

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Karel Vacek

Barevná centra v alkalických a stříbrných halogenidech [Dokončení]

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 2 (1957), No. 2, 189--197

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137288>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1957

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

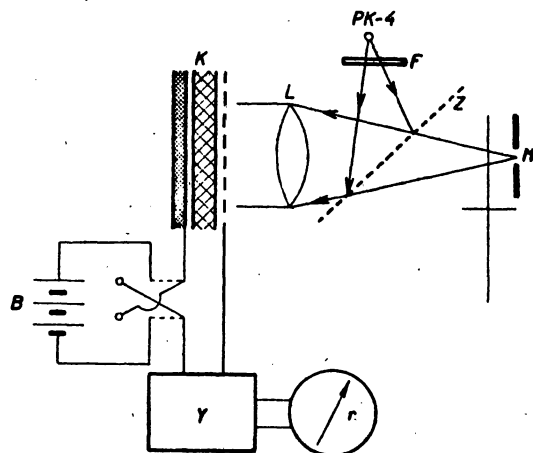
BAREVNÁ CENTRA V ALKALICKÝCH A STRÍBRNÝCH HALOGENIDECH

(Dokončení)

2. Těto metody se začalo používat v širším měřítku hlavně tehdy, když se zjistil úzký vztah mezi luminiscencí a elektroemisí vzbuzených krystalů. Většina měření byla opět provedena na krystalech alkalických a ostatních halogenidů. Oba jevy se zvláště studují v závislosti na změně teploty (thermoemise a thermoluminiscence), v závislosti na druhu a době ozáření a pod. Dnes se používají ke studiu barevných center v alkalických halogenidech. Prvé práce v tomto směru (exoemise) urychlil Kramer [38]. Současnou kombinaci thermoemise a thermoluminiscence propracoval Bohun [39]. Z ostatních uveřejněných prací chtěli bychom upozornit na práci Lepperovu [40]. Velkou výhodou uvedených metod ve srovnání s metodami optickými je jejich vyšší citlivost.

3. Kondensátorová metoda umožňuje studovat vnitřní fotoefekt u polovodičů, jejichž elektroodvodnost se mění ve velmi širokých mezích. Změření vnitřního fotoefektu bez současného propouštění proudu vzorkem uvožňuje v řadě případů oddělit primární fotoelektrické procesy od sekundárních. Charakteristické změny fotoelektrické citlivosti, získané při vložení na desky kondensátoru dodatečného vnějšího napětí, bylo použito ke klasifikaci polovodičů. Tuto metodu vypracovali Pucejko s Těreninem [41]. Doba života nositelů proudu nesmí být ovšem delší než 10^{-2} sek. Schema aparatury je na obrázku 3. Uvedenou metodou měřil spektrální rozdělení fotovodivosti Pucejko [42] a Mejklar s Pucejkem [43] na AgBr, při čemž autoři získané výsledky porovnali se současně změřenými absorpčními křivkami. Z polohy absorpčních pásů a pásů fotoelektrické citlivosti usoudili, že tyto pásy odpovídají centřům, analogickým F centřům v alkalických halogenidech.

4. Vliv ionisujícího záření na pevné látky a jevy s tím souvisící byly v posledních letech studovány na mnoha místech. Zvláště intenzivní studium bylo věnováno vlivu ionisujícího záření na polovodiče (Ge, Si) a na alkalické halogenidy. Experimentálních prací na stříbrných halogenidech, týkajících se tohoto problému, je mnohem méně. Vliv



Obr. 3
 PK-4 — rtuťová lampa, F — interferenční filtr, Z — otočné poloprůhledné platinové zrcadlo, skloněné o 45° k optické ose, M — monochromátor, K — kondensátor, B — zdroj napětí, Y — zesilovač, r — registrace, L — čočka.

