

ELEKTRONVEZETÉS SZÍNES ALKÁLIHALOGENID KRISTÁLYOKBAN

BOROS JÁNOS és SIBALSZKY ZOLTÁN

Bemutatta Gyulai Zoltán lev. tag az 1952. június 16-án tartott felolvasó ülésen

Pohl és munkatársainak vizsgálatai alapján színezett alkálihalogenid kristályokban belső fényelektromos hatáskor elektronvezetés lép fel. Ezek a kristályok tehát színezett állapotban úgy tekinthetők, mint amelyek elektronikus félvezetők. A színezés több módon történhetik:

Röntgen- vagy rádióaktív besugárzással, alkáli fémgőzben való hevítéssel („additív színezés“), magas hőmérsékleten elektromos térrel (tűlakú katódal) viszünk be színezést előidéző elektronokat.

Gudden és más kutatók már régen rámutattak arra, hogy a Wilson-féle elmélet alapján várható az ú. n. zavaró nívók elektromos és optikai meghatározása. A „zavaró nívók“ a félvezető valencia és vezetési sávjai közötti energiaértékek. A félvezető elmélet szerint ezekről az energianívókról lépnek át a vezetési sávba az elektronok, amelyek a vezetést előidézik („felesleg vezetők“), vagy ezek veszik fel a valencia sávról az elektronokat („defekt vezetők“). Ezt a várakozást azonban a kísérletek eddigelé alig támasztották alá. Ilyen kísérleti alátámasztást adott egyikünk¹ V_2O_5 egykristályok esetében. Ezeknél a vezetőképesség hőmérsékleti koefficiensére 0,40 eV érték adódott. Ez az érték kiadódott abszorpció mérésekből is. Meg kell itt még jegyezni, hogy a zavaró nívók elektromos és optikai úton való meghatározásának lehetőségét *Gudden*² és mások is, már fel is adták. A különböző kutatóknál az a vélemény alakult ki, hogy az elektronleválasztás mechanizmusa egészen más az optikai abszorpciónál és más a termikus esetben. Az utóbbi alatt értjük pl. az elektromos vezetést. Nagyon erős támaszai voltak ennek az elgondolásnak *Smakula*³ mérési eredményei. *Smakula* mérte színes alkálihalogenid kristályoknál az elektron mozgékonyágát és annak hőmérsékleti koefficiensét

a $v = v_0 e^{-\frac{\Delta B}{kT}}$ formulából kiszámította. Ezt a ΔB értéket nevezte „termikus kioldási munká“-nak. Ha ezeket a kioldási munka értékeket összehasonlítjuk az alkálihalogenidek F centrumainak abszorpciós maximum értékével, úgy minden esetben eltérést kapunk. F centrumok („festék centrumok“) alatt értjük azokat a centrumokat (centrum alatt az elektron egy bizonyos kötés-módja értendő), amelyek a megfelelő alkálihalogenidek legtipikusabb színezését okozzák. Ez a különbség azért van meg, mert legelőször is *Smakula* értékeihez képest kétszeres ΔB értékkel kell számolni. A félvezetőknél ugyanis

különböző problémáknál szerepet játszik az $e^{-\frac{\Delta B}{2kT}}$ faktor. Ez a különbség onnan származik, hogy *Smakula* a $v = v_0 e^{-\frac{\Delta B}{kT}}$ formulával számolt. Valójában a félvezetőknél a Fermi-féle statisztikát alkalkalmazzuk és ez esetben a $v = v_0 e^{-\frac{\Delta B}{2kT}}$ formulával kell számolni. Ezzel a formulával számolva kétszeres ΔB értéket nyerünk. Ha *Smakula* ΔB értékeinek kétszeresével számolunk, akkor valóban olyan értékeket kapunk, amelyek optikai úton (abszorpció, foszforeszcencia-emisszió) is meghaphatók. Így pl. NaCl esetében $2 \cdot 0,94 = 1,88$ eV. Optikailag viszont kék kősonál $1,94$ eV értéket nyerünk. KCl kristályok esetében $2 \cdot 1,00 = 2,00$ eV érték adódik, optikailag viszont foszforeszcencia-emisszióból $2,02$ eV nyerhető. Itt meg kell jegyezni azt, hogy ha sárga színű — additive festett — NaCl-t, vagy a viola színű KCl kristályt felmelegítjük kb. $500\text{--}600$ C°-ra, azt tapasztaljuk, hogy ekkor a kristályok kék színűek lesznek, amelyeknél az abszorpciós maximumra ezeket az értékeket kapjuk. A *Smakula* által nyert értékek tehát korrigálandók.

