkópai módszer alkalmas ismeretlen fotokémiai folyamatok kémiai részleteinek feltárására, másrészt lehetővé teszi a lejátszódó folyamatok kinetikájának tanulmányozását is [10,14].

Az átkristályosítással tisztított kiindulóanyag (DFK) abszorpciós színekében - 313 nm hullámhosszú fénnel besugározva az oldatot - a megvilágítás hatására új sávok jelennek meg, melyeknek intenzitása függ a roncsoló fény intenzitásától. A 18. ábra a görbék mellé írt számok sorrendjében növekvő besugárzási idők után



18. ábra



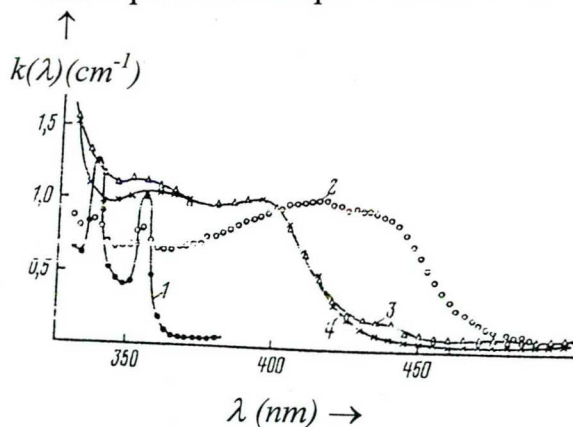
19. ábra

mért abszorpciós színeképeket mutat be (megvilágítatlan oldat /1/, megvilágítási idő: 3 perc /2/, 6 perc /3/, 9 perc /4/). Látható, hogy a fototermékhez rendelhető sáv a DFK abszorpciós színekének anti-stokes-i tartományában jelenik meg. A színek ezen része két széles sávból tevődik össze, amely legalább két fototermék jelenlétére utal.

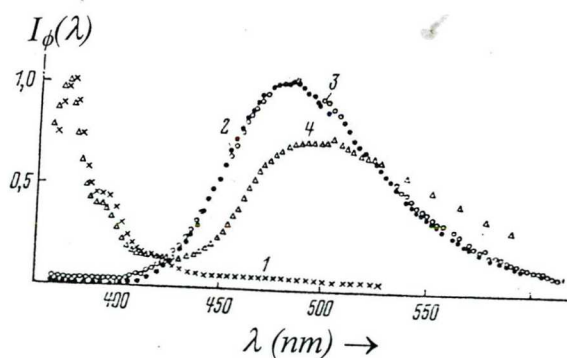
A 19. ábrán az 1. görbe az intenzív besugárzástól védett DFK lumineszcencia színekét ábrázolja stokes-i gerjesztés ($\lambda_g = 355$ nm) esetén. A 2. és 3. görbe

kicsiny, illetve nagy besugárzó dózis után mért lumineszcencia színeképet mutatja, ugyancsak stokes-i ($\lambda_g = 355$ nm, 2. görbe; $\lambda_g = 320$ nm, 3. görbe) gerjesztés esetén. Látható, hogy a besugárzó dózissal arányosan nő a fototermékhez rendelhető lumineszcencia-sáv intenzitása. A fototermékek lumineszcencia-színeképe is több sávból tevődik össze. A 395 nm hullámhosszú fényt mindkét fototermék abszorbeálja, ám a rövidebb hullámhosszaknál abszorbeáló komponens valószínűleg jelentősen nagyobb abszorpcióval rendelkezik a másikhoz képest. Az így kapott színekép (4. görbe) rövidhullámú része ezen komponenshez rendelhető. Mivel a másik termék is számottevően abszorbeál, a hosszúhullámú tartományban is jelentős intenzitású lumineszcencia mutatkozik. A 440 nm hullámhosszú fényt csak a második komponens abszorbeálja, ezért az így felvett lumineszcencia színeképben (5. görbe) már az első komponenshez tartozó abszorpciós átmenetek nem vagy csak kis mértékben tükröződnek.

Meghatároztam a kémiai úton előállított III. és IV. termék abszorpciós színeképet. A színeképeket a 20. ábrán adtam meg (3. görbe: III. termék, 4. görbe: IV.



20. ábra



21. ábra

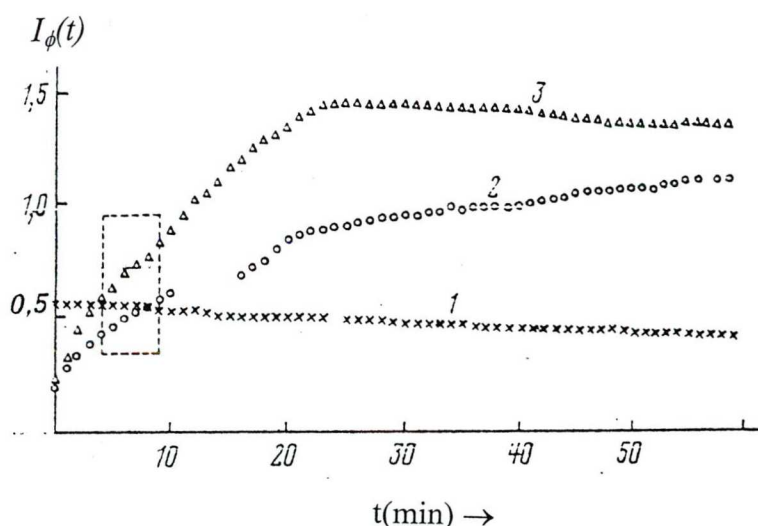
termék), a besugárzás előtt és után felvett DFK abszorpciós színeképeivel együtt (1. görbe: besugározatlan, 2. görbe: besugározott DFK). Az ábráról jól látható, hogy a III. és a IV. termék abszorpciós görbéi gyakorlatilag azonosak egymással, de jelentősen különböznek a DFK besugárzás előtt és után mért színeképeitől. Ezek alapján feltételezhető, hogy a DFK intenzív besugárzásánál keletkezett fototermékek abszorpciós színeképében (2. görbe) a rövidebb hullámhossztartományban

(380-420 nm) mutatózó abszorpció a III. és a IV. termékhez rendelhető. Az ábra azonban más fototermékek jelenlétét is mutatja, ami arra utal, hogy további fotokémiai folyamatok is lejátszódnak.