ionisujícího záření na stříbrné halogenidy může být trojího druhu (nebereme-li v úvahu teplotní a strukturální faktory): dochází buď přímo k transmutaci iontů, čímž uměle vytváříme nečistoty v mřížce základní látky, nebo k přeměně některých iontů mřížky v radioaktivní nebo konečně k značné změně koncentrace volných elektronů, děr, Ag_i^+ a pod. Cohen se spolupracovníky [44] vyvolali ozářením krystalu AgCl pomalými neutrony přeměnu stabilního isotopu stříbra (^{107}Ag , ^{109}Ag) na radioaktivní ($^{108}\text{Ag}^*$, $^{110}\text{Ag}^*$) a na takto vzniklých radioaktivních iontech studovali difuzi intersticiálních iontů stříbra. Intensivně byla studována poslední skupina jevů, doprovázejících absorpci ionisujícího záření na Cornwallské universitě. Ozařováním krystalů AgCl elektrony studoval Smith [43] pohyblivost děr a elektronů v AgCl a střední dobu života děr v zaplněné zóně. Schema většiny těchto experimentálních zařízení je na obráze 4. Podobného zapojení použil k měřením na AgCl Brown [46] a Yamahawa na AgBr [47]. Uvedené metody bývají označovány jako metody krystalových počítačů.

Jak je vidět z obr. 4, je na elektrody přiloženo přes isolační odpor R vnější napětí V . Kapacita C představuje složenou kapacitu krystalu, svodu a vstupu předzesilovače. U první elektrody nastává účinkem paprsků ionisace (páry elektron—díra). Tím s druhé elektrody (positivní) vniknou do krystalu sekundární či vodivostní elektrony, čímž je převeden malý náboj q na kapacitu C . Při dosti velké vstupní časové konstantě zesilovače vznikne na vstupu zesilovače příslušný napětový puls $v = q/C$. Časová závislost nabítených pulsů q se dá odvodit za zjednodušujících předpokladů:

1. Všechny dvojice (n_0) elektron—díra jsou okamžitě uvolněny v čase $t = 0$ u první elektrody, kde $x = 0$.

2. Existuje v krystalu jednotné elektrické pole $E = V/d$, kde d je tloušťka vzorku.

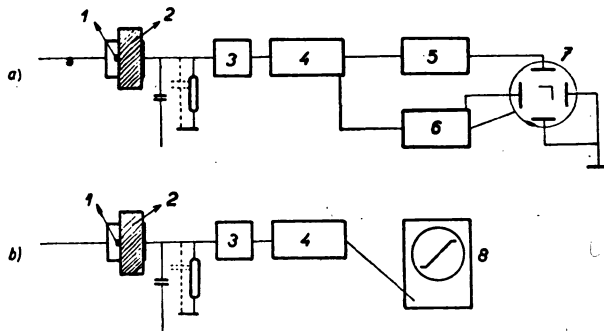
3. V objemu krystalu je jednotná hustota elektronových pastí.

Průměrná volná dráha w , kterou urazí vodivostní elektron, dříve než je zachycen, se rovná $w = \mu ET$, kde μ je pohyblivost elektronu a T průměrná doba mezi zachyceními. Tepelné uvolňování elektronů z pastí se zanedbává. Počet elektronů volně se pohybujících po ionisaci v čase t je dán výrazem

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (16)$$

Množství náboje převedeného na elektrody pohybem n elektronů o malou vzdálenost dx je

$$dq = n e dx/d. \quad (17)$$



Obr. 4.

1 — zdroj Po nebo RaE , 2 — krystal, 3 — předzesilovač, 4 — hlavní zesilovač, 5 — regulace amplitudy, 6 — regulace horizontálního jasu, 7 — obrazovka osciloskopu, 8 — osciloskop.

Pomocí substituce $dx = \mu E dt$ vypočteme celkový náboj $q(t)$ integrací dq od 0 do t :

$$q(t) = \frac{n_0 e \mu E}{d} \int_0^t e^{-t/T} dt. \quad (18)$$

Vyjádříme-li (18) pomocí w , dostaneme výraz

$$q(t) = (n_0 e w/d) (1 - e^{-\mu E t/w}), \quad (19)$$

který je použitelný pro časy $t \leq d/\mu E$. Pro větší časy je celkový náboj dán

$$Q = (n_0 e w/d) (1 - e^{-d/w}). \quad (20)$$

V případě, že zachycení elektronů je málo důležité a w je velmi velké, takže $\mu E t \ll w$, (19) se zjednoduší na

$$q(t) \simeq (n_0 e \mu E/d) t. \quad (21)$$

V tomto případě mají nábojové pulsy přibližně lineární průběh až do doby $t_d = \frac{d}{\mu E}$, odpovídající převedení n_0 elektronů. Theoreticky se dá změřením času t_d vypočítat pohyblivost ze vztahu