Az irodalomban igen sok mérési adat van, amelyeket ha megfelelően átszámolunk elektronvolt értékre, akkor már az említett optikai elektronleváltási munkák sok esetben egyezni fognak a termikus (vezetési mérésekből meghatározott) értékekkel. Az 1. táblázat ilyen irodalmi értékeket tartalmaz. A vezetési adatok *Kassel*, *Gyulai*, *Vészi*, *Tomka*, *Phipps*, *Lansing*, *Cooke*, *Boros* eredményei.

A mérések F centrumokat tartalmazó NaCl, KBr és KCl kristályokon történtek. Mértük a kristályok elektromos vezetőképességét, a vezetőképesség hőmérsékleti függését.

Ha a vezetőképesség hőmérsékleti függését a félvezetőkre vonatkozó $K = Ae^{-\frac{\Delta B}{2kT}}$ (K a specifikus vezetőképesség, T az abszolút hőmérséklet, ΔB a kioldási munka) formula alapján számoljuk, akkor várhatjuk, hogy az F centrumoknak megfelelő kioldási munka értékeket megkapjuk. A legelső és a legfontosabb feladat volt újabb méréseket végezni. Ha az F centrumoknak megfelelő értéket valóban megkapjuk, akkor ebből továbbiak is következnek: akkor lehetséges elektromos úton más zavaró term értékeket is megkapni. A specifikus vezetőképesség mérése áramfeszültség-mérés módszerével történt. A kristályok nagysága: $0,5$ cm² felület, $2\text{--}3$ mm vastagság. A kristályokra grafit elektródákat vittünk fel. A hőmérsékletet az elektromos mérőkályában Haereus-féle CrNi-konstantán hőelemmel mértük precíziós Siemens-féle millivoltmérő segítségével. A vezetési áramot 10^{-10} A érzékenységű tükrös galvanométerrel mértük. A mérések $200\text{--}450$ C° hőmérsékleti határok között történtek. A kristályok elszintelenedését részben ezzel a nem túl magas hőmérséklet választással, részben a mérések egy részénél kettős kommutátor alkalmazásával lehetőleg csökkentettük. Ugyancsak a mérések gyors keresztülvitele

1. TÁBLÁZAT

Optikai és elektromos úton nyert irodalmi értékek a zavaró nivókra az alkálihalogenid kristályoknál

Kristály	Elektromos úton nyert érték eV-ban**	Optikai úton nyert érték		Kutató neve, festés módja, stb.
		m μ -ben	eV-ban	
NaCl	1,73	720	1,73	Röntgenezett kősó abs. <i>Ottmer</i>
	1,93	642	1,93	" " <i>Savostianowa</i>
	1,94	639	1,94	Természetes kék kősó, <i>Gyulai</i>
	1,94	640	1,94	Rádiumozott kősó, <i>Prizbram</i>
	1,95	636	1,96	Röntgenezett só, <i>Savostianowa</i>
		588	2,11	" " <i>Savostianowa</i>
		581	2,13	Additive festett só, <i>Mollwo</i>
	2,16	579	2,14	" " <i>Savostianowa</i> , rádiumozott <i>Prizbram</i>
	2,34	530	2,34	Viola kősó, <i>Gyulai</i>
		524	2,36	Kék kősó, <i>Gyulai</i>
	2,40	520	2,38	Rádiumozott, <i>Prizbram</i>
	2,57	483	2,57	" " <i>Prizbram</i>
	2,66	464	2,67	F centrum, <i>Gyulai</i> , <i>Ottmer</i> , stb.
	2,76	439	2,82	Viola kősó, <i>Gyulai</i>
		438	2,83	Kék kősó, <i>Gyulai</i>
		438	2,83	Forforeszcencia emisszió, <i>Roos</i>
	3,06	403	3,08	Viola kősó, fényelektromos max. <i>Gyulai</i> , foszforeszcencia, <i>Roos</i>
	367	3,38	Viola kősó, <i>Gyulai</i>	
3,41	364	3,41	Kék kősó, <i>Gyulai</i>	
KBr	1,99	630	1,97	F centrum, <i>Ottmer</i> , stb.
	2,48	498	2,49	Foszforeszcencia, <i>Roos</i>
	2,69	453	2,74	"
	2,86	435	2,85	"
	3,00	416	2,97	"
	3,10	401	3,09	"
KCl		815	1,52	F' centrum, <i>Ottmer</i> , <i>Molnár</i>
		727	1,71	Abszorpció, <i>Molnár</i> , <i>Seitz</i>
	1,91	665	1,86	" <i>Molnár</i>
	2,06	605	2,05	Foszforeszcencia, <i>Roos</i>
	2,20	566	2,19	F centrum, <i>Ottmer</i> , stb.
		472	2,63	Foszforeszcencia, <i>Roos</i>
	2,64	470	2,64	"
		430	2,88	"
	3,01	412	3,02	"
	3,12	397	3,12	"
	3,30	380	3,26	"