Ezt a megállapítást a fluoreszcencia színeképek alapján is megerősíthetem. A 21. ábrán a $\lambda_g = 355$ nm hullámhosszú gerjesztéssel kapott színeképeket ábrázoltam a III. és IV. komponensekre (2. és 3. görbe), továbbá a DFK-ra besugárzás előtt (1. görbe) és után (4. görbe). Az ábra azt mutatja, hogy a fototermék színeképében mutatózó rövidhullámú sávot rendelhetjük a III., illetve IV. termékhez.

Az oldaton belül lejátszódo folyamatok részletesebb megismerése céljából tanulmányoztam az abszorpciós- és emissziós képességnek az időbeli változását.

Egy mérési sorozat eredményét a 22. ábrán adom meg, ahol különböző λ_g gerjesztő- és λ_f fluoreszcencia hullámhosszak mellett mért $I_\phi(t)$ fényintenzitásokat



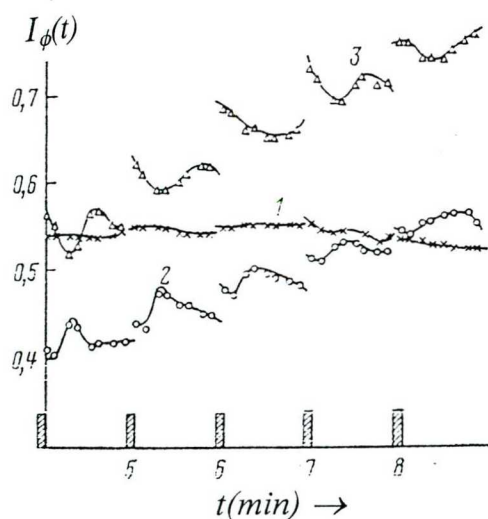
22. ábra

ábrázoltam az idő függvényében. A mérési sorozatnál egy perces időközönként öt másodperces intenzív besugárzást alkalmaztam (Hg-lámpa 313 nm-es fényével), majd a roncsoló fény elzárása után öt másodpercenként mértem a folyamatos mérőfényvel gerjesztett fluoreszcencia intenzitását. A 22. ábrán a roncsoló fény elzárása utáni első mérés eredményét adtam meg. Látható, hogy az ismételt besugárzás hatására a DFK lumineszcencia intenzitása ($\lambda_g = 320$ nm, $\lambda_f = 370$ nm)

fokozatosan csökken (1. görbe). Ha a III. és a IV. fototermék abszorpciós maximumánál gerjesztjük az oldatot ($\lambda_g = 395 \text{ nm}$, $\lambda_f = 450 \text{ nm}$) a fototermék lumineszcencia fényének intenzitása kezdetben gyorsan növekszik, majd 25 perc elteltével fokozatosan csökken (3. görbe). A hosszabb hullámok tartományában abszorbeáló és emittáló fototermék lumineszcencia sugárzásának ($\lambda_g = 440 \text{ nm}$, $\lambda_f = 550 \text{ nm}$) intenzitása a vizsgált időtartamon belül fokozatosan növekszik (2. görbe).

A görbék menete alapján valószínűsíthető, hogy intenzív besugárzás hatására a DFK molekulák egy része elbomlik, ennek megfelelően a lumineszcencia-fény intenzitása csökken, az elsődleges fototerméké pedig növekszik. Az elsődleges fototermék egy meghatározott koncentrációjának elérése után jelentőssé válik a másodlagos folyamatok szerepe. Ettől kezdve a molekulák egy részének elbomlása miatt csökken a 450 nm-nél mért lumineszcencia intenzitása, a másodlagos terméké pedig növekszik.

A kétféle fototermék keletkezésének bonyolult részleteit jól mutatja a lumineszcencia-fény intenzitásának két besugárzás közötti változása. A 23. ábrán a



23. ábra

vizsgált időtartam 4. és 9. perce közötti intervallumban végzett mérések (a 22. ábrán a szaggatott vonallal keretezett rész) eredményeit tüntettem fel. A roncsoló fény időbeli "elhelyezkedését" a vonalkázott téglalapok jelölik. Az ábra jól mutatja, hogy a lejátszódó folyamatok egy része reverzibilis jellegű, míg a DFK molekulák

bomlása irreverzibilis ($\lambda_g = 320 \text{ nm}$: /1/, 440 nm : /2/, 395 nm : /3/; $\lambda_f = 370 \text{ nm}$: /1/, 550 nm : /2/, 450 nm : /3/). Az ábra bizonyítja, hogy az egyik fototermékből egy másik jön létre, ugyanis a 450 nm (3. görbe) és az 550 nm hullámhosszaknál (2. görbe) a lumineszcencia intenzitása ellentétesen változik az egyik formának a másikba való átalakulása miatt.

C.