$$\mu = \frac{d}{E t_d}. \quad (22)$$

V případě, že elektrony jsou trvale zachyceny, umožňuje studium obrazu pulsu na stínítku oscilografu stanovit volnou dráhu w . Určí se veličina t_1 , vycházející z průsečíku dvou přímk (to jest přímk vycházející z počátečního sklonu pulsu a přímk vycházející z konečné výšky pulsu, viz obraz 5). Definujeme-li nyní t_1 tak, že $Q = q'(0) t_1$, kde $q'(0)$ je sklon pulsu v čase $t = 0$, získáme z přibližného vztahu (21) vztah

$$q'(0) = n_0 e \mu \frac{E}{d}. \quad (23)$$

Vynásobením (23) hodnotou t_1 a použitím vztahu (20), získáme výraz nezávislý na n_0

$$w (1 - e^{-\frac{d}{w}}) = \mu E t_1. \quad (24)$$

Pro temperované vzorky AgCl získal Brown výsledky:

d (cm)	$\frac{w}{E}$ (cm ² /volt)	Teplota (°K)	(cm ² /volt/sek)
0,408	$8,2 \cdot 10^{-5}$	86 ± 3	274 ± 13
0,462	$1,4 \cdot 10^{-4}$	86	300
0,650	$2 \cdot 10^{-4}$	86	268

C

Optické metody při studiu latentního obrazu doznaly poměrně největšího rozšíření a historicky společně s elektrickými metodami tvořily východisko studia daného problému. Zde se zmíníme jen o třech nejdůležitějších:

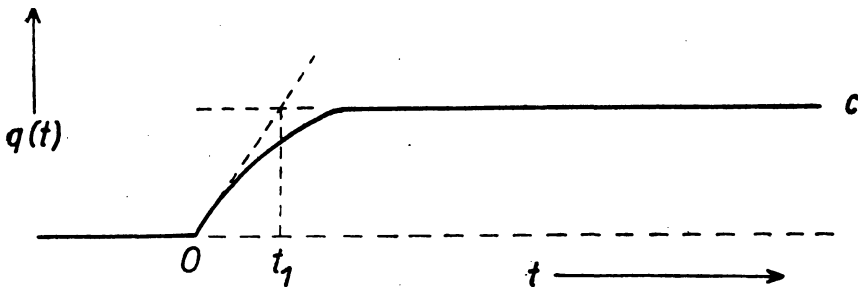
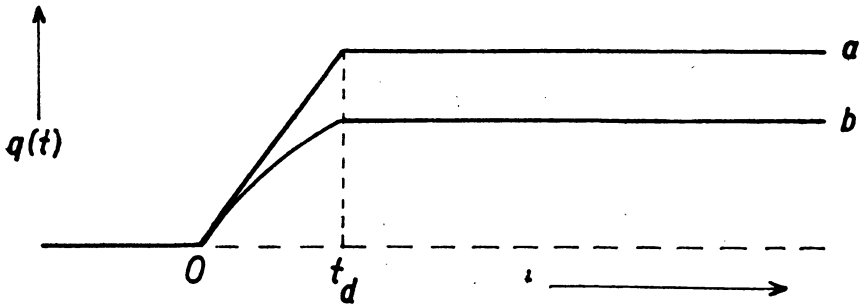
1. Studium absorpčních spekter.
2. Studium luminiscence.
3. Sensitometrické fotografické metody.

1. Experimentální studium absorpčních spekter alkalických a stříbrných halogenidů, zbarvených působením světla, bylo většinou prováděno na tenkých monokrystalických i polykrystalických vrstvách, získaných z taveniny či napařením. Počáteční měření byla prováděna na visuálních spektrofotometrech, nejčastěji na Königově-Martensově spektrofotometru. Tak pracovala na příklad M. Savostianova [48]. Pozdější měření byla prováděna dvěma způsoby:

a) s monochromátem pro určitou oblast, před jehož výstupní štěrbinou se umístil měřený vzorek a za nějž byl dán buď fotometr, bolometr či jiný měřicí přístroj,

b) se spektrografem pro příslušný požadovaný obor, před jehož štěrbinou se umístila studovaná krystalická vrstva a registrace rozloženého záření se prováděla fotograficky, bolometricky či fotocelou.

