

L. B-1213
TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

MATEMAATIKA-LODUSTEADUSKOND

FÜSIKA KATEEDER

A. OBED

ZnS-Cu FOSFOORIDE ERGASTATUD
VÄLJAKIIRITLEMISE SPEKTRI
UURIMINE

Juhendaja:

Füüs.-mat.tead.kand. K.S.REBANE.

TARTU 1958

I S i s s e j u h a t u s :

ZnS-fosfooride püsivus, vastupidavus väliste mõjude suhtes, helenduse intensiivsus ja lihtsad ergastamise tingimused on põhjustanud nende laiaulatusliku kasutamise mitmesugustes tehnika harudes.

ZnS-fosfooride hulgast üheks tähtsamaks on ZnS-Cu. ZnS-Cu fosfooride neeldumisspektri maksimumid asuvad vahemikus 300-360 $m\mu$ ja kiirgusspektri maksimumid vastavalt 500-540 $m\mu$ vahel, olenevalt sulandajast ja teisest fosfooris olevates lisanditest. /1/

Erilist huvi pakub kristallfosfooris haardetsentrite uurimine, kuna nende tundmise abil saab seletada rida fosfooride juures ilmnevaid nähtusi. Haardetsentriteks nimetame selliseid mikrodefekte kristallis, mille elektriväli takistab augu või elektroni vaba liikumist kristallis ja põhjustab nende lokaliseerumist defekti juures.

Kristallfosfooride kulgevaid protsesse seletab võrdlemisi hästi tsoonide teooria. Selle teooria seisukohalt lähtudes võivad protsessid kristallfosfoorides toimuda joonisel nr.1 näidatud lihtsustatud skeemi kohaselt.

N - täidetud tsoon

M - juhtivuse tsoon

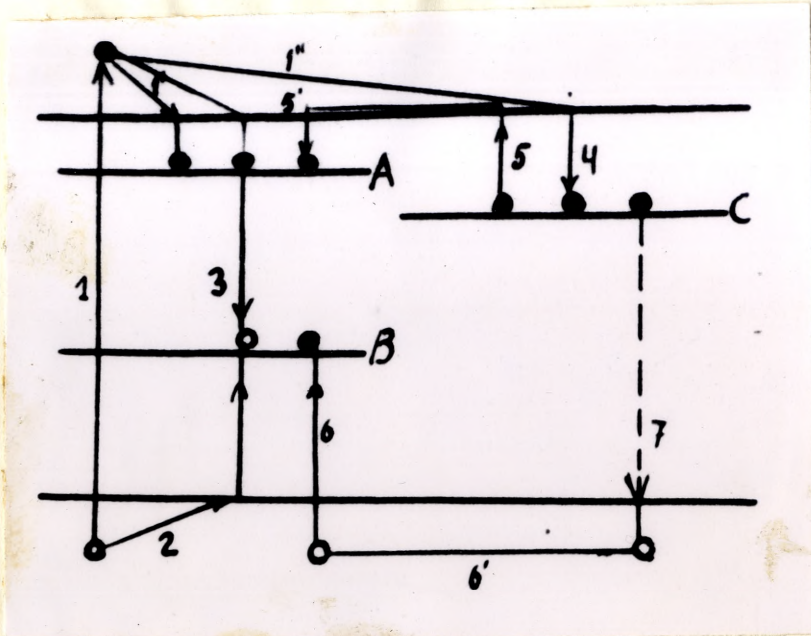
A - aktivaatori ergastasnivoo

B - aktivaatori põhiniivoo

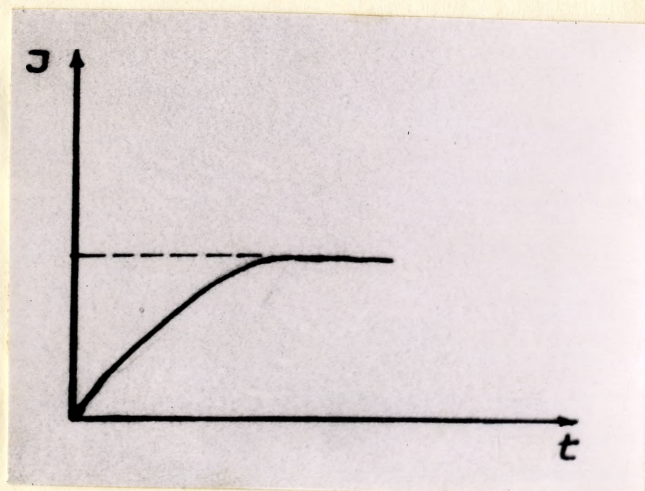
C - haardenivoo

- 1 - ergastamine
- 2 - sugu difundeerumine täidetud tsooni ülemisele servale ja sellele järgnev üleminek aktivaatori põhiniivoolle.
- 1' - elektroni difundeerumine juhtivustsooni alumisele servale ja sellele järgnev üleminek aktivaatori ergastunivoolle ~~juhtivustsooni alumisele servale.~~
- 1'' - elektroni difundeerumine juhtivustsooni alumisele servale
- 3 - kiirgus
- 4 - elektroni haaramine
- 5 - elektroni vabanemine haardenivoolt
- 5' - elektroni difundeerumine aktivaatori juurde ja sellele järgnev üleminek aktivaatori ergastatud nivoolle
- 6 - sugu vabastamine
- 6' - sugu difundeerumine täidetud tsoonis haardenivoo kohale
- 7 - sugu ja haardetsentri^{le} oleva elektroni rekombineerumine.

Augu vabastamine aktivaatori nivooalt (6) ja elektroni vabastamine haardenivoolt (5) võib toimuda nii optiliselt kui ka termiliselt. Haardenivoo energeetilise sügavuse määrab ära elektroni vabastamiseks vajalik energia. Elektronide ja aukude vabastamist optilisel teel nimetatakse optiliseks väljakiiritlemiseks ja termilisel teel - termiliseks väljakiiritlemiseks. ~~Väljakiiritlemise~~ energia mõjul Defekti juures lokaliseerunud laengukandja (auk või elektron) vabaneb sealt ja läheb kas valents- ^{väljakiiritleva energia mõjul} tsooni (auk) või juhtivustsooni (elektron). Väljakiirit-



Joonis nr.1.



Joonis nr.2.

lemise tagajärjel tekib kas nähtav luminescentskiirgus nn. sähvatus või luminescentsi valguse summa kustutamise kiirguseta rekombineerumiste tõttu.

Peasegu kõik ZnS-fosfoorid annavad kiiritlemisel infrapunase kiirgusega sähvatus, mis on eriti intensiivne, kui aktivaatoriks on Pb /2/. Peale infrapunase kiirguse omab väljakiiritlevat mõju ja ergastav valgus /3/.

Haardetsentrite uurimismeetodeid on mitu. Tähtsamad nendest on järgmised meetodid.

Termiline väljakiiritlemine.

Meetod seisneb ergastatud fosfoori ühtlasel kuumutamisel tekkiva helenduse - nn. termoluminescentsi kaigu uurimises. Termoluminescentsi maksimumid vastavad fosfooris olevatele haardenivoode gruppidele. Helendus tekitab, kui nendelt laengu kandjad temperatuuri tõttu vabanevad.

Termooptiline väljakiiritlemine (TOV)

Fosfoori ergastamisel tekib fosfooril täiendav absorptsioon (ergastatud absorptsioon). Kiiritledes fosfoori lainepikkusega, mis vastab ergastatud absorptsiooni maksimumi asukohale spektris, võib tekkida sähvatus J_λ , mille intensiivsus on fosfooris antud neeldumisribale vastava haardenivoode süsteemilise haaratud elektronide arvu funktsioon. $J_\lambda = J_\lambda(n)$, kus n tähistab haardenivoodel olevate elektronide hulka. TOV olemus seisneb selles, et pidevalt ühtlase kiirusega fosfoori kuumutades mõõdame samal ajal sähvatus ergastatud absorptsiooni ribades. Saadud sõltuvus $J_\lambda = J_\lambda(T)$ võimaldab teha järeldusi haardetsentrite iseloomu kohta /4/.

Termilise pleegitamise meetod /5/

on eelmisega analoogiline. Siin uuritakse otseselt ergastatud absorptsiooni η sõltuvust temperatuurist $\eta = \eta(\tau)$

Süttimise valguse summa termilise väljakiiritlemise puhul on haardenivoodelt temperatuuri mõjul vabanevate laengute arvu mõõduks süttimise valguse summa suurenemine temperatuuri mõjul /6/. Süttimise valguse summaks on pindala S_p joonisel 2.

Nende meetodite abil on saadud palju väärtuslikke tulemusi fosfooride haardetsentrite uurimisel.

Peale termiliste meetodite on veel rida optilisi meetodeid haardetsentrite uurimiseks. Tähtsamad nendest on.

1) Ergastatud fosfoori täiendava absorptsiooni spektri uurimine.

Lainepikkused λ , millede juures η_λ on maksimaalne, annavad meile vastavate haardenivoo-
de optilise sügavuse

2) Sähvatuse spektrite $J_\lambda(\lambda)$ (vt. töö käigus) ja kustutamise spektrite $A(\lambda)$ uurimine. Siin ^{annavad} haardenivoo-
de sügavuse väljakiiritleva valguse lainepikkused, millede kohal asuvad sähvatuse spektri või kustutamise spektri maksimumid.

3. Väljakiiritlemise spektrite $V_i(\lambda)$ uurimine.

Selle juures uuritakse väljakiiritletava valguse summa olenevust väljakiiritleva valguse lainepikkusest. Väljakiiritleva valguse lainepikkused, millede juures asuvad maksimumid, annavad meile vastavate haardenivoo-
de sügavused (vt. töö käigus).