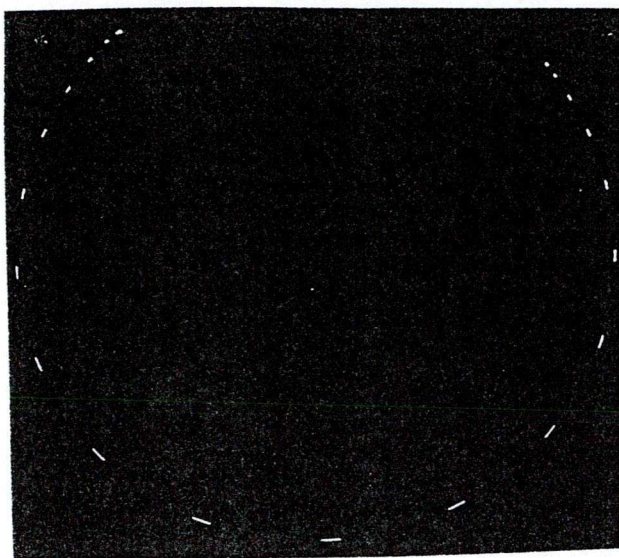
6. A "fekete doboz" (black box) - módszer alkalmazására több feladatot fogalmaztam meg, amelyeket az Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny kísérleti fordulóján tűztem ki. A módszert eredményesen alkalmaztam a tehetséggondozásban is, pl. a Fizikai Diákolimpiai Szakkör foglalkozásain [27,30,34].

A feladatok közül - illusztrálásul - egyet mutatok be. A tanulóknak kiadott dobozon négy, A, B, C és D betűkkel megjelölt kivezetés (banánhüvely) található. A rendelkezésükre bocsátott eszközökkel (három digitális multiméter, két zsebtelep, két potenciométer, röpszinórok) kellett kideríteni, mi található a dobozban. Szisztematikus mérési sorozatokkal, két bemeneti pont vizsgálatával, karakterisztikák felvételével - nem csekély gondolkodás után - kideríthető, hogy a dobozban az A és B pontok között egy zseblámpaizzó, a C és D pontok között pedig egy fotoellenállás van, a további pontpárok között sem fémes összeköttetés, sem más kapcsolási elem nincs.

7. Új eljárást dolgoztam ki egyszerű mozgások (egyenes vonalú-, kör- és rezgőmozgás) nyomképének felvételére [25].

A vizsgált mozgást végző testre kisméretű világító diódát, LED-et erősítettem. A LED-et impulzusgenerátorról működtettem, amelyet úgy terveztem meg, hogy az előállított négyszög-jel frekvenciája és a kitöltési tényező változtatható legyen, így változtatni tudtam a LED fényfelvillanásai közötti Δt időt, valamint azt az időtartamot is, ameddig a LED két impulzus között világított. A testtel együtt mozgó LED-et elsötétített szobában nyitott rekeszű fényképezőgéppel lefényképeztem. A film előhívása után a filmkockán megkapjuk a mozgás

nyomképét. Egy rúdingán levő testre erősített LED-del felvett nyomképet mutat a 24. ábra. Jól látható, hogy a test adott pontja körív mentén mozog, az ívdarabok



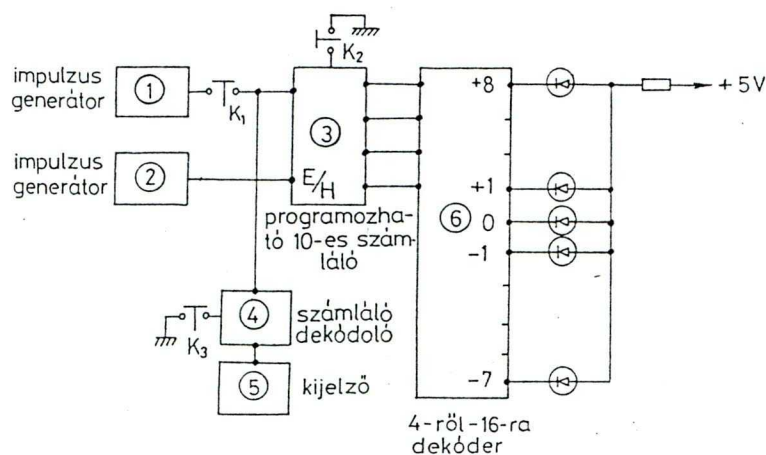
24. ábra

egymástól mért távolsága és hosszuk is változik. Mivel az ívdarabok egyenlő idők után követik egymást, a távolságok változásából arra következtethetünk, hogy a mozgás nem egyenletes. Az ívdarabok hossza az impulzushosszal és az időintervallumhoz tartozó átlagsebességgel arányos: nagyobb ívhosszhoz nagyobb sebesség rendelhető.

Ezzel az eljárással felvehető az egyenes vonalú egyenletes-, az egyenes vonalú gyorsuló-, a kör- és a harmonikus rezgőmozgás nyomképei. A nyomképfelvételt maguk a tanulók is elvégezhetik, költséges eszközre, különleges eljárásra lényegében nincs szükség.

8. Digitális integrált áramkörök felhasználásával olyan elektronikus eszközöket terveztem, melyekkel egyes statisztikus modelljátékok (gázok egyenletes térkitöltése, Brown-mozgás) a tanítási órán alkalmazott eljárástól eltérően, elektronikus úton valósíthatók meg [15,16,17,24,25].