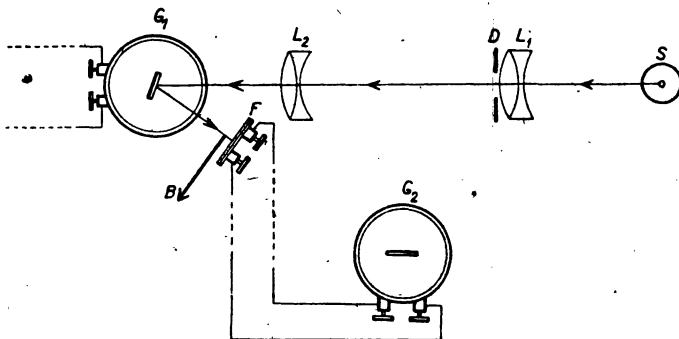
Zařízení uvedená pod a) používali na př. Pohl se spolupracovníky [33], Fesefeldt [49] a jiní. Během dalších let byly všechny visuální metody nahrazeny metodami objektivními. V uvedených experimentálních zařízeních bylo záření prošlé vzorkem zachyceno fotocelou či fotonásobičem, zesíleno v dalších elektronických členech a registrováno na příslušných registračních zařízeních. Tím se podstatně urychlila měřicí doba, výsledky se zpřesnily a staly se objektivnějšími. S podobným zařízením pracuje na př. Stasiw [50], dnešní škola v Göttingen [51] a mnoho jiných autorů [52]. Zajímavou variantu zvýšení citlivosti této metody, bez užití nákladných elektronických aparatur,



Obr. 5.

navrhl Kirrilov [53]. Fotonásobič, na nějž dopadá monochromatické záření prošlé vzorkem, je zapojen na tak zvané fotorelé, jehož schema je na obr. 6. Autor jím pozoroval t. zv. jemnou strukturu v absorpčním spektru stříbrných halogenidů a při dvoustupňovém zapojení dosáhl na aparaturu citlivosti 10^{-10} A.

I když poslední typy těchto měřicích aparatur se rozrostly do velkých rozměrů a výsledky měření se staly velmi přesné, mají tato měření své nedostatky. Předně dosti dlouhou dobu měření, střední citlivost (proměřovaná zbarvení musí být poměrně velká) a hlavně



Obr. 6.

G_1 — galvanometr, připojený na fotonásobič, G_2 — registrační galvanometr, S — světelný zdroj, L_1, L_2 — čočky, B, D — clony, F — fotoelement.

to, že průchodem světla vzorkem během měření dochází k nepatrnému odbourávání proměřovaného zbarvení. Tomuto poslednímu nedostatku nedá se zabránit ani tím, jak to doposud dělá většina experimentátorů, že se současně proměřuje zbarvený a nezbarvený vzorek, v obou případech se stejnou biografií (t. zv. diferenční metoda). Na to upozornila Stasiwova práce [54].

2. Měření byla prováděna většinou na monokrystalických či polykrystalických vrstvách halogenidů, připravených z taveniny nebo na fotografických materiálech při teplotách kapalného vzduchu. Experimentální aparatury byly obdobné jako v odstavci 1) s tím rozdílem, že budící záření se nachází v ultrafialovém konci spektra. Tímto zařízením bylo studováno ovšem jen rozložení a intenzita luminiscenčního záření, zatím co zhášení se studovalo zařízením, která byla již popsána. Uvedenými metodami pracovali na příklad Burton a Halama [55], Golub [56], Dorfner [57], a jiní [58]. Měření polarisace luminiscenčního záření na stříbrných halogenidech, pokud je nám známo, konána nebyla. Závěrem lze říci, že velkým nedostatkem této metody je, že intenzita sekundárního záření je velmi slabá a klesá silně při přechodu od fotografických emulzí na monokrystaly, čímž se měření buď značně prodlužují nebo zatěžují velkými měřicími chybami.