II T33 eesmärk ja objekt.

Käesoleva t33 eesmärgiks on uurida ZnS-Cu fosfoori juures valguse väljakiiritlevat mõju spektri vahemikus 500-1550 $m\mu$. Sellesse vahemikku kuuluvaid ZnS-Cu fosfooride haardenivoosid on varem uuritud t33s /7/. Kõikidel ZnS-Cu fosfooridel eksisteerivad nivood, millelt vabanevad laengud umbes 110 ja 190°C juures. T33s /7/ on saadud stimuleeriva valguse väljakiiritlemise spekter vahemikus 485-1200 $m\mu$ süttimise valguse summa optilise väljakiiritlemise meetodil. Selle meetodi abil saadakse küll kätte väljakiiritlemise spekter, kuid jääb selgusetuks, missugustelt nivoodelt laengute vabanemine toimus. Käesolevas t33s on ülesandeks seatud uurida valguse väljakiiritlemise spektrit infrapunase tundlikkuse maksimumi ^{$\lambda \sim 800 m\mu$} suhtes. Sellega saab selgitada, millise lainepikkusega valgus on võimeline vabastama valguse summat, mis on salvestunud infrapunase tundlikkuse maksimumile 800 $m\mu$ vastavatel haardenivoodel.

Peale selle on veel püütud selgitada teisi sähvatusga seotud seadusepärasusi. T33 objektiks valiti ZnS-Cu (KCl). Selle fosfoori haardenivoode struktuur on varem uuritud /7/. T33 käigus on uuritud ka SrS-Ce, Sm sähvatust ja selle fosfoori väljakiiritlemise spektrit infrapunase sähvatuse maksimumi $\lambda \sim 1\mu$ jaoks.

III Aparatuur ja metoodika.

Katsed viidi läbi joonisel 3 toodud skeemi järgi.

K_1 - stimuleeriva infrapunase kiirguse allikas

K_2 - ergastava valguse allikas

L_1, L_2, L_3 - läätsed

F_1, F_2, F_3 - filtrid

M - monokromaator YM-2

~~Ф~~ - fotokordistaja

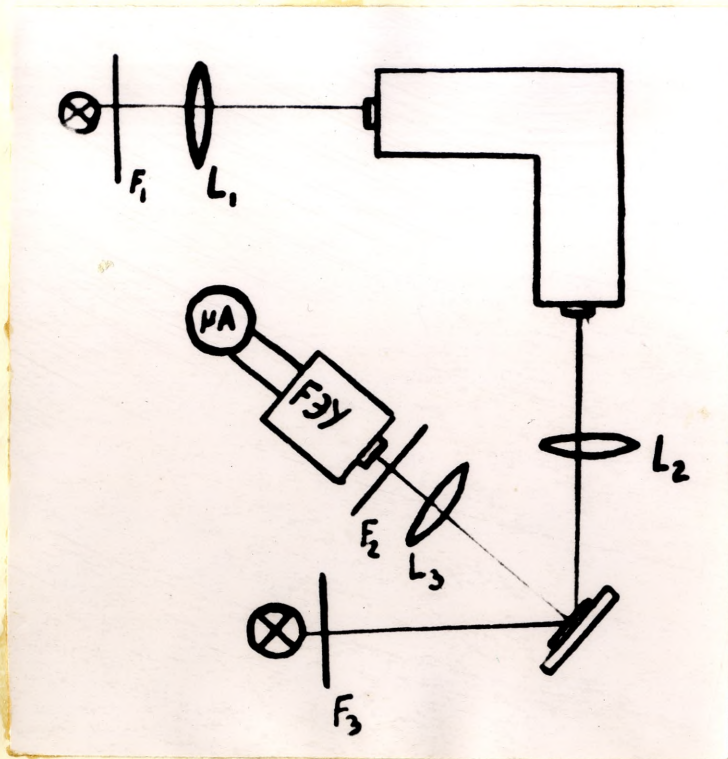
A - hoidja uuritava objektiga

μA - galvanomeeter fotovoolu mõõtmiseks

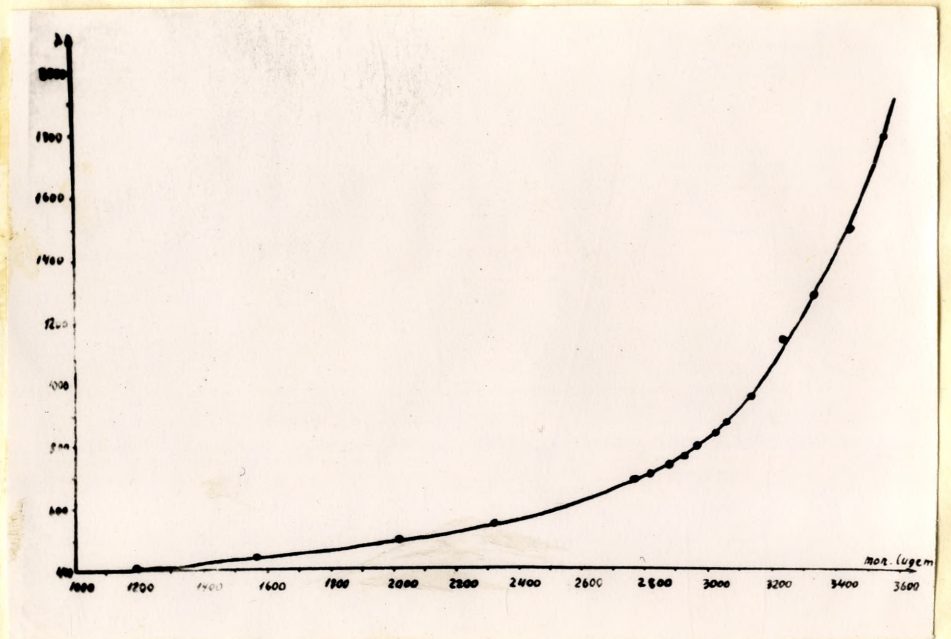
Monokromaator kalibriti Hg-lambi ПРК-4 spektri
joonte ja valgusfiltrite ПС-7, 9С-7 neeldumisribade
abil. Monokromaatori kalibrimisköber on antud joonisel
nr.4.

Töötades fosfooriga ZnS-Cu (KCl) kasutati stimuleeri-
va kiirguse allikana hõõgniitlambi. 30W-se lambi intensiiv-
suse jaotus määrati termosamba, fototakisti $\phi C-AI$ ja
etalonlambi abil. Termosamba abil määrati etalonlambi
energia jaotus, mille abil määrati fototakisti tundlik-
kus erinevatel lainepikkustel (Joonis nr.5). Fototakisti
abil mõõdeti lambi intensiivsuse jaotus, mis on antud
joonisel nr.6.

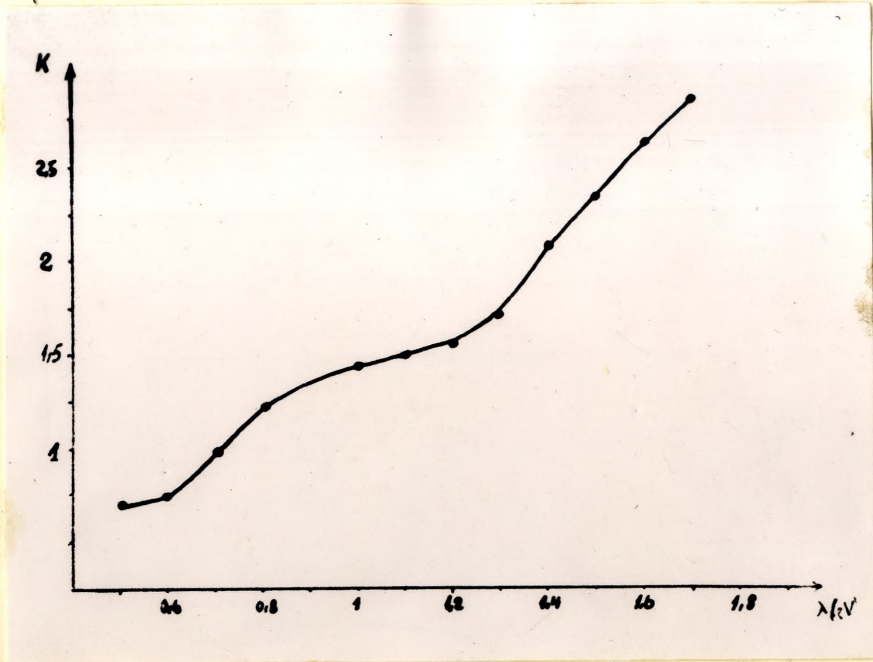
SrS-Cs,Sm puhul kasutati stimuleeriva valguse allikana
400 W-st tasapinnalise hõõgniidiga kinoproektsioonlambi.
Lambi intensiivsuse jaotuse köber (Joonis nr.7) määrati
termosamba abil.