A síkrács pontjain történő bolyongás bemutatására szolgáló készülék megtervezését egy egyszerűbb eszköz elkészítése előzte meg. A 25. ábrán egy

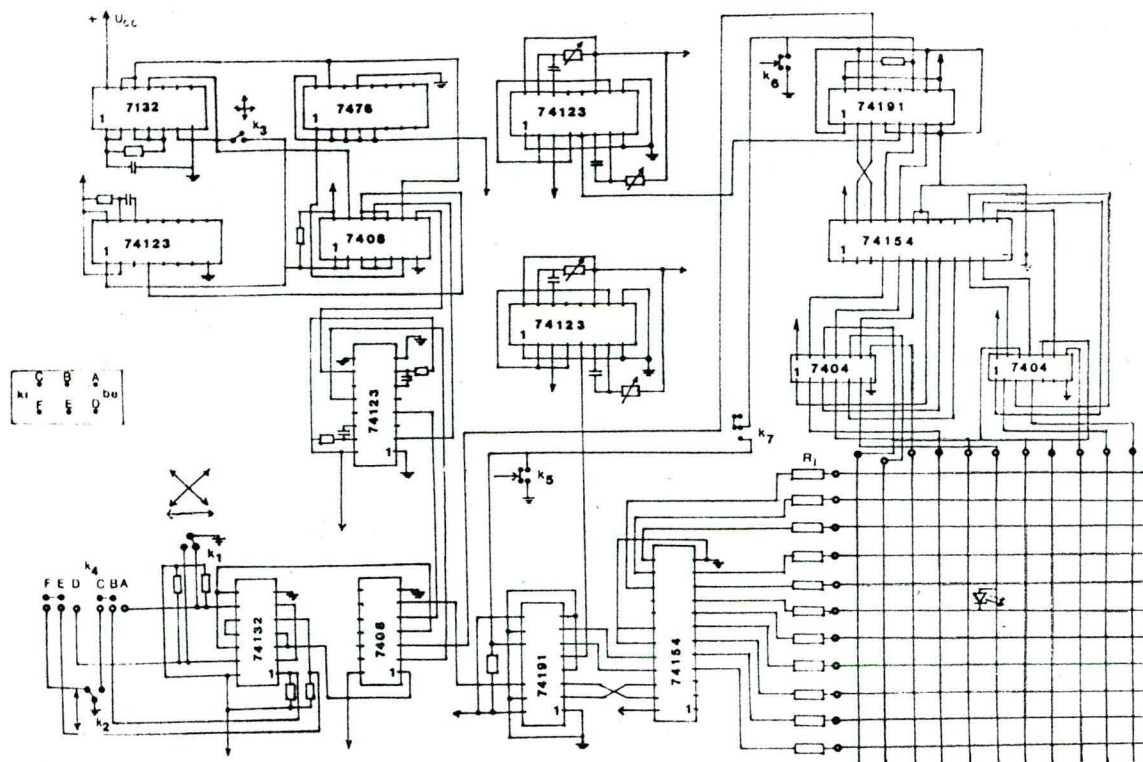


25. ábra

integrált áramkörökkel megépített eszköz blokk-vázlatát mutatom be, mellyel pontsoron történő bolyongás szimulálható (lineáris bolyongás-modell). A készülék legfontosabb eleme a (3) előre-hátra számláló számláló-áramkör, amelynél az előre, illetve hátra számlálás véletlenszerűen történik az engedélyező bemenetre kapcsolt, a (2) impulzusgenerátorból érkező négyszögimpulzusok hatására. Az (1) impulzusgenerátorból érkező impulzusok K_1 lenyomása után a számláló bemenetére kerülnek, majd K_1 felengedése után a számlálóhoz kapcsolt (6) dekódoló kimenetére kötött LED-ek közül egy világítani fog. Egy újabb impulzus beérkezésekor az előbbivel szomszédos LED-ek egyike fog világítani, attól függően, hogy a számláló az impulzus érkezésekor éppen "merre" számlált. A K_2 kapcsoló zárásakor a (6) dekódolóra kötött 0-jelű, azaz a középső LED fog világítani, ez a kiindulási állapot. A készülékkel megvizsgálható, hogy a "bolyongó részecske" n lépés után hol tartózkodik. A dekódolóra kötött 16 LED sorszáma adja a megtett előjeles távolságot.

Két lineáris bolyongás-modellből megépíthető a síkrács pontjain bolyongó részecske mozgását szimuláló elektronikus eszköz. Ennek a készüléknek a kapcsolási rajzát a 26. ábrán mutatom be. A készülék működése az előzőek alapján megérthető, hiszen csak két lineáris modellt kell "merőlegesen egyesíteni".

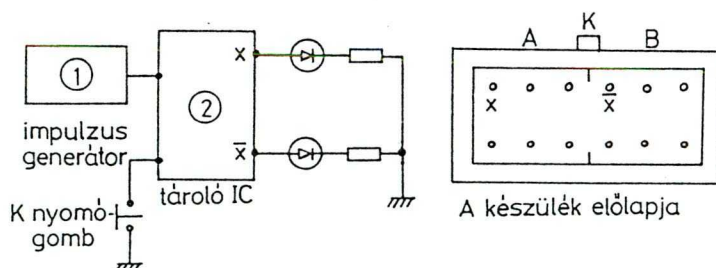
Az I. gimnáziumi fizika tananyagának "rend és rendetlenség" című témakörének feldolgozása hat számozott koronggal ("részecske", "darazsak") és dobókockával (véletlen kiválasztás) különösen időigényes, ha nagy elemszámú



26. ábra

eloszlásból akarunk következtetést levonni. Időt nyerhetünk, illetve más megvilágításba helyezhetjük a modelljátékot egy, a gáz-részecskék egyenletes térkitöltését, eloszlását szimuláló elektronikus készülékkel.

Az általam megtervezett készülék működését a 27. ábrán vázolt blokk-vázlat segítségével mutatom be.



