

Пр.	:	29. VIII. 1984
Општи		ОСВЕДОЧЕНО
03	10 / 31	

Захвљујем се ментору овог рада, професору  
др СЛОБОДАНУ ГАРИЋУ, на помоћ при публикацији  
литературе и мерењима, као и на преигланујућем  
МЕРЕЊЕ MAGNETNOG SUSCEPTIBILITETA FARADEJEVOM  
МЕТОДОМ НА СОВНОЈ И НИСКИМ ТЕМПЕРАТУРАМА

(ИЗРАДА, МОНТАЖА И КАЛИБРИСАЊЕ)

Посебну захвалност додељујем мистичару Јовану

СВАДОВИЋ која је директно пратила сва доја-  
нерања и унапретило си указивала на нај-  
прикладнију литературу и пропусте најинтензивније  
при мерењу.

ДУРА ВАРГА

## SADRŽAJ

	Strana
Uvod	1
Geometrijske veličine magnitizma	2
Dijagnostika	3
Paramagnetizam	5
Feromagnetizam	7
Eksperimentalne metode za određivanje magnetnog susceptibilnosti paramagnetičnih i feromagnetičnih materijala	10
Zahvaljujem se mentoru ovog rada, profesoru dr SLOBODANU CARIĆU, na pomoći pri izboru Paradijefov metod	10
Cijevi metod (metoda s jajnim dijelova)	11
Krinksor metod (metoda s jajnim dijelova)	11
Radio-frekvenčni metod merenja magnetnog susceptibilite	11
Posebnu zahvalnost dugujem i mr DUŠANKI Praktičan rad OBADOVIĆ koja je direktno pratila sva moja dijagnostika	11
merenja i blagovremeno mi ukazivala na naj-Magnetochemiju prikladniju literaturu i propuste načinjene	11
Elektromagnet pri merenju.	21
Izgradnja	22
Karakteristike elektromagneta	23
Gradijent magnetskog polja	26
Vježbanje usorka	30
Kalibriranje	32
Standardi	33
Kalibracija terazijska	36
Mjerenje	37
Eksperimentalni rezultati	39

## SADRŽAJ

	Strana
Uvod .....	1
Osnovne veličine magnetizma .....	2
Dijamagnetizam .....	3
Paramagnetizam .....	5
Feromagnetizam .....	7
Eksperimentalne metode za određivanje magnetnog susceptibiliteta paramagnetičnih i dijamagnetičnih materijala .....	9
Faradejev metod .....	9
Gijev metod (metod dvojne cilindrične ampule)	12
Kvinkeov metod (metod podizanja tečnosti) ..	13
Radio-frekventni metod merenja magnetnog susceptibiliteta .....	15
Praktičan rad po Faradejevom metodu .....	15
Dijamagnetna korekcija .....	17
Magnetohemijska sistematika .....	19
Elektromagnet .....	21
Ispravljач .....	22
Karakteristike elektromagneta .....	23
Gradijent magnetnog polja .....	30
Vešanje uzorka .....	30
Kalibriranje .....	32
Standardi .....	33
Kalibracija terazija .....	36
Hlađenje .....	37
Eksperimentalni rezultati .....	39

Izračunavanje dijamagnetskih korekcija .....	41
Vrednosti za magnetni moment .....	45
Zaključak .....	46
Prilozi .....	48
Literatura .....	57

osnovne grupe: dijamagnetske, paramagnetske, kod kojih jačina dejstva sile ne zavisi od prethodnog dejstva magnetskog polja, i feromagnetske (anti - i ferimagnetički) kod kojih dejstvo magnetskog polja zavisi od prethodnog dejstva magnetskog polja na materijal.

U ovom radu će se pretežno ispitivati delovanje magnetskog polja na paramagnetske i dijamagnetske materijale. Osnovna interakcija između magnetskog polja i materijala je interakcija polje-dipol, te veličina sile zavisi od broja dipola na kojem polje deluje. Broj dipola možemo procenjivati, meriti količinom materijala koji se nalazi u nekoj zapremini ili količinom dipola koja se nalazi u određenoj mapi. Shodno tome magnetske veličine ćemo svoditi na jedinicu zapremine ili na jedinicu mape.

Veličina koja karakteriše materijale u magnetskom polju je magnetski susceptibilitet. U ovom radu ćemo ispitivati magnetski susceptibilitet i to preko sile koja dejstvuje na materijal koji se nalazi u magnetskom polju. Kao osnovni instrument za merenje veličine sile dejstva koristi se vaga.

Upoznaćeno se je sa nekim osnovnim veličinama koje karakterišu magnetno polje, odnosno materijala koji se nalaze u magnetnom polju. Prva veličina je jačina magnetnog polja. N

gde je  $B = \mu_0 H$ .  
Osnovna magnetna karakteristika materijala u magnetnom polju je veličina sile kojom magnetno polje deluje na materijal. Prema veličini te sile materijale klasifikujemo u tri osnovne grupe: dijamagnetne, paramagnetne, kod kojih jačina dejstva sile ne zavisi od predhodnog dejstva magnetnog polja, i ferromagnetne (anti - i ferimagneticni) kod kojih dejstvo magnetnog polja zavisi od predhodnog dejstva magnetnog polja na materijal.