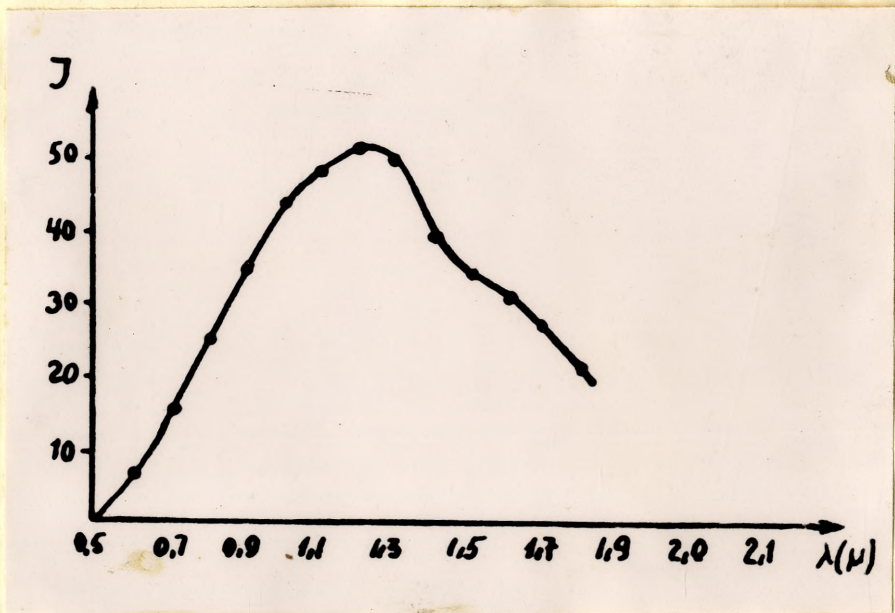
Joonis nr.3.



Joonis nr.4



Joonis nr.5



Joonis nr.6

Mõõtmise metoodika

1. ZnS-Cu (KCl) fosfoori helenduse hääbumise ajalise olenevuse mõõtmine.

Fosfoori ergastati eelnevalt ПРК-2 abil 2 min., kusjuures ПРК-2 ees kasutati filtrit УФС-3. Peale ergastamise lõppu mõõdeti fosfoori ajalise hääbumise kõver 20 min. jooksul fotokordistaja FEY abil. Fotokordistaja ees kasutati filtrit СЗС-9.

2. Sähvatuse int. kahanemine ajas.

Fosfoori ergastati 5 min. ПРК-2 abil läbi filtri УФС-3. Selle aja jooksul fosfoor ergastus statsionaarse režiimini. 15 min. peale ergastamise lõppu juhitati fosfoorile stimuleeriva valgus lainepikkusega $750\text{ m}\mu$ ja mõõdeti tekkinud sähvatuse intensiivsuse hääbumine ühe tunni jooksul.

3. Sähvatuse valguse summa kahanemine ajas.

Fosfoori ergastati 5 min. ПРК-2 abil läbi filtri УФС-3. Aja t möödumisel pärast ergastamise lõppu kiiritleti fosfoori läbi monokromatori $750\text{ m}\mu$ infrapunase valgusega. Tekkinud sähvatus mõõdeti ФЭУ ja peegelgalvanomeetri abil 25 min. kestel. Sähvatuse valguse summa mõõduks võeti sähvatuse intensiivsuse kõvera alune pindala.

4. Stimuleeriva valguse intensiivsuse ja sähvatuse intensiivsuse vahelise sõltuvuse määramine.

Stimuleeriva valguse intensiivsust muudeti filtrite

HC2, HC1, HC-3, HC-7 abil ja vastavalt nendele mõõdeti sähvatuse intensiivsus.

- 5. Sähvatuse ja kustutamise tundlikkuse kõvera määramine.

Fosfoori ergastati helenduse tasakaalu olekuni. Tasa-kaalu olekus juhiti fosfoorile monokromaatne infra-punase valguse kimp lainepikkusega λ ja mõõdeti sähva-tuse intensiivsuse maksimum fotokordistaja abil. Sa-mas mõõdeti ka kustutamise spekter, kiiritades fosfoo-ri infrapunase kiirgusega kuni helenduse intensiivsu-se vähenemiseni uue tasakaaluolekuni.

- 6. Valjakiiritlemise spektri määramine.

Fosfoor ergastati ПPK-2 abil läbi filtri XPC-3 . Enne ergastamist, mis igal üksikjuhul kestis 15 min., tühjendati fosfoor iga kord täielikult infrapunase valgusega kiiritlemise teel. Sellega oli tagatud kons-tantne salvestunud valguse summa iga üksiku mõõtmise jaoks. Pärast ergastamist kiiritleti fosfoori vastava infrapunase valguse lainepikkusega, kusjuures oli arvestatud, et iga λ puhul oleks fosfoorile lange-vate valjakiiritlevate kvantide arv võrdne.

$$\frac{B(\nu)t}{h\nu} = const$$

Pärast valjakiiritlemise lõppemist , mõõdeti sähvatus infrapunase valgusega $\lambda = 800 \mu\mu$. Sähvatuse mõõtmise momendi ja ergastamise lõppemise momendi va-he oli kogu aeg konstantne ja võrdus 50 minutiga. Selles ajavahemikus toimus valjakiiritlemine.

- 7. SPS-Cs, Sm infrapunase tundlikkuse spektri määramine.

Fosfoori ergastati 21 minutit Hg-lambi CBUW abil

läbi filtri $\gamma\phi C-2$. Pärast ergastamist fosfoor kustus 9 min. ja siis mõõdeti fosfoori sähvatusse tundlikkuse spektri kontuur riba jaoks 1 μ juures, kiiritledes fosfoori lühiajaliste ja nõrkade infrapunase valguse impulssidega.

Sähvatusse intensiivsuse ja stimuleeriva valguse intensiivsuse vaheline seos ning sähvatusse intensiivsuse ajaline kehanemine määrati analoogselt eelnevaga (vt. 4 ja 2):

8. $SrS-Cs, Sm$ väljakiiritlemise spektri määramine.

Väljakiiritlemise spektri määramine koosnes 4-st erinevast operatsioonist.

- a) Fosfoori ergastamine, kusjuures oli tagatud iga mõõtmise jaoks võrdne salvestunud laengute arv.
- b) Sähvatusse tundlikkuse spektri määramine enne väljakiiritlemist.
- c) Väljakiiritus
- d) Sähvatusse tundlikkuse spektri kontuuri määramine.

Nagu näha, erineb siin väljakiiritlemise spektri määramise meetodika $ZnS-Cu(KCl)$ juures rakendatud meetodist. $ZnS-Cu(KCl)$ juures mõõdeti otseselt väljakiiritletud laengute summat, kuna $SrS-Cs, Sm$ puhul on väljakiiritlemise määreks sähvatusse tundlikkuse spektri all oleva pindala vähenemine väljakiiritleva valguse toimel.

IV Fosfoori ZnS-Cu(KCl) omaduste uurimine.

1. ZnS-Cu(KCl) helenduse hääbumiskõvera $I(t)$ uurimine.
ZnS-Cu(KCl) helenduse hääbumiskõver, mis on saadud III X, 1 kirjeldatud metoodika kohaselt, on antud joonisel nr. 8.

Esitades selle kõvera log-log masstaabis, saame sirge (joon. 9), mis näitab, et helenduse hääbumine ajas toimub astmefunktsiooni

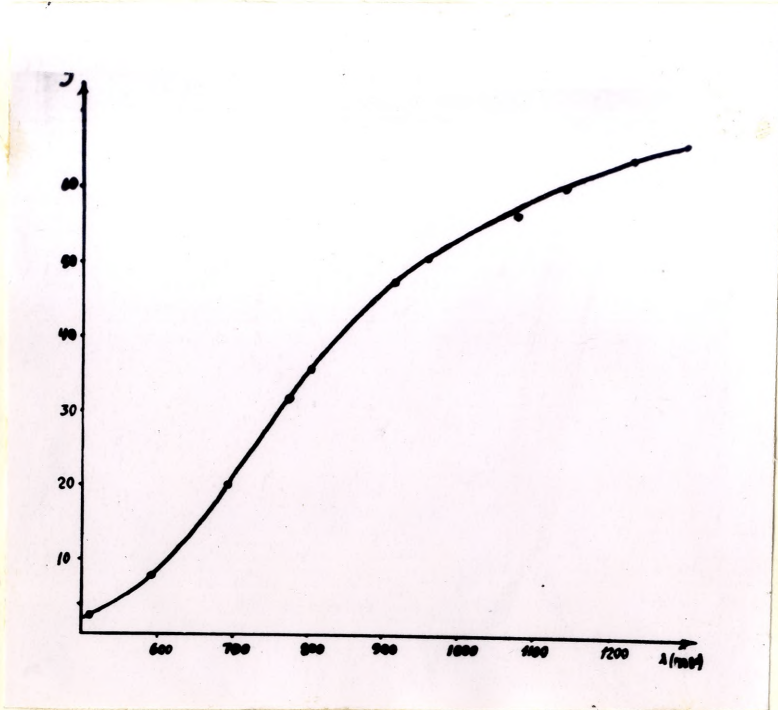
$$J = \frac{J_0}{(1+bt)^\alpha}$$

kohaselt,

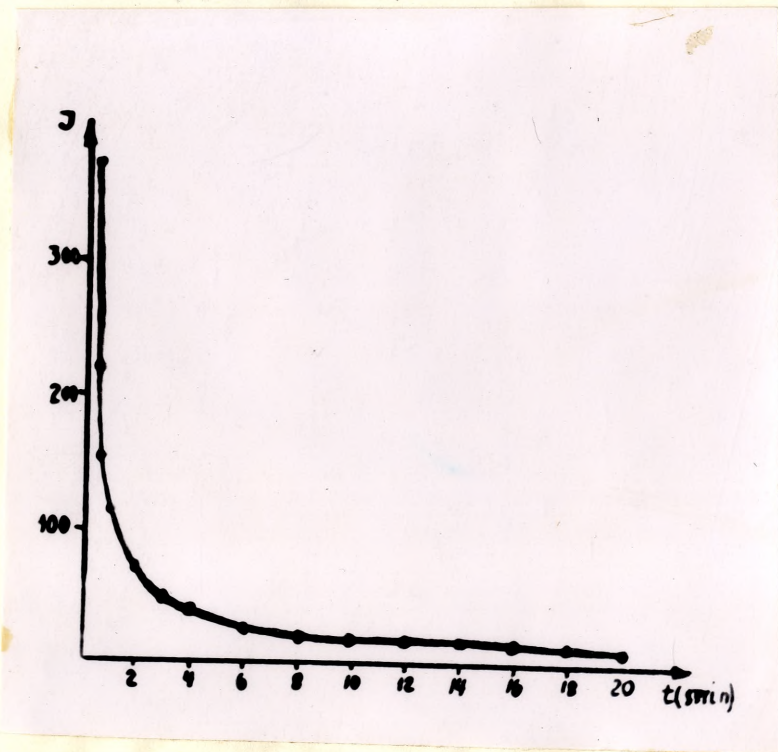
kusjuures $\alpha = 0,823$. Saadud väärtus on tunduvalt väiksem väärtusest, mis harilikult saadakse ZnS-fosfooride jaoks. Adirovitsi teoreetiliste arutluste järgi /8/ hääbumiskõverat kirjeldava funktsiooni aste on seda väiksem mida suurem on $\delta = \delta_3/\delta_p$, kusjuures δ_3 on elektroni haaramise ristlõige ja δ_p -rekombineerumise ristlõige. Kuna antud fosfooril on tõe-poolest suhteliselt rohkem madalaid nivoosid, kui teistel ZnS-Cu fosfooridel, siis võibolla ongi α väike väärtus käesoleval juhul tingitud suurest elektronide korduva haaramise tõenäosusest.