27. ábra

Az (1) astabil multivibrátor néhány 10 kHz frekvenciájú jele a (2) tároló integrált áramkör bemenetére kerül, melynek X kimenetére kötött LED akkor fog világítani, ha a tároló engedélyező bemenetét a K kapcsoló lenyomásával földpotenciálra kötjük és az impulzus H szintű jelet szolgáltat (a "részecske" A-ban van). Ellenkező esetben (az engedélyező bemenet földpotenciálon van, az impulzus

L szintű) az $\bar{X}$ kimenetre kötött LED világít. Ekkor a készülék előlapján a B térrészben található a világító LED (a "részecske" B-ben van). Hat ilyen egység egyesítésével nyerhető a 6 részecske A és B térrészek közötti, véletlenszerű elhelyezkedését szimuláló elektronikus készülék. A K nyomógomb lenyomása után N számú LED ($N \leq 6$) világít A-ban, és $6-N$ számú LED B-ben. Ha feljegyezzük - nagyszámú kísérlet után - a "részecskék" két térrészbeli számát, hisztogramot készíthetünk, és megmutathatjuk, hogy a legnagyobb gyakorisággal a 3-3 eloszlás valósul meg.

9. A fizikából felvételizők számára példatárat írtam [3], melyben a feladatokon kívül megadtam a feladatok didaktikai szempontokat is figyelembe vevő, részletes megoldásait is. Az ország különböző iskoláiban tanító kollégáktól kapott visszajelzések azt bizonyítják, hogy a könyv eredményesen használható a felvételi előkészítésen túl a szakkörökön és a tanórán is. Erre következtethetnek a nagy eladási példányszámból, a másodszori megjelentetésből is.

IV. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

A. A festék-detergens rendszerek jól használhatók a fotoszintézis egyes részfolyamatainak tanulmányozására. Ugyanakkor - mint azt vizsgálataimmal alátámasztottam - e rendszerek alkalmazásakor lehetőleg kerülni kell a magas hőmérsékletű kísérleti körülményeket, az erős megvilágítást, különben a festékek káros fotokémiai változása, degradációja miatt a rendszerek a kívánt cél vizsgálatára már nem lesznek alkalmasak.

B. A rhodamin 6G festékben (illetve más festékekben is) megvilágítás hatására fotokémiai változások mennek végbe, melyek pl. a festék-lézerek működésére hátrányosan hatnak. A káros hatások mértéke csökkenthető bizonyos adalékanyagok (pl. detergensok) alkalmazásával. A rendezett, kötött struktúrába épült festékek nagyobb stabilitással rendelkeznek. Az utóbbi időben nap-kollektorként plexi-lapokat alkalmaznak, melyekbe szerves festéket (pl. rhodamin 6G) ágyaznak. A megvilágítás során a festék fotodegradációja ugyan mindig bekövetkezik, de kisebb mértékben, mint az oldatba vitt festék esetén.

C. Az általam tervezett és összeállított készülékek, illetve alkalmazott módszerek a középiskolai fizika tanításában eredményesen felhasználhatók. Több iskola, illetve szaktanár kolléga alkalmazza a bemutatott eszközöket, melyekkel az Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét eszközkiállításain, műhelyfoglalkozásain, illetve a szakmai folyóiratokban ismertethettem meg a fizika tanárokat. Az egyetemi oktatás során, a fizika szakmódszertani előadások és a laboratóriumi gyakorlatok anyagába építve a fizika tanárszakos hallgatók képzését is segítik a tézisekben röviden vázolt módszerek és eszközök. Ezek működési alapjait a tanártovábbképzésben résztvevő tanárok - előadásokon és gyakorlaton - szintén megismerték, többen ötletet merítve ezekből hasonló elven felépített, továbbfejlesztett készülékeket terveztek.



PUBLIKÁCIÓS LISTA

A. DISSZERTÁCIÓ

[1] Molnár M.:

Szerves festéket tartalmazó detergens (micella)-rendszerek stabilitásának vizsgálata

Egyetemi doktori disszertáció, JATE TTK, Szeged, 1973.

B. KÖNYV

[2] Molnár M. (Alkotó szerk.):

A Budó Ágoston fizikaversenyek feladatai és megoldásai (1979-90)
Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1991.

[3] Molnár M., Gyémánt I.:

Hússzor hat (Fizikai feladatsorok és megoldásaik felvételre készülőк számára)

Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1992. (Első kiadás),
1995. (Második kiadás)

C. CIKKEK

[4] Molnár M.:

Ruzsa I.: A matematika és a filozófia határán
M.M. Tájékoztató, Budapest, 1971/2.

[5] Molnár M.:

A világ a materialista szemével (avagy egy könyvsorozat felhasználásának lehetőségei a filozófia oktatásában)
M.M. Tájékoztató, Budapest, 1971/6.

[6] M. Молнар, Я. Хевеши:

Влияние температуры на детергентные системы, содержащие органические красители
Acta Phys. et Chem., Szeged, 23. 389. (1977)

[7] Hevesi J., Molnár M.:

Time stability of detergent (micelle) systems containing organic dyes
Acta Phys. et Chem., Szeged, 21. 31. (1975)

[8] M. Молнар, Я. Хевеши:

Изучение оптических свойств систем красителей-детергент от времени освещения
Acta Phys. et Chem., Szeged, 21. 23. (1975)

[9] Л. Козма, Э. Фаркаш, И. Кечкемети, М. Молнар:

О природе фотопродуктов генерирующих красителей
Acta Phys. et Chem., Szeged, 22. 33. (1976)

[10] Л. Козма, М. Фельдеак, М. Молнар, Э. Фаркаш, П. Хедеш:

Спектро-флуоресцентные исследования фотораспада органических веществ
Ж. П. С. 30. 2. (1979)

- [11] **Э. Варга, Л. Козма, Э. Фаркаш, М. Молнар:**
О механизм выцветания молекул красителя подамина 6Ж.
Acta Phys. et Chem., Szeged, 24. 370. (1978)
- [12] **Э. Варга, Л. Козма, Э. Фаркаш, М. Молнар:**
Исследование фотохимических процессов растворов цподамина
6Ж хроматографическим методом
Acta Phys. et Chem., Szeged, 24. 423. (1978)
- [13] **Kozma L., Molnár M., Várkonyi Z.:**
Lumineszcencia nyári iskola
Fizikai Szemle, 1979/11.
- [14] **Molnár M., Kozma L., Varga É., Farkas É.:**
Fotokémiai folyamatok lumineszcencia-spektroszkópiája
(II. Lumineszcencia Nyári Iskola) Debrecen, 1979.
- [15] **Molnár M., Papp K.:**
Néhány elektronikus eszköz a gimnáziumi fizika statisztikus játékaikhoz
(A középiskolai és általános iskolai fizikatanárok évkönyve)
Horizont, 121-131. 1983.
- [16] **Molnár M., Papp K.:**
"Tíz- és tizenhatoldalú" elektronikus "dobókocka"
A Fizika Tanítása, Budapest, 1984/4.
- [17] **Molnár M., Papp K.:**
Elektronikus eszközök a gimnáziumi fizika statisztikus játékaikhoz
Tantárgypedagógiai Közlemények III., Szeged, (63-77) 1983.
- [18] **Molnár M., Papp K., Majkut F.:**
Néhány kísérleti eszköz a gimnáziumi fizika tananyag feldolgozásához
(Hajnali zápor után) Atom és Tóth Á. Gimn., Debrecen, 101-110. 1984.
- [19] **Molnár M., Papp K.:**
Franck-Hertz-kísérlet nemesgázzal töltött tirátronnal
A Fizika Tanítása, Budapest, 1985/2.
- [20] **Molnár M., Papp K., Majkut F.:**
Néhány kísérleti és mérőeszköz a gimnáziumi fizika anyagához
Horizont, 1985.
- [21] **Diószegi I., Molnár M.:**
Harmonikus rezgések összetételének, négyszög- és fűrészrezgés
felbontásának tanulmányozása személyi számítógéppel
Horizont, 1985.
- [22] **Molnár M., Papp K.:**
Atomfizikai mérések, számítógépes szimulációk a IV. osztályos gimnáziumi
fizikához
A Fizika Tanítása, Budapest, 1988/2.
- [23] **Molnár M., Papp K.:**
Atomfizikai mérések, számítógépes szimulációk a IV. osztályos gimnáziumi
fizikához
Játékos atomok, Veszprém, 123-132. 1987.
- [24] **Molnár M.:**
Elektronikus eszközök a statisztikus fizika tanításához
Fizikai Szemle, 1988/7.

- [25] **Molnár M.:**
Fénykibocsátó diódák (LED-ek) alkalmazása egyszerű fizikai kísérletekben
Fizikai Szemle, 1989/7.
- [26] **Papp K., Molnár M.:**
Zur Anwendung von Computern im Physikunterricht in Ungarn
(Eine kurze Übersicht mit ausgewählten Beispielen)
Greifswalder Physikalische Hefte 9. 42-60. 1990.
- [27] **K. Papp. , M. Molnár:**
Workshop on electricity Experiments (How to prepare talented students to like physics and do it well)
Jászberény, 209-216. 1990.
- [28] **Molnár M., Varga Zs.:**
Beszámoló az 1992. évi Budó Ágoston Fizikai Feladatmegoldó versenyről
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1993/1.
- [29] **Molnár M., Farkas Zs.:**
Az OKTV Fizika I. kategória, harmadik, kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (I. rész)
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1993/1.
- [30] **Molnár M., Farkas Zs.:**
Az OKTV Fizika I. kategória, harmadik, kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (II. rész)
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1993/2.
- [31] **Molnár M.:**
Az OKTV Fizika I. kategória, harmadik, kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (III. rész)
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1993/4.
- [32] **Molnár M.:**
A Boucherot-paradoxon. Kiegészítés "Az OKTV Fizika I. kategória kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai III." c. cikkhez
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1993/5.
- [33] **Molnár M.:**
Az OKTV Fizika I. kategória, III., kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (IV. rész)
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1994/5.
- [34] **Molnár M.:**
Az OKTV Fizika I. kategória, III., kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (V. rész)
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1995/1.
- [35] **Molnár M.:**
A fizika OKTV kísérleti fordulójának feladatai szakközépiskolások számára (1993 és 1994)
Horizont 1995, Eötvös Loránd Fizikai Társulat, Budapest
- [36] **Molnár M., Farkas Zs.:**
Az OKTV Fizika I. kategória, harmadik, kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (VI. rész)
A Fizika Tanítása (Mozaik Oktatási Stúdió) Szeged, 1996/5.

D. JEGYZET, PÉLDATÁR

[37] Gyémánt I. (Szerk.):

Fizikai feladatok (Feladatgyűjtemény a felvételi előkészítő táborokhoz)
Kézirat, Szeged, 1972.

[38] Szöllősy L. (Szerk.):

Fizikai gyakorlatok (Orvos és gyógyszerészhallgatók részére)
Kézirat, Szeged, 1972.

[39] Hevesi I. (Szerk.):

Fizikai feladatok I.
Kézirat, Szeged, 1974.

[40] Pintér F., Molnár M., Hilbert M.:

Fizika I. éves gyógyszerészhallgatók részére
Kézirat, Szeged, 1975.