** A vezetési értékekből adódó értékek *Kassel*, *Gyulai*, *Vészi*, *Tomka*, *Phipps*, *Lansing*, *Cooke*, *Boros* eredményeiből adódnak, melyek az irodalomban megtalálhatók. L. irodalmi idézetek.

is csökkenti az elszíntelenedést. Ha tehát megfelelő ütemben növekvő vagy csökkenő hőmérséklet mellett egyidejűleg mérjük a vezetési áramot és a hőmérsékletet, ezzel szintén tovább csökkentjük az elszíntelenedést. Ilyen eljárás mellett a mérések ideje lényegesen lerövidíthető. Az ilyen módon végzett méréseknél fellépő esetleges hibák a mérési hibahatárokon belül vannak. Ezt igen gondos kontrollmérésekkel is igazoltuk. Ennek helyessége mellett szólnak különben azok a mérések is, amelyeket lassú ütemben végeztünk, vagy amelyeknél kettős kommutátort használtunk. Végül még meg kell jegyezni, hogy a mérések után a kristályok mind színesek maradtak. Egyes kristályoknál a méréseket többször is megismételtük.

2. TÁBLÁZAT

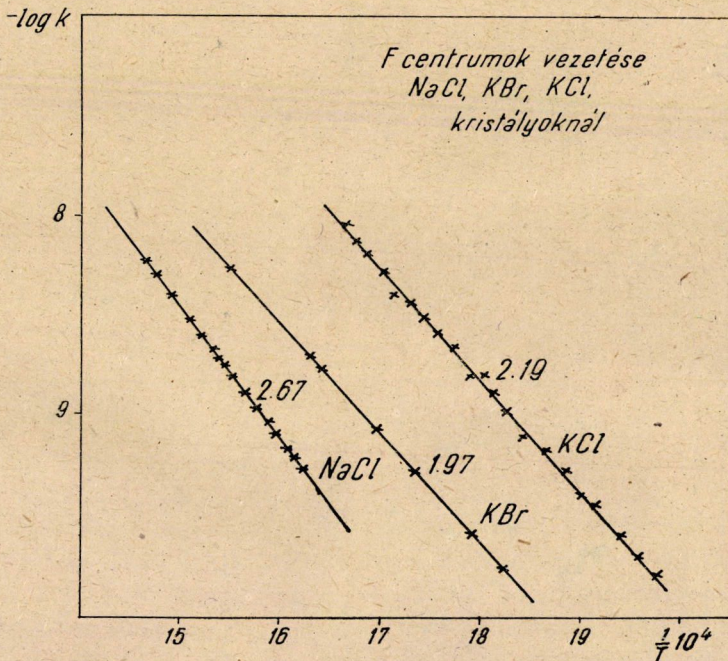
NaCl kristályok F centrumainak megfelelő kioldási munkák

Kristály száma	B	B eV-ban
16	15,440	$2,66 \pm 0,04$
17 Megismételve	15,440 15,540 15,540	$2,66 \pm 0,05$ $2,68 \pm 0,05$ $2,68 \pm 0,05$
18 Megismételve	15,430 15,430	$2,66 \pm 0,04$ $2,66 - 0,04$
19	15,540	$2,68 \pm 0,04$
22 Megismételve	15,440 15,440	$2,66 \pm 0,05$ $2,66 \pm 0,05$
23	15,640	$2,69 \pm 0,05$
25	15,430	$2,66 \pm 0,04$
29	15,440	$2,66 \pm 0,04$

A vezetési mérések ismertetése előtt meg kell említeni azokat a munkákat, amelyek abszorpció, fényelektromos vezetés, valamint foszforeszcencia emisszió segítségével adatokat szolgáltatottak NaCl, KBr és KCl kristályokhoz. Erre vonatkozólag *Eysank, Gyulai, Molnár, Ottmer, Prziham, Roos, Savostianowa* és *Seitz* munkái említhetők meg. Az 1. táblázat megadja az előbb említett kutatók eredményeit hullámhossz értékben, továbbá eV-ra átszámítva.