2. ZnS-Cu(KCl) sähvatus intensiivsuse kahanemine ajas.

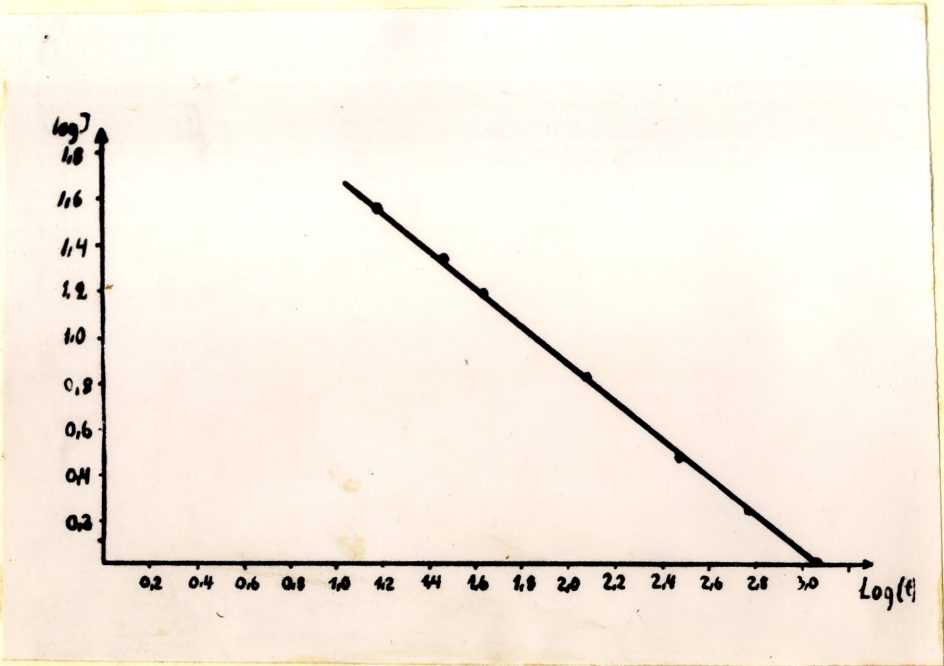
Sähvatus kahanemise kõver $J_\lambda(t)$ on saadud III X, 2 näidatud metoodika kohaselt. Pärast ergastamist fosfoor seisis 15 minutit, mille jooksul fosfoori helenduse intensiivsus ~~kahanes peaaegu nullini~~ ^{tunduvalt vähenes}, nagu on näha joonisel nr.8. Sähvatus intensiivsuse vähenemise kõver,



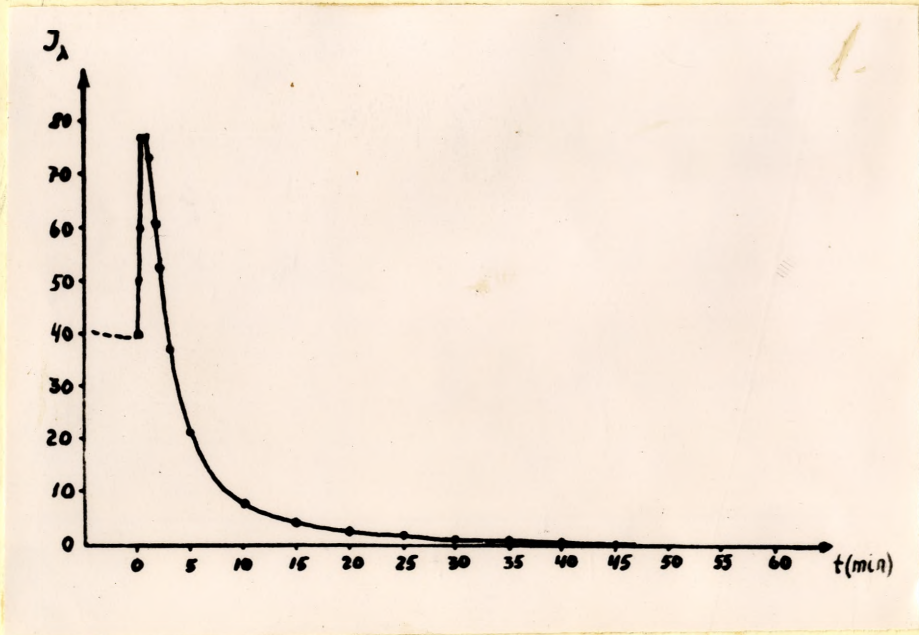
Joonis nr.7



Joonis nr.8



Joonis nr.9.



Joonis nr.10.

mõõdetuna 1 tunni kestel, on antud joonisel nr.10.

Nagu joonisel nr.10 näha, ZnS-Cu(KCl) sähvatuse intensiivsus ei kasva peale infrapunase kiirguse pealelaskmist kohe maksimaalseks, vaid omab teatud inertsi. ~~Esitades~~ sähvatuse intensiivsust ^{häbumise} log-log mastaabis, (joon. 11) näeme, et sähvatuse intensiivsus samuti kahaneb ajas astmefunktsiooni

$$J_{\lambda} = \frac{J_{\lambda 0}}{(1+bt)^{\alpha}}$$

kohaselt, kuid antud juhul $\alpha = 1,66$. 30 min.jooksul vabanevad peaaegu kõik antud haardenivoode grupil salvestunud laengukandjad.

3. Salvestunud valguse summa ajalise kahanemine $S(t)$.

Salvestunud valguse summa ajalise kahanemise kõver, mis on antud joonisel nr.12, on saadud III §,3 näidatud meetodika kohaselt. Uurides seda kõverat log-log mastaabis, (joonis 14) on näha, et ka valguse summa kahaneb astmefunktsiooni

$$S = \frac{S_0}{(1+bt)^{\alpha}}$$

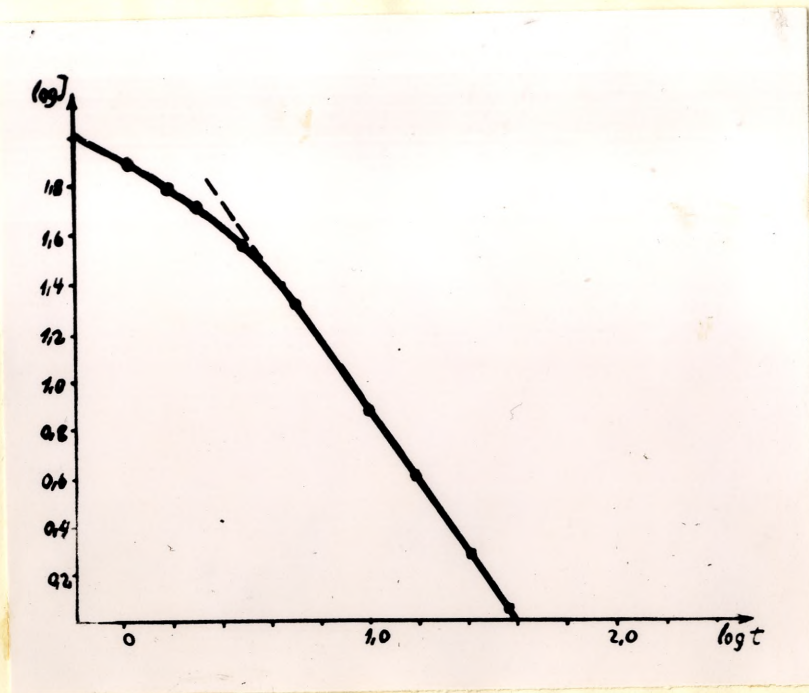
kohaselt, (salvestunud valguse summa S on võrdeline haardenivoode poolt haaratud laengute hulgaga) kusjuures $\alpha = 0,5$.