[41] Gáti L. (Szerk.):

Fizikai feladatok II.
Kézirat, Szeged, 1976.

[42] Pintér F., Molnár M.:

Kiegészítések a "Matematika gyógyszerészhallgatók számára" c. jegyzethez
Kézirat, Szeged, 1975.

[43] Benedict M., Gyémánt I., Molnár M., Papp Gy.:

Fizika II. (Természettudományi Karok Felvételi Előkészítő Bizottsága),
Kézirat, Budapest, 1979.

[44] Pintér F. (Szerk.):

Fizikai laboratóriumi gyakorlatok gyógyszerészhallgatók részére
Kézirat, Szeged, 1981.

[45] Hevesi I., Süli Á. (Szerk.):

Fizikai feladatok I. (II. átdolgozott kiadás)
Kézirat, Szeged, 1981.

[46] Gáti L. (Szerk.):

Fizikai feladatok II. (II. átdolgozott kiadás)
Kézirat, Szeged, 1983.

[47] Gáti L., Vize L., Molnár M. (Szerk: Papp K., Ketskeméty I.):

Optoelektronikai laboratórium (Industrialexport)
Kézirat, Szeged, 1983.

[48] Molnár M.:

Néhány fontosabb matematikai háttérismeret a gyógyszerészhallgatók fizika tanulmányaihoz
Kézirat, Szeged, 1988.

[49] Dombi J., Hevesi I., Molnár M., Pintér F., Szucsán A.:

Budó Ágoston Fizikai Feladatmegoldó Verseny (1979-1988)
Kézirat, Szeged, 1989.

[50] Gáti L., Molnár M.:

Segédanyag A fizika története c. szemináriumhoz
Kézirat, Szeged, 1990.

[51] Molnár M., Schusztér F.:

Fizika levelek megoldása 1-12. IV. osztály
Természettudományi Karok Felvételi Előkészítő Bizottsága,
Kézirat, Budapest, 1989.

E. SZERKESZTÉS, LEKTORÁLÁS

[52] Kozma L., Molnár M., Várkonyi Z. (Szerk.):

A lumineszcencia kutatás aktuális kérdései
(I. Lumineszcencia Nyári Iskola) Szeged, 1978. - szerkesztés

[53] Kozma L., Megyeri Á-né:

Fizikai feladatok előkészítő táborok részére
(Egészségügyi Felsőfokú Intézmények Felvételi Előkészítő Bizottsága),
Kézirat, Szeged, 1979. - lektorálás

[54] Kiss Lajos:

Fizika a nyolcosztályos gimnázium harmadik osztálya számára
Kézirat, Gyöngyös, 1992. - lektorálás

[55] Jeges Károly:

Fizikai kísérletek, játékok elektronokkal, ionokkal
Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1992. - lektorálás

[56] Kiss L.:

Fizika a nyolcosztályos gimnázium negyedik osztálya számára
Kézirat, Gyöngyös, 1993. - lektorálás

[57] Kiss Lajos:

Fizika a nyolcosztályos gimnázium ötödik osztálya számára
Kézirat, Gyöngyös, 1994. - lektorálás

[58] Kiss Lajos:

Fizika a nyolcosztályos gimnázium hatodik osztálya számára
Kézirat, Gyöngyös, 1995. - lektorálás

[59] Erostyák J.:

Fénytani feladatok
Kézirat, Pécs, 1995. - lektorálás

[60] Erostyák J., Kozma L.:

Fénytan
Kézirat, Pécs, 1995. - lektorálás

[61] Kövesdi K. (Szerk.):

Felvételi feladatok fizikából 1991-1995.
Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1996. lektorálás

ELŐADÁSOK

1. **Molnár M., Kozma L., Varga É., Farkas É.:**
Fotokémiai folyamatok lumineszcencia spektroszkópiája
II. Országos Lumineszcencia Nyári Iskola, Debrecen, 1979.
2. **Diószegi I., Molnár M.:**
Rezgések összetétele és felbontása személyi számítógéppel
XXVIII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Szeged, 1985. - dícséret
3. **Molnár M., Papp K.:**
Atomfizikai mérések, számítógépes szimulációk
XXIX. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Győr, 1986. - dícséret
4. **Molnár M.:**
Elektronikus eszközök a statisztikus fizika tanításához
XXX. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Kaposvár, 1987. - a bírálóbizottság díja
5. **Molnár M.:**
Fénykibocsátó diódák alkalmazása fizikai kísérletekben
XXXI. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Pécs, 1988. - jutalom
6. **Molnár M.:**
Der Physikunterricht nach neuen Lehrplänen an ungarischen Schulen
Greifswald, 1988. szept. 5.
7. **Papp K., Molnár M.:**
Die Anwendung von Computern im ungarischen Physikunterricht
Berlin, 1990. márc. 21.
8. **K. Papp., M. Molnár:**
Workshop on electricity Experiments (How to prepare talented students to like physics and do it well)
Jászberény, 1990.
9. **Molnár M.:**
Fekete dobozok a fizika tanításban
Tanártovábbképzés, Jászberény, 1991.
10. **Molnár M.:**
Fekete dobozok a fizika tanításban
XXXIV. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Sopron, 1991. - II. díj
11. **Molnár M.:**
Az Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny Fizika I. kategória
harmadik, kísérleti fordulójának feladatai és megoldásai (1991-1992)
XXXVI. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Hódmezővásárhely, 1993. - jutalom