3. Těchto metod se hlavně používá při studiu latentního obrazu na fotografických materiálech. Jejich předmětem bývají různé tak zvané fotografické efekty (Herschellův a pod.) nebo platnost a odchylky od tak zvaného recipročního zákona, podle něhož zčernání, vyvolané ve fotografické vrstvě absorbovaným zářením, závisí na velikosti expozice. Expozice, jak známo, se definuje jako součin světelné intenzity a doby ($E = I \cdot t$), po kterou tato působila na citlivou vrstvu. Podle recipročního zákona tedy nezáleží na tom,

realisujeme-li příslušnou expozici dlouhým časem a slabou intenzitou či krátkou dobou a silnou intenzitou. Ke studiu těchto problémů používá se často přerušovaného osvětlení, osvětlení červeným světlem a pod. Všechna měření a vyhodnocování měření se dějí fotografickou sensitometrií. Podrobnější informace jsou udány v pramenech [59, 60, 61]. Nevýhodou těchto metod přes jejich velkou citlivost je způsob jejich zjišťování studovaných změn (chemické vyvolávání), kdy může dojít k značnému skreslení.

Z ostatních metod stojí za zmínku měření reflexních spekter. Experimentální metody jsou stejné jako při měření absorpčních spekter. Této metody se často používalo k proměřování vlastností povrchu, adsorpce cizích látek na povrchu a pod. Na směsných krystalech AgBr/AgI byla tato spektra měřena v práci [62].

D

Tato skupina method je velmi rozmanitá. Zhruba ji možno rozdělit na tyto metody:

1. Měření iontové vodivosti čistých a směsných krystalů.
2. Měření difuze iontů.
3. Měření dielektrických ztrát.
4. Měření Hallovy konstanty.
5. Měření magnetické resonance.

1. Měření iontové vodivosti čistých a směsných iontových krystalů byla prováděna hlavně ve 20. letech tohoto století, kdy se rozhodovalo o typu poruch a vodivosti ve stříbrných a alkalických halogenidech. K rozlišení iontové vodivosti od vodivosti elektronové se používalo těchto method:

- a) verifikace Faradayova zákona;
- b) studia křivky proudu v závislosti na napětí,
- c) studia změny vodivosti v bodě tání či zvratu.

Pro stříbrné halogenidy byla přesně ověřena platnost Faradayova zákona, kde transport náboje obstarávají výlučně kationty. Experimentální uspořádání bylo jednoduché — zdroj stejnosměrného napětí, zkoušený vzorek a coulombmetr, vše zapojeno v serii. Praktické provedení bylo ovšem ztíženo tím, že se stříbro vylučovalo na katodě ve formě nití, které prostupovaly celý vzorek, čímž brzy docházelo ke zkratu. Proto se musel katodový prostor oddělovat od anodového vrstvou AgI. Celý soubor prací uveřejnil v tomto oboru Tubandt se spolupracovníky [63, 64]. Zatím co Tubandt pracoval s práškovitými vzorky (stlačenými do tvaru válečku), provedl Lehfeldt [65] tato měření na monokrystalech připravených z taveniny ve vakuu a s dokonalejším experimentálním zařízením. Měření prováděl pro rozmezí teplot -180°C až $+100^{\circ}\text{C}$. Při nižších teplotách konstatoval převládání t. zv. poruchové vodivosti (nečistoty), nad čistou kationtovou vodivostí. Tento dnes známý fakt potvrdily i další práce [66, 67, 68]. Zpřesnění měřicí metodiky vypracoval Teltow se spolupracovníky [69], [70], který měření iontové vodivosti provedl až do bodu tání AgBr a AgCl. Všechny tyto moderní měřicí metody snaží se odstranit polarizační jevy, které doprovázely dřívější měření při použití stejnosměrného proudu, a užívají vysokonapětových pulsů různého průběhu (obdélníkových) [71].

2. Této metody používá se hlavně ke studiu difuze cizích iontů v krystalové mřížce. Experimentální uspořádání se prakticky neliší od měřicích method iontové vodivosti. V posledních letech se hodně používá radioaktivních atomů a iontů. Podrobné výsledky jsou uvedeny v pracích Teltowa [72, 73] a jiných [74]. Vzhledem k tomu, že látka, v jejíž mřížce se provádí studium difuze, nemůže být absolutně čistá, jsou získané výsled-

ky vlivem příměsné vodivosti (bez použití radioaktivních izotopů) dosti problematické.