Võrreldes neid 3-ee mõõtmise tulemusi omavahel, on näha, et ZnS-Cu(KCl)-s toimuvad kiirgusprotsessid lihtsa astmefunktsiooni

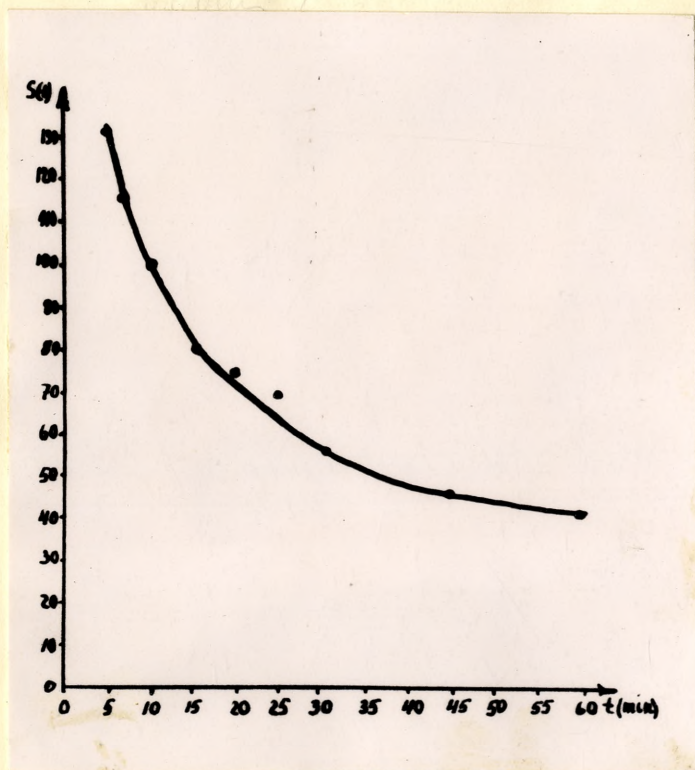
$$J = \frac{J_0}{(1+bt)^{\alpha}}$$

kohaselt, mis näitab, et tegemist on bimolekulaarse rekombinatsioonilise protsessiga.

Kui vaadelda luminesentsi valguse summa häbumise protsessi kaugemaid staadiume, kus $bt \gg 1$, siis võib kirjutada $J \sim t^{-\alpha}$ ja $n \sim t^{-\alpha}$. Arvestades, et $J = \int [n(t)]$ kirjutame $J \sim [t^{-\alpha}]^{\beta}$ ja siit, kui võrdleme eksperimen-



Joonis nr.II.

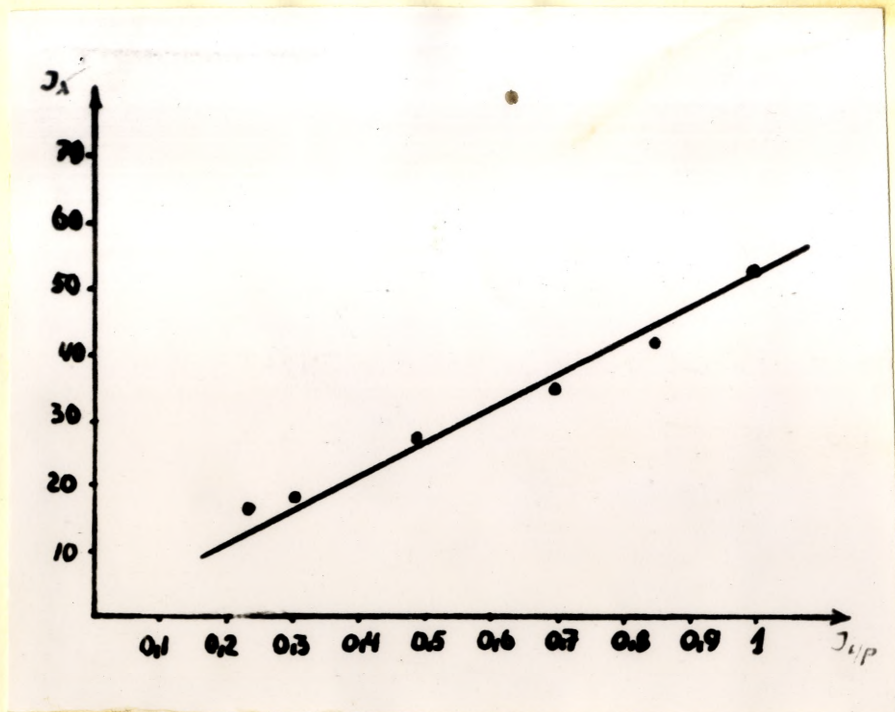


Joonis nr I2.

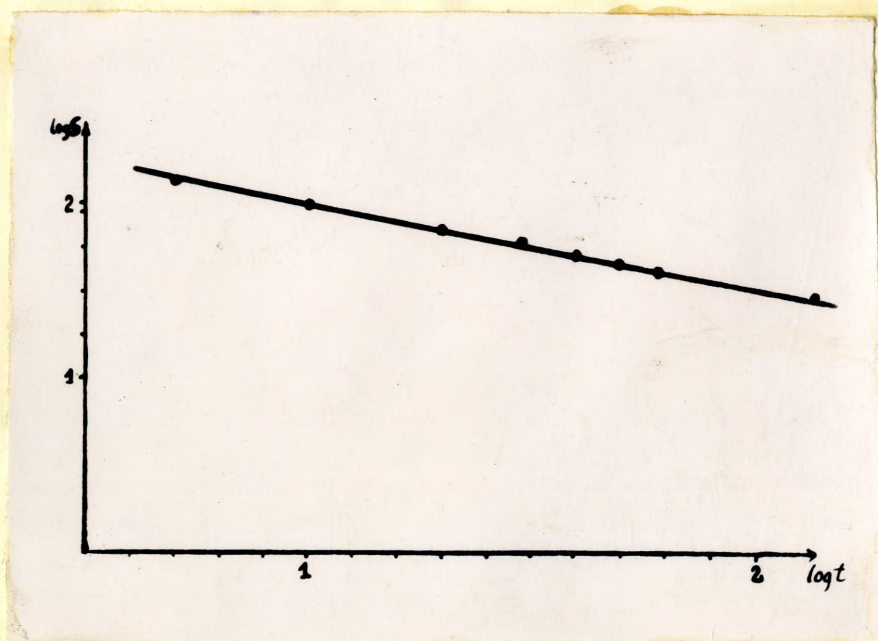
mentaalset I ja n astendaja väärtust, saame $I \sim h^3$, kusjuures $\beta = 1.66$. Kõige lihtsama rekombinatsioonilise mudeli järgi $I = pn^2$, kui sellisel juhul ka peab olema $J \sim t^{-2}$ ja $n \sim t^{-1}$, mis antud juhul ei kehti. See on nähtavasti tingitud sellest, et uuritava fosfoori haardenivoode skeem erineb oluliselt lihtsustatud skeemist, mille põhjal ~~uue~~^{need} tulemused on saadud.

4. Stimuleeriva kiirguse intensiivsuse ja sähvatuse intensiivsuse vahelise seose määramine.

Seos, mis on antud joonisel nr. 13 on saadud III §, 5 näidatud meetodika kohaselt. Kuigi sähvatus omab suurt inertsi (sähvatuse aeglane kasvamine), oleneb sähvatuse intensiivsuse maksimum stimuleeriva valguse intensiivsusest vaadeldud intensiivsuste vahemikus lineaarselt, analoogselt $Srs-Cs, Sm-ga$ (vt. V), kus sähvatuse intensiivsus on inertsivaba, st. kasvab stimuleeriva kiirguse pealengemisel momentaalselt maksimaalseks. Saadud seos määrati selleks, et hiljem sähvatuse spektri mõõtmisel taendada tulemused võrdsetele intensiivsustele.



Joonis nr. 13.



Joonis nr. 14.

Sälvatuse ja kustutamise tundlikkuse kõvera
määramine.

Sälvatuse ja kustutamise tundlikkuse kõverad, mis on antud joonisel nr. 5, määrati III, 5 näidatud metoodika kohaselt. Sälvatuse tundlikkuse all mõistame funktsiooni

$$C(\lambda) = \frac{I - I_0}{B_{\lambda}(\lambda)}$$

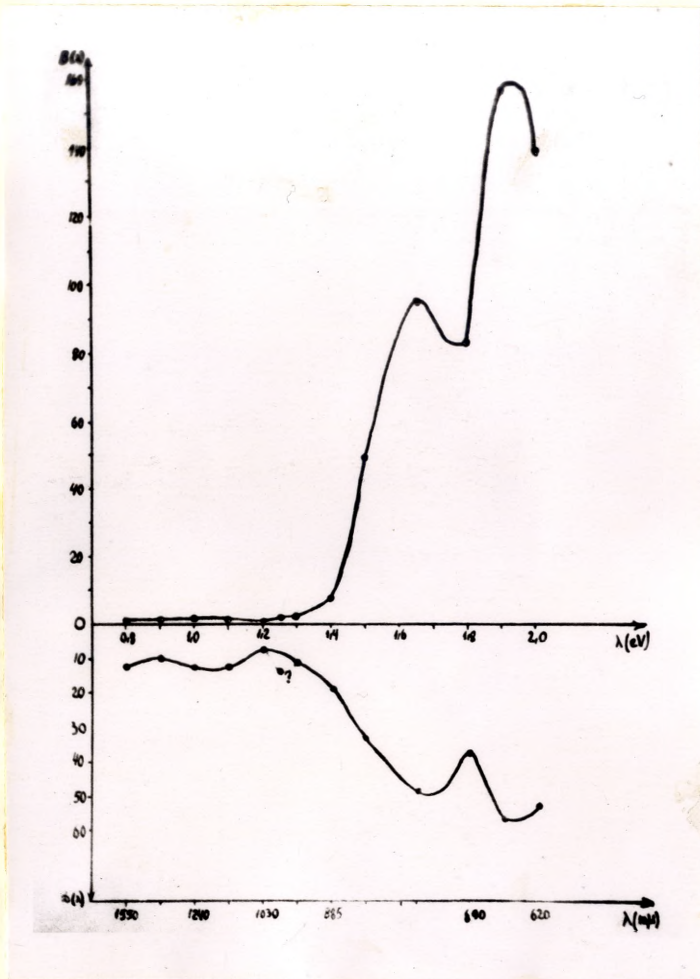
(vt. joonis 16) ja kustutamise tundlikkuse all vastavalt

$$D(\lambda) = \frac{I - I_0}{B_{\lambda}(\lambda)}$$

- I_0 - fosfoori helenduse tasakaalu olek ergastava kiirguse pealelangemisel
- I. - Sälvatuse maksimaalne intensiivsus, mõõdetava ergastava valguse pealelangemise aja.
- I_0' - Helenduse tasakaaluline intensiivsus ergastava ja stimuleeriva kiirguse koosmõjul.
- $B_{\lambda p}$ - Stimuleeriva infrapunase kiirguse intensiivsus.