U ovom radu će se pretežno ispitivati delovanje magnetnog polja na paramagnetne i dijamagnetne materijale. Osnovna interakcija između magnetnog polja i materijala je interakcija polje-dipol, te veličina sile zavisi od broja dipola na koje polje deluje. Broj dipola možemo procenjivati, meriti količinom materijala koji se nalazi u nekoj zapremini ili količinom dipola koja se nalazi u određenoj mase. Shodno tome magnetne veličine ćemo svoditi na jedinicu zapreme ili na jedinicu mase.

Kako je  $B = \mu_0 H$  bilo  
Veličina koja karakteriše materijale u magnetnom polju je magnetni susceptibilitet. U ovom radu ćemo ispitivati magnetni susceptibilitet i to preko sile koja dejstvuje na materijal koji se nalazi u magnetnom polju. Kao osnovni instrument za merenje veličine sile dejstva koristi se vaga.

Spasilačna magnetizacija se definiše kao magnetni moment jedinice masu.

Upoznaćemo se sa nekim osnovnim veličinama koje karakterišu magnetno polje, odnosno materijala koji se nalaze u magnetnom polju. Prva veličina je jačina magnetnog polja  $H$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} + \vec{J}^*$$

gde je  $B$ -magnetna indukcija,  $J$ -magnetizacija (namagnetisanost) magnetna permeabilnost vakuuma  $\mu_0$  ( $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ ).

Uobičava se uzimati i veličina  $\vec{J} = -\vec{J}^*$  pa je

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}).$$

Magnetizacija se definiše kao količnim magnetnog momenta i odgovarajuće zapremine

$$\vec{J} = \frac{\vec{M}}{V} = \frac{\sum \vec{M}_i}{V}$$

gde je sa  $\vec{M}_i$  označena magnetni moment elementarnog dipola.

Može se uzeti da je

$$\vec{J} = \chi \vec{H}$$

pa je

$$\chi = \frac{\vec{J}}{\vec{H}} = \frac{\mu_0 J}{B}$$

gde se  $\chi$  naziva susceptibilnost jedinice zapremine materijala ili zapreminska susceptibilnost. Susceptibilnosti je mera promene namagnetisanja materijala  $J$ , pod uticajem spoljašnjeg magnetnog polja  $H$ .

Kako je  $B = \mu H$  biće magnetna konstanta. Rezultujući magnetni moment  $(\mu_0 / (1 - \chi)) = \mu_0 (\chi H)$  je mera promene namagnetisanja pod uticajem spoljašnjeg magnetnog polja.

$$\chi = \frac{\mu - \mu_0}{\mu_0}$$

Magnetizacija  $J$  mogla bi se nazvati zapreminska magnetizacija, za razliku od specifične i molarne magnetizacije.

Specifična magnetizacija se definiše kao magnetni moment jedinične mase

$$\frac{M}{m} = \frac{VJ}{m} = \frac{J}{\rho}$$

Molarna magnetizacija je proizvod specifične magnetizacije i Avogadrovog broja  $N$  spoljašnjeg magnetnog polja.

$$\frac{\vec{M}}{m} N = \frac{\vec{J}}{A} A$$

$A$  je atomska ili molekulska masa.

Magnetizacija se povećava kada se povećava jačina magnetnog polja pa je

$$\frac{\vec{M}}{m} = \chi \vec{H}$$

$\chi$  se naziva specifični susceptibilitet, kao što je već rečeno postoji i zapreminski susceptibilitet koji se označava sa  $\mathcal{K}$ , veza između ove dve vrste magnetnog susceptibiliteta je sledeća:

$$\chi = \frac{\mathcal{K}}{V}$$

Lit.: 1, 3, 4, 5 i 8.

### DIJAMAGNETIZAM

Dijamagneti su materijali čiji atomi ili molekuli nemaju sopstvene permanentne magnetne momente. Rezultujući magnetni moment se dobija pod uticajem spoljašnjeg magnetnog polja.

Prema svojoj prirodi dijamagnetizam je takav da je opšta osobina svih tela, u manjoj ili većoj meri se javlja u svim materijalima. Činjenica što se ne može konstatovati u mnogim telima pokazuje da u njima postoje i drugi jači oblici magnetizma, a naročito paramagnetizma. Dijamagnetizam se odnosi na kretanje elektrona (Larmorova precesija) u atomu i na njegovu trajektoriju, odnosno na uticaj spoljašnjeg mag-

Molarne dijamagnetske susceptibilnosti  
netnog polja na orbitalno kretanje elektrona. Indukovani moment  
je orijentisan u dijamagnetiku protiv spoljašnjeg magnetskog  
polja.

gde je  $\chi$ . Ustanovljeno je da je za dijamagnetne supstance  $\chi$   
vrlo malo, ali i da je negativno

$\chi < 0$  Prema jednačini se može odrediti red veličine

$\chi \approx \frac{M}{H}$ , uzimajući da je  $M$  vrednost sa magnetni

susceptibilitet  $M < M_0$  iz čega se vidi da je to mala  
veličina. Ovaj rezultat pokazuje da dijamagnetičnost ne zavisi od  
temperaturе.