3. Měření dielektrických vlastností iontových krystalů v poslední době se rozrostlo hlavně u alkalických halogenidů [75, 76]. Měření dielektrické konstanty a ztrátového úhlu stříbrných halogenidů byla prováděna stejným zařízením jako u alkalických halogenidů. Z těchto prací zaslouží zmínky práce Teltowa a Wilkeho [77]. Tato měření jsou velmi citlivá na přítomnost různých nečistot v krystalu a jsou v přímé závislosti na hodnotě mřížkové energie krystalu.

4. Při výzkumu znečištěných iontových krystalů se snažíme změřit Hallův jev, neboť porovnáním výsledků měření s měřeními elektrické vodivosti se dá určit hustota a znamení nositelů proudu i jejich pohyblivost. Podrobný popis experimentálních metod je obsažen v knize Haynese a Schockleye [78]. Na AgCl prvně změřil Hallův jev Haynes methodou popsanou v [78]. Brown [79] měřil Hallův efekt na stejném materiálu při nízkých teplotách Redfieldovou methodou.

5. Methoda nukleární magnetické resonance byla opět převzata z experimentálních metod studia alkalických halogenidů. Ze získaných výsledků se dá soudit na stupeň kovalentní vazby u krystalů a na velikost relaxační doby mřížkového spinu. Podrobný popis měřicí metody byl uveřejněn v práci Massady [80]. Posun této resonance u alkalických halogenidů studoval Watkins [81], u stříbrných halogenidů Kanda [82]. Cohen s Reifem [83] sledovali tento efekt na AgBr se dvěma různými isotopy bromu ^{79}Br a ^{81}Br .

E

Z ostatních method, používaných ke studiu poruch krystalové mříže stříbrných a alkalických halogenidů a tím tedy i latentního obrazu, se zmíníme o dvou:

1. Měření tepelné roztažnosti a specifických tepel.
2. Měření hustoty a mřížkové konstanty.

1. Měření tepelné roztažnosti a specifických tepel stříbrných halogenidů podává jasný obraz o možnostech vzniku mřížkových poruch a tím i o energiích, potřebných ke vzniku těchto poruch. První průkopnickou prací v tomto oboru byla práce Strelkova [84], který mezi jiným zjistil, že u AgCl a AgBr nastává v blízkosti bodu tání intensivní anomální roztažnost. Podobná měření provedl v poslední době i Lawson [85]. Studium specifických molárních tepel stříbrných halogenidů se zabývali Christy a Lawson [86], kteří k tomu používali zařízení, jež navrhl Smith [87]. Podobná měření provedl pro AgBr Kanzaki [88].

2. Z měření hustoty, podobně jako roztažnosti, dá se zjistit koncentrace poruch (vakance a intersticiální ionty) ve studované látce. Měření mřížkové konstanty má vedle toho i ten úkol, že dokazuje, dochází-li při vzniku latentního obrazu k její změně. Měření hustoty bromidu stříbrného a jeho mřížkové konstanty zabýval se v poslední době Berry [89]. Hustotu vypočetl z objemu a váhy vzorku, mřížkovou konstantu zjistil roentgenograficky, oboje podle Straumanise [90]. Obdobná měření na AgBr provedli Keith s Mitchellem [91].

Literatura

- [1] Strouhal Č., *Optika*, Praha, 1919.
- [2] Pohl R. W., Hilsch R., *Zs. f. Phys.*, 68 (1931), 721.
- [3] Pick R., *Zs. f. Elektrochem.*, 56 (1952), 8, 753.
- [4] Seitz F., *Rev. Mod. Phys.*, 18 (1946), 3, 384.
- [5] Seitz F., *Rev. Mod. Phys.*, 26 (1954), 1, 7.