1. *NaCl kristályok.* A kristályok természetes kősókristályok voltak. Egy részük néhány évvel a mérések előtt, egy részük pedig közvetlenül a mérések előtt volt röntgenézve, egy részüket pedig Na gőzben színeztük. Az F centrumok abszorpciós maximuma $465 m\mu$ -nál van, mely $2,67$ eV-nak felel meg.

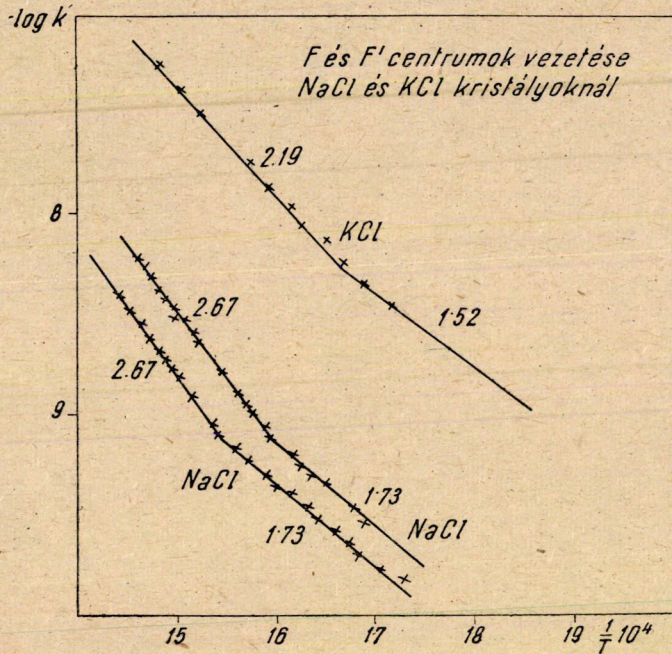
Ilyen kristályoknál Ottmer⁴ 720 $m\mu$ -nál — 1,73 eV — is talált mellékmaximumot (F' centrumok). Az F centrumoknak megfelelő, a vezetőképességi mérésekből számított értékek össze vannak foglalva a 2. táblázatban. A B értékek a van't Hoff-féle $K = Ae^{-\frac{B}{T}}$ formula szerint vannak számítva, amely formula a „szilárd ionvezetők“-nél jól ismeretes. Ezek az értékek azután eV-egységre vannak átszámítva a félvezető formulának megfelelően. A táblázatban az adatok mellett meg van adva a kioldási munkák mérésének átlagos hibája is. Ez legtöbb esetben 2% körül van, ami elég jó mérési pontosság, tekintetbe véve a mérések természetét. A 1. ábrán látható az F centrumoknak megfelelő kioldási munka értékű vezetőképesség — hőmérsékleti függés NaCl és a többi kristályokon. Az ábrázolás az ismert módon történt: — $\log k$ és $1/T$ értékek vannak a koordináta tengelyekre felvíve.



1. ábra

A spec. vezetőképesség hőmérsékleti függése a legtöbb esetben nem adható meg egyetlen egyenessel, hanem egy-, két- vagy három töréssel bíró egyenes szakaszokból álló diagrammal. A törések igen élesek. Ilyen törések számos közleményben találhatók.^{5, 6, 7} Ha ezekre az egyenes szakaszokra vonatkozó B értékeket kiszámítjuk, akkor olyan kioldási munka értékeket kapunk, amelyeket, mint abszorpciós maximumokat kapott meg kék és viola kősó kristályokon Gyulai⁸, valamint más kutatók^{9, 10, 11} különböző módon színezett

kristályokon. A 3. táblázat összefoglalva megadja ezeket az értékeket. Ezek között megtalálható az F' centrumoknak megfelelő 1,73 eV érték is. Itt meg kell jegyezni, hogy a NaCl, de KCl kristályoknál is gyakorta egymás mellett jelentkezik az F és F' centrumoknak megfelelő értékű temperatura-koefficiens, úgy, mint ahogy abszorpciós méréseknél is parallel szokott ez jelentkezni. A 2. ábra mutatja ezt az eredményt, NaCl és KCl kristályokon.