Saadud tulemused ühtivad üldjoontes tulemustega, mis on saadud varemates töödes (/7/, /10/) ZnS-fosfooridega:

Vaadates sälvatuse ja kustutamise tundlikkuse kõverat, on näha, et vahemikus 1550 - 620 m μ on 3 tundlikkuse maksimumi. Alates spektri pikemalainelisest osast kuni 885 m μ on ZnS-Cu(KCl) infrapunase stimuleeriva kiirguse suhtes vähetundlik. Nii sälvatuse kui ka kustutamise spektrid on ühesuguse struktuuriga. Väike tundlikkuse maksimum on märgata 1180 m μ (1,05 eV) juures. Graafikul on ka väike tundlikkuse maksimum 993 m μ (1,25 eV) kohal. Seda maksimumi pole teiste autorite poolt märgatud.



Joonis nr.15

Nimetatud maksimumi kontrolliti mitu korda, kuid ta võib siiski olla tingitud mingist süstemaatilisest veast.

Alates $885 \text{ m}\mu$ -st ($1,4 \text{ eV}$) infrapunase tundlikkus kasvab ja saavutab maksimumi ligikaudu $750 \text{ m}\mu$ ($1,6 \text{ eV}$) kohal. Edasi tundlikkus väheneb ja saavutab miinimumi umbes $690 \text{ m}\mu$ ($1,8 \text{ eV}$) kohal. Järgmine maksimum asub $645 \text{ m}\mu$

($1,93 \text{ eV}$) juures. Kahe viimase maksimumi (750 ja $645 \text{ m}\mu$) eraldi eksisteerimist pole teiste autorite poolt märgatud. Et kontrollida monokromaatori lahutusvõimet arvutati monokromaatori poolt eraldatud stimuleeriva valguse riba laius olenevalt λ -st. Arvutus viidi läbi järgmise ligikaudse valemi järgi

$$\Delta\lambda = F_2 \frac{d\lambda}{dL} \left(\frac{a}{F_1} + \frac{a'}{F_2} \right)$$

l - riba laius

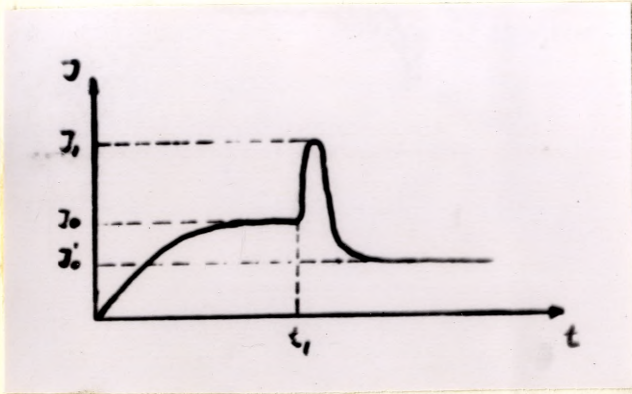
F_1, F_2 - mon.fookuste kaugused

a, a' - pilu laiused $a=1\text{mm}$ $a'=1\text{mm}$

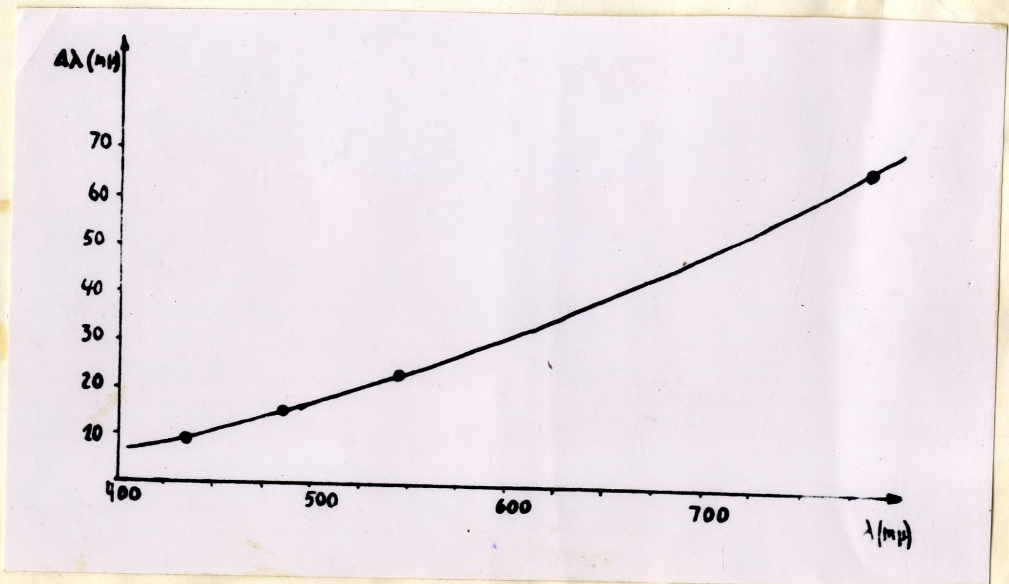
Tulemused on antud joonisel nr.17.

Joonise nr.14 andmetest järeldub, et monokromaator on võimeline antud maksimume lahutama.

Võrreldes sähvatuse tundlikkuse maksimume omavahel, on näha, et nad suhtuvad nagu $0,021:1:1,65$. Kustutamise tundlikkuse maksimumid suhtuvad nagu $0,26:1:1,14$. Sähvatuse tundlikkus kasvab lühemalainelise spektri suunas palju kiiremini, kui kustutamise tundlikkus. Kui $1180 \text{ m}\mu$ juures kustutamine on tunduvalt ülekaalus, siis 750 ja $690 \text{ m}\mu$ kohal on sähvatuse tundlikkus juba palju suurem. Koos sähvatuse tundlikkuse suurenemisega kasvab ka kustutamise tund-



Joonis nr.16.



Joonis nr.17

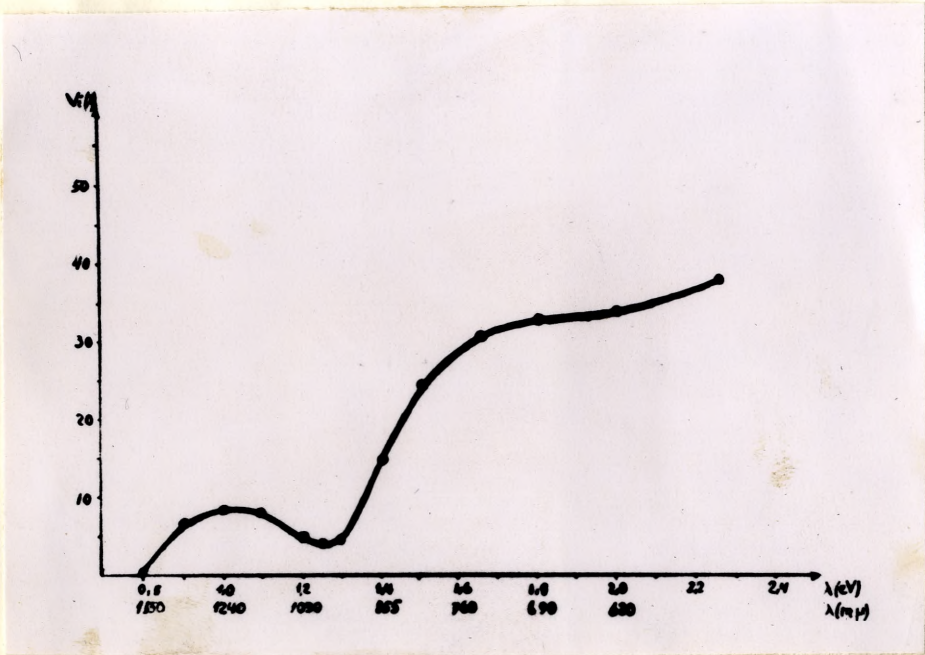
likkus.

Töösdes /10, 9/ on TOV meetodi abil määratud rea ZnS fosfooride jaoks vastavus termomaksimumide ja infrapunase tundlikkuse kõverate vahel. Selle järgi infrapunase tundlikkuse maksimum $1200\text{ m}\mu$ juures vastab nivoodele, kust elektronid vabanevad temperatuuri mõjul, mis on mõnevõrra kõrgem temperatuurist ($30-60^{\circ}\text{C}$). Tundlikkuse maksimum $800\text{ m}\mu$ piirkonnas vastab nivoode grupile, millelt elektronid vabanevad temperatuuri $100-120^{\circ}\text{C}$ mõjul. Kuna ka ZnS-Cu(KCl) toimub nimetatud temperatuuride piirkonnas oluline valguse summa vähenemine (vt. ~~7~~), võib arvata, et ka selle fosfoori infrapunase tundlikkuse maksimumid vastavad samasuguselt termomaksimumidele nagu töösdes /10 ja 9/ uuritud fosfoorides. Töös / ~~7~~ / on näidatud, et haardenivoode grupilt, millelt laengukandjad vabanevad palju kõrgemate temperatuuride juures (190°C), on optiliseks laengute vabastamiseks vaja samuti palju suurema kvandi energiaga kiirgust. Infrapunase kiirgusega $\lambda \gg 700\text{ m}\mu$ ei saa täielikult tühjendada nivoosid, mis vastavad nivoode grupile, millelt laengukandjate vabanemine toimub 190°C juures. Kuna ka uuritava fosfoori suhtes on kindlaks määratud nivoode grupi 190°C / ~~7~~ / olemasolu, siis võib arvata, et siin nivoode grupp vastab nähtavasti sähvatuse tundlikkuse maksimumile $645\text{ m}\mu$.