- [6] Gurney R. W., Mott N. F., Proc. Roy. Soc., 164 (1938), 151.
 Gurney R., W., Mott N. F., *Electronic processes in ionic crystals*, Oxford, 1940.
- [7] Pick R., *Fund. Mech. of Phot. Sensitivity*, London, 1952.
- [8] Varley J. H. O., J. Nucl. Eng., 1 (1954), 2, 130.
- [9] Seitz F., J. Phys. Chem., 57 (1953), 8, 737.
- [10] Seitz F., *Introduction to Phys. of Solids*, London, 1944.
- [11] Matyáš Z., *Úvod do kvantové fyziky polovodičů*, ČSAV, Praha, 1954.
- [12] *Pokroky fyziky pevných látek, II.*, ČSAV, 1955.
- [13] Wagner K., Beyer J., Zs. f. Phys. Chem., 32 (1936), 113.
- [14] Tubandt C., *Handbuch der Experiment. phys., Elektrochemie*, 3. díl.
- [15] Yamashita J., Kurosawa T., *Symp. phot. Sensitiv.*, Hakone, 1953.
- [16] Frenkel J., Zs. für Phys., 35 (1926), 625.
- [17] Jost W., J. Chem. Phys. 1 (1933), 466.
- [18] Berry C. R., van Horn M. H., Griffith R. L., Sci. Ind. Phot., 26 (1955), 6, 239.
- [19] Hedges J. M., Mitchell J. W., Phil. Mag., 44 (1953a), 223; 44 (1953b), 357.
- [20] Blakney R. M., Dexter D. L., *Defects in cryst. Solids*, London, 1955, 108.
- [21] Berry Ch. R., Phys. Rev., 97 (1955), 3, 676.
- [22] Blakney R. M., Dexter D. B., Phys. Rev., 97 (1955), 1, 228.
- [23] Seitz F., Rev. Mod. Phys., 23 (1951), 4, 328.
- [24] Cottrell A. Ch., *Progr. in Metal Phys.*, ed. B. Chalmer, 1949, 77.
- [25] Zachoval L., Vacek K., Čs. čas. fys., 4 (1954), 3, 277.
- [26] Seitz F., Sci. Ind. Phot., 25 (1954), 2, 54.
- [27] Tamm I. J., Sov. fysika, 1 (1932), 733.
- [28] Konozenko I. D., UFN, 51 (1954), 4, 590.
- [29] Gyulai Z., Hartly D., Zs. für Phys., 51 (1928), 378.
- [30] Ueta M., Känzig W., Phys. Rev., 97 (1955), 6, 1391.
- [31] Braun A., Čs. čas. fys., 2 (1952), 17.
- [32] Kirillov E. A., Zs. wiss. Phot., 26 (1928), 235.
- [33] Hilsch R., Pohl R. W., Zs. Phys., 64 (1930), 606.
 Hilsch R., Pohl R. W., Zs. Phys., 77 (1932), 421.
- [34] Žuze V. P., Ryvkin S. M., IAN SSSR, 16 (1952), , 93.
- [35] Laškarev V. E., Fedorus G. A., tamtéž, 81.
- [36] Tolstoj N. A., Feofilov P. P., tamtéž, 59.
- [37] Mejklar P. V., ŽETF, 21 (1951), 1, 42.
- [38] Kramer, Z. Phys., 129 (1951), 34.
 Kramer, Z. Phys., 133 (1952), 629.
- [39] Bohun A., Čs. čas. fys., 4 (1954), 427.
 Bohun A., Čs. čas. fys., 5 (1955), 75 a 622.
- [40] Lepper J., Zs. f. Naturforschung, 10 a (1955), 47.
- [41] Pucejko E. K., Těrenin A. N., ŽFCh, 23 (1949), 676.
- [42] Pucejko E. K., Těrenin A. N., DAN SSSR, 70 (1950), 401.
- [43] Pucejko E. K., Izv. AN SSSR, ser. fiz., 16 (1952), 1, 34.
- [44] Pucejko E. A., Mejklar P. V., ŽETF, 21 (1951), 1, 341.
- [45] Cohen S. G., Schmorak M., Sci. Ind. Phot., 26 (1955), 8, 334.
- [46] Smith L., *Poluprovodnikovyje materiály*, Moskva, 1954, 151.
- [47] Brown F. C., Phys. Rev., 97 (1955), 2, 355.
- [48] Yamahawa K. A., Phys. Rev., 82 (1951), 522.
- [49] Savostianova M., UFN, 11 (1931), 451.
- [50] Fěsefeldt H., Zs. Phys., 64 (1930), 741.
- [51] Stasiw O., Zs. Phys., 39 (1951), 1, 130.
- [52] Martienssen W., Zs. für Phys., 131 (1952), 488.
 Pick H., Pohl R. W., Zs. für Naturforsch., 6a (1951), 7, 360.
- [53] Bassani F., Fumi F. G., Nuovo Cim., 1954, 3, 274.
 Bassani F., Fumi F. G., Nuovo Cim., 1955, 2, 114.
- [54] Kirillov E. A., *Tonkaja struktura v spektre pogloščeniya fotochimičeski okraš. galoid. serebra*, AN SSSR, Moskva 1954.
- [55] Seifert G., Stasiw O., Zs. für Phys., 140 (1955), 97.
- [56] Burton, Halama, Farnell, Phil. Mag., 41 (1950), 157 a 545.
- [57] Golub, DAN, 60 (1948), 1153.
- [58] Dorfner K. R., Joos G., Chem. Abstr., 49 (1955), 13, 8715.