A kioldási munka értékek között szerepel a Gyulai által kék kőson talált négy abszorpciós maximumnak megfelelő érték: 1,94, 2,36, 2,83, 3,41 eV. Ezekon kívül még néhány más érték is, melyek azonban optikai mérésekből ugyancsak ismeretesek. A táblázatban meg van adva, hogyan nyerhetők ezek az értékek, valamint a kutató neve is. Ezekhez az eredményekhez meg kell még a következőket jegyezni: a kőso (szintelen) alacsony hőmérsékleti vezetéseinek B kioldási munkája 10,300 (Smekal). Ezt az értéket átszámítva 1,78 eV-t kapunk. A különbség tehát e között és az Ottmer-féle F' centrumoknak megfelelő érték között 0,05 eV. A színes kristályoknál talált értékek jobban felelnek meg az Ottmer-féle mellékmaximumnak. A Gyulai által kék kősonál talált négy maximum közül (1,94, 2,36, 2,83, 3,41) három igen gyakran fordul elő, a harmadik — 2,83 eV — azonban ritkábban. Az utóbbi értéknek megfelelő abszorpció is igen gyenge. A 3,41 eV értékhez meg kell még jegyezni azt, hogy Vészi¹² disszertációjában 19,800—19,900 értékeket kapott. Az ő kris-

3. TÁBLÁZAT

NaCl kristályok egyéb optikai értékének megfelelő kioldási munkák

Kristály száma	B	B eV-ban átlagos hibával	Optikailag talált érték
16	10,050	1,73 ± 0,02	1,73 abszorpciós maximum <i>Ottmer</i>
17	9,910	1,71 ± 0,04	
Megismételve	9,750	1,69 0,04	
18	10,180	1,75 0,03	
Megismételve	10,180	1,75 0,03	
19	10,000	1,72 0,03	
22	10,090	1,74 0,03	
23	10,170	1,75 0,03	
Megismételve	9,920	1,71 0,03	
24	10,000	1,72 0,03	
25	10,000	1,72 0,03	
29	10,000	1,72 0,03	
17	11,220	1,93 ± 0,04	1,94 abszorpciós maximum <i>Gyulai, Savostianowa</i> <i>Prizbram</i> 1,88 (2,0,94) elektronmozgékonyság, <i>Smakula</i>
Megismételve	11,260	1,94 0,04	
19	11,270	1,94 0,04	
21	11,170	1,93 0,04	
26	10,950	1,89 0,05	
28	11,170	1,23 0,04	
Megismételve	11,170	1,93 0,04	
16	12,500	2,15 0,05	2,15 abszorpciós maximum <i>Prizbram, Savostianowa</i>
17	12,300	2,11 0,05	
17	13,600	2,34 0,04	2,34 abszorpciós maximum viola 2,36 abszorpciós maximum kék kristályokon, <i>Gyulai</i>
19	13,610	2,34 0,06	
20	13,450	2,32 0,06	
Megismételve	13,450	2,32 0,06	
21	13,610	2,34 0,06	
23	12,540	2,33 0,06	
24	13,770	2,37 0,05	
28	13,600	2,34 0,05	
24	14,850	2,56 0,06	2,57 abszorpciós maximum, <i>Prizbram</i>
28	14,930	2,57 0,05	
29	14,930	2,57 0,05	
20	16,660	2,87 0,06	2,83 abs. max. kék és viola kristályo- kon <i>Gyulai</i> ; foszforeszcencia emisz- zió, <i>Roos</i>
Megismételve	16,660	2,87 0,06	
23	16,410	2,83 0,05	
17	17,970	3,10 0,09	3,07 foszforeszcencia, <i>Roos</i> fényelektromos max. viola kristályo- kon, <i>Gyulai</i>
19	17,830	3,07 0,07	
24	17,830	3,07 0,07	
17	19,830	3,42 0,06	3,41 abszorpciós max. fényelektromos áram max. kék kőson, <i>Gyulai</i>
Megismételve	19,830	3,42 0,06	
20	19,840	3,42 0,07	
21	19,830	3,42 0,08	
Megismételve	19,830	3,42 0,08	
23	19,820	3,42 0,09	
29	19,660	3,39 0,08	
17	23,000	3,97 0,08	Kiegészítő term 3,41
20	23,000	3,97 0,08	