6. Väljakiiritluse spektri uurimine.

Väljakiiritluse spekter, mis on antud joonisel nr.18, on saadud III,6 toodud meetodika kohaselt.

Väljakiiritluse spektri all me mõistame siin funktsiooni.



Joonis nr. I8

$$V_i(\lambda) = \frac{\Delta n_i}{B(\lambda)t} = \frac{\Delta S_{800}}{B(\lambda)t}$$

Δn_i - teatud nivoodel olevate laengukandjate arvu vähenemine väljakiiritlemise tõttu.

ΔS_{800} - nivoodel, mis vastavad maksimumile $800_{m\mu}$ salvestunud valguse summa vähenemine väljakiiritleva valguse mõjul.

$B(\lambda)$ - väljakiiritleva valguse võimsus

t - väljakiiritlemise aeg

Väljakiiritlemise spektril on näha alates pikemalainelise spektri osast üks maksimum, sellele järgneb miinimum, väljakiiritlemise tõus, siis platoo, kus väljakiiritlemine on enam-vähem konstantne ja edasi uus väljakiiritlemise tõus.

Maksimum asub umbes $1180_{m\mu}$ ($1,05\mu$) kohal. Võrreldes seda maksimumi sähvatuse ja kustutamise tundlikkuse kõveraga näeme, et nende asukoht langeb ühte. Võib oletada, et antud maksimumi kohal toimub haardenivoodelt vabastatud laengukandjate rekombineerumine kiirguseta ülemineku teel, sest antud kohas on kustutamise tundlikkus sähvatuse tundlikkusest tunduvalt suurem. Platoo koht vastab kahele järgmise infrapunase tundlikkuse maksimumi asukohale. Nähtavasti on siin tegemist kahe üksteisega kattuva väljakiiritlemise maksimumiga. Alates $620_{m\mu}$ -st väljakiiritlemine kasvab veelgi ja arvatavasti kusagil lühemalainelisemas spektri osas asub veel üks väljakiiritlemise maksimum.

Võrreldes saadud väljakiiritlemise spektrit väljakiiritlemise spektriga, mis on saadud kõigi nivoodel olevate laengukandjate suhtes, näeme, et nad peaaegu langevad ühte.

Erilist huvi väljakiiritlemise spektri kaigus pakub väljakiiritlemise maksimum $1200_{m\mu}$ piirkonnas. See näitab, et

kiiritledes fosfoori valgusega, mille kvandi energia on väiksem, kui vahetult uuritava ^{lt} nivo ^{lt} laengukandja vabastamiseks vajalik kvandi energia, saab siiski vabastada suure hulga nendel nivoodel ($800_{\text{m}\mu}$) salvestunud valguse summat. Tuleb nähtavasti oletada, et nivoodelt, mis vastavad inf-
rapunase tundlikkuse maksimumidele $1200_{\text{m}\mu}$ ja $800_{\text{m}\mu}$ juures, vabanevad vastasmärgiga laengukandjad. Teisest küljest on aga jällegi päris veenvaid fakte / 12 /, mis näitavad, et sähvatus, mis tekib $1200_{\text{m}\mu}$ ja $800_{\text{m}\mu}$ ribades, on tingitud sama märgiga laengukandjate vabastamisest. Siin püüame nähtust seletada järgnevalt. Paneme tähele, et sähvatuse tundlikkuse kõveral maksimum $1200_{\text{m}\mu}$ juures on ^{sähvatus} tühine samal ajal kui kustutamine samas maksimumis moodustab siiski kuni 32% kustutamise väärtusest ribas $800_{\text{m}\mu}$ juures. Sellest tegime järelduse, et peamine hulk $\lambda = 1200_{\text{m}\mu}$ -ga välja-
kiiritletud elektronidest rekombineerub kiirguseta. Teisest küljest on aga teada, et kustutamine ribas $1200_{\text{m}\mu}$ sõltub tugevasti temperatuurist ja puudub hoopis vedela õhu t° juures / 12, 13 /. Selle põhjal võib oletada, et nähtavasti tänu temperatuurilise võnkumise energiale on osa elektrone juba enne väljakiiritlemist saanud täiendavalt nii palju energiat, et toatemperatuuri juures piisab juba $1200_{\text{m}\mu}$ -
^{valguse} kvandi energiast laengukandjate vabastamiseks ka nivoodelt $800_{\text{m}\mu}$.

Nivoodelt, millele vastab tundlikkuse maksimum $800_{\text{m}\mu}$ juures vabastatakse valguse summa ka suurema energiaga valguskvantidega, mis enam ribasse $800_{\text{m}\mu}$ juures ei kuulu. Võib arvata, et siin on tegemist kas lihtsalt selle fakti-

ga, et suuremate energistega valguskvandid vabastavad erineva määrgiga laengukandjad või jällegi on tegemist energia ülekandmisega nivooodele $800\text{ m}\mu$ juures. Seda küsimust tuleks edaspidi detailsemalt uurida.

V SrS-Cs,Sm fosfoori uurimine.

ZnS-Cu(KCl) kõrval uuriti infrapunase sähvatusesga seotud protsesse ka SrS-Cs,Sm fosfoori juures.

1. SrS-Cs,Sm fosfoori sähvatuses ajalise kahanemise uurimine.

SrS-Cs,Sm fosfoori sähvatuses ajalise kahanemise kõver, mis on saadud III, 2 analoogiliselt näidatud metoodika kohaselt, on antud joonisel nr.19

2. Stimuleeriva valguse intensiivsuse ja sähvatuses intensiivsuse vahelise seose uurimine.

Stimuleeriva valguse ja sähvatuses intensiivsuse vaheline seos, mis on antud joonisel nr.20, on saadud III, 4 näidatud metoodika kohaselt.

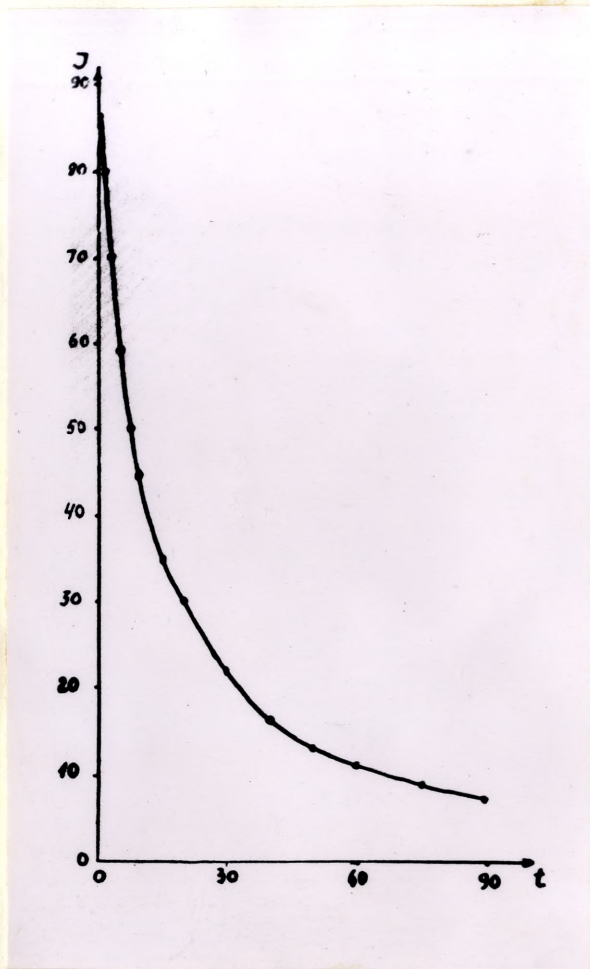
Nagu joonisel nr.20 on näha, oleneb sähvatuses intensiivsus stimuleeriva valguse intensiivsusest lineaarselt.

3. Fosfoori SrS-Cs,Sm infrapunase tundlikkuse spektri uurimine.

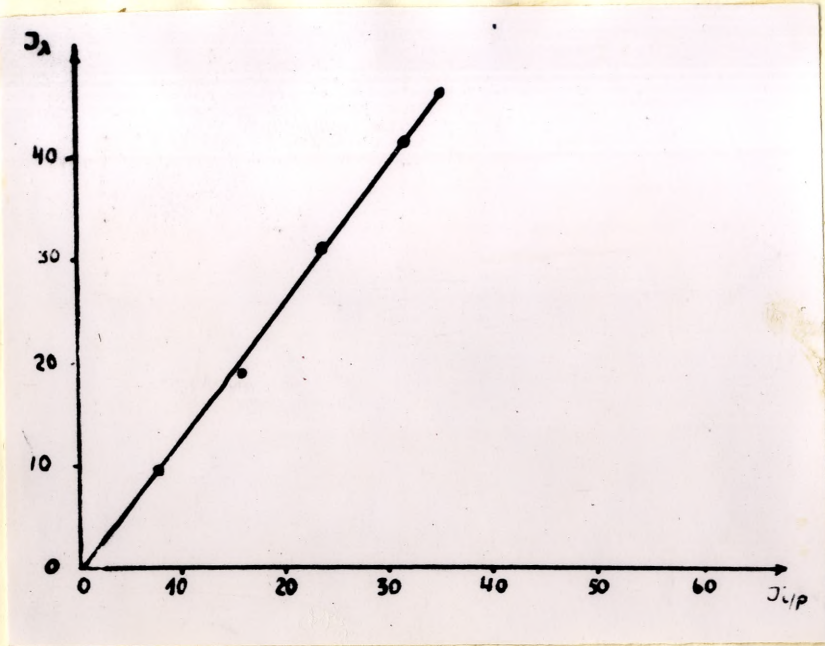
Infrapunase tundlikkuse spekter, mis on antud joonisel nr.21 on saadud III, 7 näidatud metoodika kohaselt.