- [58] Friedman J. S., Horwitz L., *Sci. Ind. Phot.*, 26 (1955), 4, 173.
[59] Webb J. H., *JOSA*, 44 (1954), 625.
[60] Maerker R. E., *JOSA*, 44 (1954), 625.
[61] Kartužanskij L., *Usp. nauč. fot.*, III (1955), Moskva, 66 a 76.
[62] Raynaud H., Pouradier R., *Sci. Ind. Phot.*, 26 (1955), 6, 206.
[63] Tubandt C., Eggert S., *Zs. für anorg. Chem.*, 110/111 (1920), 196.
[64] Tubandt C., *Zs. für anorg. Chem.* 115 (1921), 105.
[65] Lehfeld W., *Zs. für Phys.*, 85 (1933), 717.
[66] Joffe A., *Zs. für Phys.*, 62 (1930), 730.
[67] Smekal A., *Zs. für Phys. Techn.*, 8 (1927), 561.
[68] Koch E., Wagner C., *Zs. phys. Chem.*, (B), 38 (1937), 295.
[69] Teltow J., *Zs. für Elektrochem.*, 56 (1952), 8, 767.
[70] Schöne E., Stasiw O., Teltow J., *Zs. für phys. Chem.*, 197 (1951), 145.
[71] Yamanaka Ch., Suita T., *J. Phys. Soc. Jap.*, 8 (1953), 274.
[72] Teltow J., *Sci. Ind. Phot.*, 22 (1951), 2, 66.
[73] Teltow J., Ebert J., *Ann. Phys.*, 15 (1955), 5—6, 268.
[74] Murin A., Lurje B., *DAN*, 99 (1954), 1, 53.
[75] Suita T., *Phys. Rev.*, 94 (1954), 6, 1497.
[76] Vorobjev A. A., Krivov M. A., Vodopjanov K. A., *DAN*, 96 (1954), 6, 1135.
[77] Teltow J., Wilke G., *Naturwissenschaft.*, 41 (1954), 18, 423.
[78] Haynes J. R., Schockley W., *Rep. Conf. on Strenght of Sol.*, London, 1948.
[79] Brown F. C., *Phys. Rev.*, 92 (1953), 2, 502.
[80] Masuda, Kanda, *J. Phys. Soc. Jap.*, 9 (1954), 82.
[81] Watkins, Pound, *Phys. Rev.*, 89 (1953), 658.
[82] Kanda T., *J. Phys. Soc. Jap.*, 10 (1955), 2, 85.
[83] Reif F., Cohen M. H., *Def. in Cryst. Solids*, London, 1955, 44.
[84] Strelkov P. G., *Sov. Phys.*, 12 (1937), 77.
[85] Lawson A. W., *Phys. Rev.*, 78 (1950), 2, 185.
[86] Christy R. W., Lawson A. W., *J. Chem. Phys.*, 19 (1951), 4, 517.
[87] Smith C. S., *Am. Inst. Min. Eng. Techn. Publ.*, No 1100.
[88] Kanzaki H., *Phys. Rev.*, 81 (1951), 5, 884.
[89] Berry Ch. R., *Phys. Rev.*, 81 (1951), 3, 422.
[90] Straumanis M. E., *Phys. Rev.*, 92 (1953), 1155.
[91] Keith H. D., Mitchell J. W., *Phil. Mag.*, 42 (1951), 334 a 1331.