tályai mesterségesek, szintelenek voltak. Ugyanilyen eredményeket kapott \bar{O} NaCl pasztillákon is. Tíz különböző preparátum közül hétnél kapott magas hőmérsékleten ilyen értéket. Diszertációjában ezek az értékek nincsenek kiszámítva, abban csak az összetartozó hőmérséklet és spec. vezetőképesség értékek vannak táblázatban összeállítva. Ha most a B értékeket kiszámítjuk és a félvezető formulát felhasználjuk, akkor ugyanazt a 3,41 eV értékeket kapjuk, amit a színes kristályoknál nyertünk. Ugyanilyen eredményre jutunk, ha a Landolt—Börnstein táblázatok vonatkozó adatait számoljuk át. A táblázat *Phipps, Lansing és Cooke*¹³ eredményeit adja. Az \bar{O} méréseiből is kiadódik a 3,41-es érték, valamint alacsony hőmérsékleten még az 1,94 eV-os eredmény is. Ugyanilyen eredményeket kapunk, ha a Smekal-féle referátum⁷ értékeit átszámoljuk. Ezek között van olyan is, amelyik az F centrumoknak felel meg. Az intézetben folyó vizsgálatok számos ilyen eredményt adtak. Ezekről a közeljövőben külön közleményben fogunk beszámolni. Ezen eredmények után kétségtelenül fel kell tenni a kérdést, nem szükséges-e revízió alá venni az alkáli-halogenidek saját vezetésének mechanizmusáról eddigelé alkotott képünket. A vezetésről alkotott mostani felfogás — véleményünk szerint — azért szorul revízióra, mert a kioldási munkáknak a sokféleségét és ezeknek az optikai adatokkal való ilyen egyezését a régi ionos vezetési felfogással megmagyarázni nem lehet. A 3. táblázatban még szerepel egy érték 23,000 (3,97 eV), amelyik a tiszta kristályok magas hőmérsékleti vezetésénél is jól ismeretes.

Ezt az értéket a tiszta kristályoknál csak magasabb hőmérsékleteken (500 °C fölött) nyerhetjük. Ennek az értéknek megfelelő optikai érték az irodalomban nem található. Az abszorpcióban nyerhető legmagasabb érték — az ú. n. U centrumoktól eltekintve — 3,41 eV. A 3,41 és 3,97 értékek összege 7,38 eV-ot ad. Ez az összeg nagy megközelítéssel megadja a vezetési sáv és a valencia sáv távolságát.¹⁴ A vezetési sáv alsó szélétől 3,41 eV távolságban lévő zavaró nívó tehát kettős szerepet játszhat. Felesleg vezetésnél elektronokat szolgáltat a vezetési sávba. A 3,97 eV-nak megfelelő kioldási munkát úgy próbálhatjuk értelmezni, hogy az előbb megadott nívó a valencia sávból vesz fel elektronokat. Ebben az esetben a valencia sávnak van szerepe a vezetésben, azaz „defekt vezetés” lép fel. Ennek a feltevésnek helyességét igazolni látszik az a tény, hogy a 3,97 eV értéket *Gyulai* kék kősón megkapta fényelektromos méréseknél, mint „quantumszerű maximumot”.