Vaadates infrapunase sähvatuses tundlikkuse spektrit

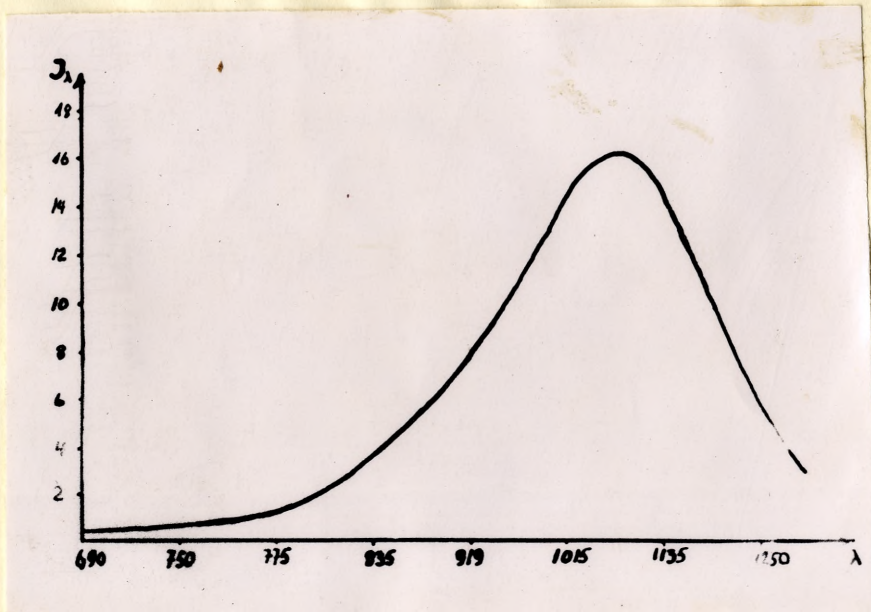
on näha, et vahemikus $1300\text{ m}\mu - 690\text{ m}\mu$ esineb üks sähva-



Joonis nr. 19.



Joonis nr.20



Joonis nr.21

tuse tundlikkuse maksimum. Alates $1300_{m\mu}$ -st tundlikkus suureneb ja saavutab maksimumi $1070_{m\mu}$ juures. Edasi toimub pidev sähvatuse tundlikkuse vähenemine. Vastupidiselt ZnS-fosfoorile sama maksimumi piirides infrapunane kiirgus kustutamist esile ei kutsu.

4. Fosfoori väljakiiritlemise spektri uurimine.

Fosfoori $SrS-Ca,Sm$ väljakiiritlemise spekter, mis on antud joonisel nr. 22, on saadud III, 8 näidatud meetodika kohaselt. Siin mõistame väljakiiritlemise spektri all funktsiooni

$$V(\lambda) = \frac{\Delta n_c}{B(\lambda)t}$$

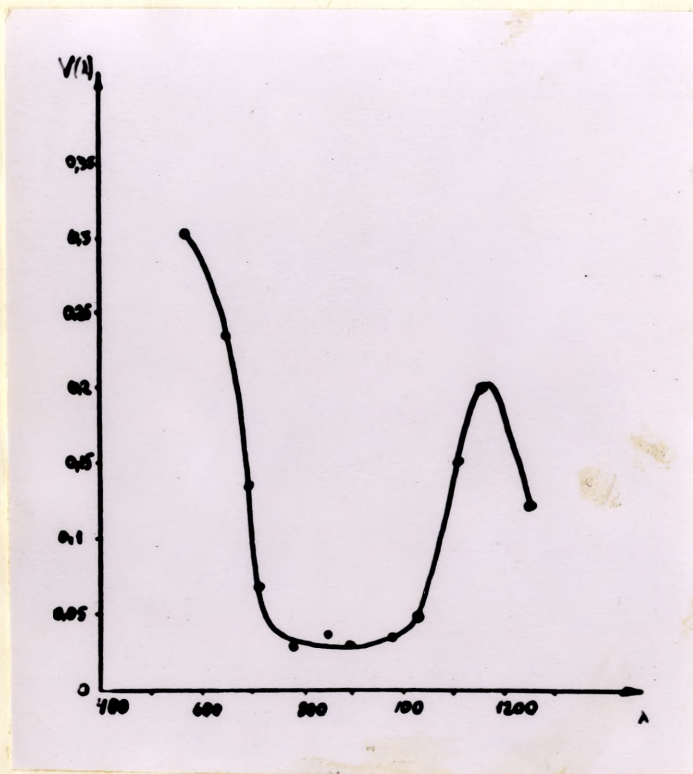
$B(\lambda)$ - väljakiiritleva (stimuleeriva) valguse intensiivsus.

Δn_c - i-ndamalt haardenivoode grupilt väljakiiritletud elektronide arv

t - väljakiiritlemise aeg.

Vaadates $SrS-Ca,Sm$ väljakiiritlemise spektrit, näeme seal $1-t$ väljakiiritlemise maksimumi. Sealt alates väljakiiritlemine $1150_{m\mu}$ juures kahaneb, vahemikus $1000_{m\mu} - 750_{m\mu}$ väljakiiritlemine on enamvähem konstantne kuid $750_{m\mu}$ juurest väljakiiritlemine jälle suureneb järsult.

Võrreldes neid tulemusi infrapunase sähvatuse tundlikkuse spektriga, võib arvata, et $1150_{m\mu}$ juures asub haardenivoode grupp, millelt vabastatud elektronid rekombineerumisel annavad kiirguse. Väljakiiritlemine, mis tekib alates $750_{m\mu}$ toimub ilma, et sellega kaasneks sähvatus. See on arvatavasti tingitud sellest, et $550_{m\mu}$ valgus vabastab vastasmärgiga laengud (aktivaatori nivoodel olevad augud). Vabade aukude ja sähvatuse maksimumile $1070_{m\mu}$ vastavatel haar-



Joonis nr. 22.

denivoodel olevate elektronide rekombineerumine kutsubki
esile nendel nivoodel salvestunud valguse summa vähenemise.
Vastav rekombineerumine toimub nähtavasti kiirguseta. Seda
mõtet kinnitavad ka kirjanduses olevad andmed /14/, mille
järgi oranz valgus kustutab *Srs-Ce, Sm* luminesentsi.

Lõ p p s õ n a.

Käesolevas töös on uuritud ZnS-Cu(KCl) ja SrS-Cs,Sm-i stimuleeriva valguse tundlikkuse kõveraid. ZnS-Cu(KCl)-il mõõdeti sähvatuse ja kustutamise tundlikkuse kõveraid ja võrreldi neid omavahel. Õnnestus näidata kahe tundlikkuse maksimumi olemasolu lainepikkuste vahemikus 620-1000 $m\mu$ (645 $m\mu$ ja 750 $m\mu$).

Mõõdeti ka väljakiiritluse spektreid ZnS-Cu(KCl) ja SrS-Cs,Sm-i jaoks. ZnS-Cu(KCl) juures selgus, et teatud kindla väljakiiritleva energiaga ribale vastavatele niivõodelt kiiritletakse laengukandjaid välja ka sellest ribast nii suurema kui ka väiksema lainepikkuste poolt. Esimest juhtu püüti seletada erineva märgiga laengukandjate vabastamisega, teist - esialgse soojusliku võnkeenergia olemasoluga. Need küsimused vajaksid detailsemat uurimist.

Avaldan südamlikku tänu juhendajale füüs.-mat.tead. kand. K.S.Rebasele väga püüdliku juhendamise eest ja instituudi lum.laboratooriumi kollektiivile sooja ja abi-valmis suhtumise eest diplomitöö tegemise perioodil.

Литература

- I Левшин. Фотолуминесценция жидких и твердых веществ, 348, 51 г.
- 3 Л.И.Аникин, Влияние высвечивающего действия возбуждающего света на выход фотолуминесценции кристаллофосфоров.
- 4 Ч.Б.Луцки, Труды ИФА АН ЭССР № 4, 42. 56 г.
5. Ч.Б.Луцки, Труды ИФА АН ЭССР № 3, 3. 55 г.
6. К.С.К.Ребане, Труды ИФА АН ЭССР №6, 126, 57 г.
7. К.С.К.Ребане, Журнал оптика и спектроскопия IV, 211, 58 г.
8. Адирович Э.И. Некоторые вопросы теории люминесценции кристаллов 1951.
- 9 К.С.К.Ребане, Материалы V совещания по люминесценции, 166. 57 г.
- 10 К.С.К.Ребане, Труды ИФА АН ЭССР № 4, 81. 56 г.
- 11 К.С.К.Ребане Труды ИФА АН ЭССР № 7.
12. К. Ребане Диссертация, Тарту, 1955г.
13. Broser, J., Broser Warminsky Le Journal de Physique et Le Radium, Colloque de Luminescence 1956
14. H.W. Leverenz An Introduction to Luminescence of Solides
New York, London 1950 p. 181, 182

SISUKORD:

I Sissejuhatus.	I
II Töö eesmärk.	5.
III Aparatuur ja meetodika.	6.
IV Fosfoori ZnS-Cu(KCl) omaduste uurimine	10.
V SrS-Cs,Sm fosfoori uurimine	18.
VI Lõppsõne.	21.