- 12. Molnár M.:**
Legkedvesebb kísérleteim
XXXVI. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Hódmezővásárhely, 1993.
- 13. Molnár M.:**
Újabb kísérleti eszközök a fizika tanításában
HUNGARODIDACT, Budapest 1991. október 8.
- 14. Molnár M.:**
Fénykibocsátó diódák alkalmazása fizikai kísérletekben
Bolyai Nyári Akadémia, Sepsiszentgyörgy, 1993.július 23.
- 15. Molnár M.:**
Kísérleti versenyfeladatok
Bolyai Nyári Akadémia, Sepsiszentgyörgy, 1993.július 23.
- 16. Molnár M.:**
Új kísérleti módszerek a fizikatanításban (kísérleti bemutatóval)
Továbbképzés a világbanki iskolák fizika tanárainak,
Budapest, 1993. október 8.
- 17. Molnár M.:**
Színes optikai kísérletek He-Ne-lézerrel
Gyula, 1994. május 11.
- 18. Molnár M.:**
A fizika OKTV kísérleti fordulójának feladatai a szakközépiskolások számára
(1993 és 1994)
XXXVIII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Miskolc, 1995. - oklevél, jutalom
- 19. Molnár M.:**
Kísérleti versenyfeladatok, OKTV, I. kategória
Körmöczy János Fizikusnapok,
Torockó (Rimetea), 1995. április 23.
- 20. Molnár M.:**
Statisztikus modelljátékok megvalósítása elektronikus
eszközökkel
Körmöczy János Fizikusnapok,
Torockó (Rimetea), 1995. április 23.
- 21. Molnár M.:**
Fizikai paradoxonok
XXXIX. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Sárospatak, 1996. - oklevél, jutalom
- 22. Molnár M.:**
Az OKTV kísérleti fordulója Szegeden (1991-1996)
X. Fizikatanári Őszi Egyetem,
Szeged, 1996. október 22.
- 23. Molnár M.:**
Optikai kísérletek lézerrel, kísérletek cseppfolyós nitrogénnel
Református Középiskolák I. Országos Fizikai Feladatmegoldó Versenye,
Hódmezővásárhely, 1997. március 22.

24. Molnár M.:

Elektromosságtani kísérleti versenyfeladatok (bemutatóval)
XL. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Műhelyfoglalkozás, Békéscsaba, 1997. - oklevél, jutalom

25. Molnár M.:

Fizikai paradoxonok
Evangélikus Iskolák Országos Wigner Jenő Fizikaversenye,
Békéscsaba, 1997. április 11.

ESZKÖZKIÁLLÍTÁSOK

1. **Molnár M., Papp Gy.-né:** II. díj (Labor Műszer Művek különdíja)
XXVI. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Eszközkiállítás, Debrecen, 1983.
2. **Molnár M., Papp K., Majkut F.:** II. díj
XXVII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Eszközkiállítás, Veszprém, 1984.
3. **Molnár M., Papp K., Majkut F.:** I. díj
XXVIII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Eszközkiállítás, Szeged, 1985.
4. **Molnár M.:** III. díj (Tungsram díja)
XXXII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Eszközkiállítás, Kecskemét, 1989.
5. **Molnár M.:** III. díj
XXXIII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Eszközkiállítás, Eger, 1990.
6. **Molnár M.:** I. díj
XXXVII. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét,
Eszközkiállítás, Debrecen, 1994.

A TÁRSSZERZŐK NYILATKOZATA

1. A PhD téziseket megismertem.
2. Elismerem, hogy a PhD tézisekben leírt eredmények elérésében MOLNÁR MIKLÓS meghatározó szerepet játszott.
3. A megfogalmazott téziseket nem használom fel tudományos fokozat eléréséhez.

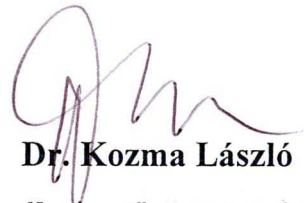
Hevesi János
Dr. Hevesi János

ny. egyetemi docens

Szeged, 1997. április 20.

A TÁRSSZERZŐK NYILATKOZATA

1. A PhD téziseket megismertem.
2. Elismerem, hogy a PhD tézisekben leírt eredmények elérésében MOLNÁR MIKLÓS meghatározó szerepet játszott.
3. A megfogalmazott téziseket nem használom fel tudományos fokozat eléréséhez.



Dr. Kozma László
tanszékvezető egyetemi tanár

Szeged, 1997. április 20.

A TÁRSSZERZŐK NYILATKOZATA

1. A PhD téziseket megismertem.
2. Elismerem, hogy a PhD tézisekben leírt eredmények elérésében MOLNÁR MIKLÓS meghatározó szerepet játszott.
3. A megfogalmazott téziseket nem használom fel tudományos fokozat eléréséhez.



Dr. Ketskemény István
professor emeritus

Szeged, 1997. április 20.

A TÁRSSZERZŐK NYILATKOZATA

1. A PhD téziseket megismertem.
2. Elismerem, hogy a PhD tézisekben leírt eredmények elérésében MOLNÁR MIKLÓS meghatározó szerepet játszott.
3. A megfogalmazott téziseket nem használom fel tudományos fokozat eléréséhez.



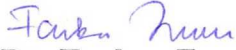
Dr. Papp Katalin

egyetemi docens

Szeged, 1997. április 20.

A TÁRSSZERZŐK NYILATKOZATA

1. A PhD téziseket megismertem.
2. Elismerem, hogy a PhD tézisekben leírt eredmények elérésében MOLNÁR MIKLÓS meghatározó szerepet játszott.
3. A megfogalmazott téziseket nem használom fel tudományos fokozat eléréséhez.


Dr. Farkas Zsuzsa
egyetemi adjunktus

Szeged, 1997. április 20.