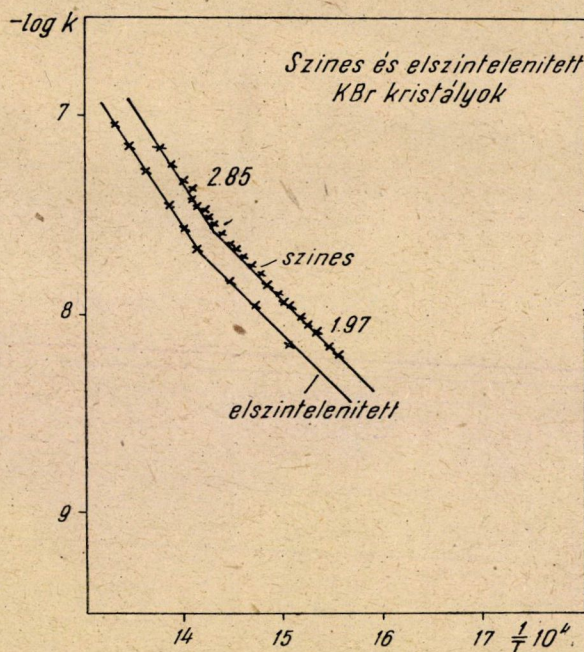
2. *KBr kristályok.* A kristályok egy része a göttingeni Fizikai Intézetből származik, másrészt az itteni intézetben magunk is növesztettünk és festettünk kristályokat. Az F centrumoknak megfelelő abszorpciós maximum az irodalom szerint $630 m\mu = 1,97$ eV. A 4. táblázatban össze vannak foglalva a vezetéssel meghatározott és az F centrumoknak megfelelő kioldási munka értékek. A 13. és 14. kristályok mérés után árammal vannak elszíntelenítve. Az elszíntelenítés után újra mértünk ezeken a kristályokon. Ezeknél az elszíntelenített kristályoknál a van't Hoff-féle egyenesek párhuzamosan mennek a színes kristályok

4. TÁBLÁZAT

KBr kristályok F centrumainak megfelelő kioldási munkák

Kristály száma	B	B eV-ban	átlagos hiba
1	11,430	1,97	$\pm 0,04$
5	11,380	1,96	0,04
13	11,380	1,96	0,04
Megismételve,	11,450	1,97	0,04
Árammal elszintelenítve	11,450	1,97	0,04
14	11,380	1,96	0,03
Megismételve,	11,380	1,96	0,03
Árammal elszintelenítve	11,480	1,96	0,04

egyenesesével. A specifikus vezetőképesség-értékek azonban kisebbek. Az elszintelenített kristályokon ugyanolyan kioldási munka értékeket kapunk, mint a színes kristályokon. Az 5. táblázatban más kioldási munka értékek vannak összefoglalva. Ezek egyike megfelel a Smakula által talált érték kétszeresének $2 \cdot 0,84 = 1,68$ eV-nak. Más értékek megfelelnek olyan értékeknek, amelyeket Roos¹⁵ foszforeszcencia emissziójánál kapott. Az elszintelenített kristályok itt is úgy viselkednek, mint a színesek.



3. ábra

5. TÁBLÁZAT

KBr kristályok egyéb optikai értékének megfelelő kioldási munkák

Kristály száma	B	B eV-ban	Más úton nyert érték
11 12 13	9,580 9,750 9,620	1,65 ± 0,03 1,68 0,03 1,66 0,03	1,68 elektron mozgékonyaságból <i>Smakula</i>
14	14,380	2,48 0,04	2,49 foszforeszcencia, <i>Roos</i>
5 12 elszintelenítve	15,970 15,750 15,860	2,75 0,04 2,71 0,04 2,74 0,04	2,74 foszforeszcencia
13 elszintelenítve	16,550 16,550	2,85 0,06 2,85 0,07	2,85 foszforeszcencia

6. TÁBLÁZAT

KCl kristályok kioldási munka értékei

Kristály száma	B	B eV-ban	Más úton nyert érték
9 Megismételve " 10	9,010 8,850 8,850 8,880	1,55 1,52 1,52 1,53	1,52 abszorpciós maximum <i>Ottmer, Seitz, Molnár</i>
8 10	10,000 10,000	1,72 1,72	1,70 abs. maximum, <i>Pick</i> 1,71 " " <i>Seitz és Molnár</i>
3 9 15	10,850 10,750 10,750	1,87 1,85 1,85	1,86 abs. maximum, <i>Seitz és Molnár</i>
3	12,550	2,07	2,05 foszforeszcencia
3 8 9 Megismételve 15 Megismételve, elszintelenítve, ezt ismételve	12,560 12,430 12,750 12,630 12,540 12,650 12,630 12,630	2,16 2,14 2,20 2,18 2,16 2,18 2,18 2,18	2,19 az <i>F</i> centrumok abszorpciós maximuma
8 15 Megismételve 3	15,220 15,260 15,300 16,660	2,62 2,63 2,64 2,87	2,63 foszforeszcencia 2,87 foszforeszcencia

3. *KCl kristályok.* E kristályok egy része szintén göttingeni eredetű és festésű. Másrészüik saját növesztésű és additív festésű. Az F centrumoknak megfelelő érték $563\text{ m}\mu$, $2,19\text{ eV}$. Az eredmények össze vannak foglalva a 6. táblázatban, továbbá az 1. és 2. ábrán. Az F centrumoknak megfelelő értékek itt is megtalálhatók; azután az Ottmer-féle mellékmaximum (F' centrum) némely esetben az F centrumok mellett. Továbbá más kutatók által talált értékek is^{15,16,17}. A 15. kristályt árammal elszíntelenítettük. Újra mérve ez esetben ismét megkaptuk az F centrumnak megfelelő értéket.

*Gyulai*⁵ ilyen elszíntelenített kristályoknál ugyancsak kapott ilyen értékeket: $12,500 = 2,16\text{ eV}$, $12,780 = 2,20\text{ eV}$. Ezek mellett további olyanokat, amelyek színeseknél is megkaphatók: $11980 \sim 2,06\text{ eV}$, $15,320 \sim 2,64\text{ eV}$.

Összefoglalás:

1. Mértük színezett NaCl, KBr és KCl kristályok vezetőképességének hőmérsékleti függését. Valamennyi fajta kristálynál megkaptuk az F centrumoknak megfelelő értéket. Meg lehet tehát állapítani, hogy a félvezetőknel a zavaró termék elektromos úton meghatározhatók.

2. Az F centrumok mellett más olyan energia értékeket is nyertünk, amelyek optikai mérésekből (abszorpció, foszforeszcencia, emisszió) szintén megkaphatók.

3. A vezetés hőmérsékleti függése legtöbbször tört egyenesekkel adható meg, ahol a törések élesek.

4. NaCl kristályoknál az F és F' centrumok mellett kaptunk olyan értékeket, amelyek *Gyulai* kék kősnál végzett abszorpciós mérése négy abszorpciós maximumának felelnek meg.

5. Az áram által elszíntelenített kristályoknál ugyancsak megkaphatók az F centrumoknak megfelelő értékek. Ezek az eredmények az alkálihalogenid kristályok vezetéséről alkotott mai képünkkel igen nehezen érthetők meg.

A méréseket a Budapesti Műszaki Egyetem Kísérleti Fizikai Intézetében végeztük. E helyen is köszönetet kell mondanunk az Intézet igazgatójának, dr Gyulai Zoltán a M. T. A. lev. tagjának, aki állandó érdeklődésével és értékes tanácsaival segítségünkre volt.

*Budapesti Műszaki Egyetem
Kísérleti Fizikai Intézete.*

IRODALOM

- ¹ *Boros J.*: ZS. f. Phys. 126, (1949), 721; Fizikai Szemle II. évf. (1952) 34.
- ² *B. Gudden* und *W. Schottky*: Phys. ZS. 36, (1935), 717.
- ³ *A. Smakula*: Gött. Nachr. 55, 1934.
- ⁴ *R. Ottmer*: ZS. f. Phys. 46, (1928), 788.
- ⁵ *Gyulai Z.*: ZS. f. Phys. 113, (1939), 28.
- ⁶ *Phipps and Partridge*: Journ. of Am. Chem. Soc. 51, (1929), 1331.
- ⁷ *A. Smekal*: Hb. d. Phys. XXIV. 2, 882.
- ⁸ *Gyulai Z.*: ZS. f. Phys. 35, (1926), 411.
- ⁹ *E. Eysank*: Sitz. Ber. d. Wien. Ak. II. a. 145, (1936), 387.
- ¹⁰ *K. Przibram*: ZS. f. Phys. 102, (1936), 331.
- ¹¹ *M Savostianowa*: ZS. f. Phys. 64, (1930), 262.
- ¹² *G. Vészi*: Diszertáció, Göttingen, 1926.
- ¹³ *Phipps, Lansing and Cooke*: Journ. of. Am. Chem. Soc. 48, (1926), 122.
- ¹⁴ *de Boer*: Elektronemission und Absorption. S. 182.
- ¹⁵ *W. Roos*: Ann. d. Phys. (5) 20, (1934), 783.
- ¹⁶ *O. Pick*: Ann. d. Phys. (5) 51, (1938), 365.
- ¹⁷ *F. Seitz*: Rew. of. Mod. Phys. 18, (1946), 384.