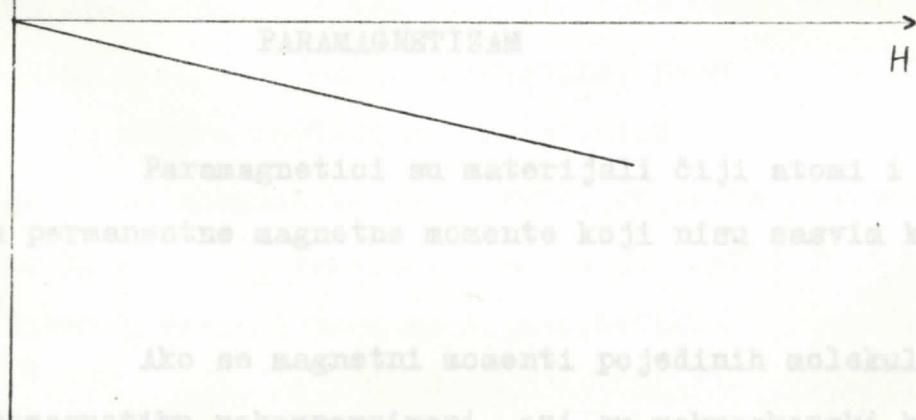
Iz relacije

$$\vec{J} = \chi \vec{H}$$

gde je  $\chi$  negativno, može se i grafički prikazati zavisnost  
magnetizacije od jačine magnetskog polja (sl. 1.1). Vidi se da  
prava linija  $J = f(H)$  nije strma zbog vrlo malih negativnih  
vrednosti  $\chi$ .

da  $J$  je vrednost sa magnetnom temperaturom.

Lit.: 1, 3, 5, 7, 8 i 9.



Paramagneti su materijali čiji atomi i molekuli  
imaјu permanentne magnetske momente koji nisu sasvim kompen-  
sirani.

Ako su magnetski momenti pojedinih molekula suštveni  
u paramagnetiku nakompensirani, oni su makroskopski kompensira-  
ni bez primstva spoljašnjeg magnetskog polja. Međutim prilikom  
podvrgavanja paramagnetičnim spoljašnjem magnetskom polju magneti-  
ci momenti

Sl. 1. 1

U atomima dijamagnetika rezultujući magnetski mo-  
menti su jednaki nuli.

Molarna magnetska susceptibilnost  $\chi_M$  za dijamagnetike je na osnovu Lanževenove (P.Langevin) formule data sa

$$\chi_M = - \frac{M_0 e^2 Z N}{6\pi} \sum_{i=1}^Z \frac{r_i^2}{r_i}$$

gde je  $\bar{r}_i$  srednja vrednost radijusa vektora elektrona,  $Z$  je broj elektrona u atomu (molekulu).

Prema ovoj jednačini se može odrediti red veličine  $\chi_M$ , uzimajući  $r_i^2 = 10^{-20} \text{ m}^2$  dobija se vrednost za magnetni susceptibilitet  $\chi_M \sim 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  iz čega se vidi da je to mala veličina. Ovaj rezultat pokazuje da dijamagnetizam ne zavisi od temperature.

Osim dijamagnetizma atoma postoji i dijamagnetizam elektronskog gasa. U kvantnoj teoriji dolazi se do rezultata, da zbog kuantovanja periodičnih kretanja, dijamagnetizam elektronskog gasa ima neku vrednost različitu od nule. Vrednost dijamagnetizma elektronskog gasa je takođe mala, a karakteristično je da i ta vrednost ne zavisi od temperature.

Lit.: 1, 3, 5, 7, 8 i 9.

### PARAMAGNETIZAM

Paramagneti su materijali čiji atomi i molekuli imaju permanentne magnetne momente koji nisu sasvim kompenzirani.

Ako se magnetni momenti pojedinih molekula smatraju u paramagnetiku nekompenzirani, oni su makroskopski kompenzirani bez prisustva spoljašnjeg magnetnog polja. Međutim prilikom podvrgavanja paramagnetika spoljašnjem magnetskom polju magnetni momenti pojedinih atoma, molekula orijentisu se pod dejstvom polja.

Molarna magnetna susceptibilnost paramagnetika iznosi prema Kiri-Lanževenovom zakonu

$$\chi_M = \frac{N\mu^2}{3kT}$$

$$\chi_M = \frac{C}{T} \quad C = \frac{N\mu^2}{3k}$$

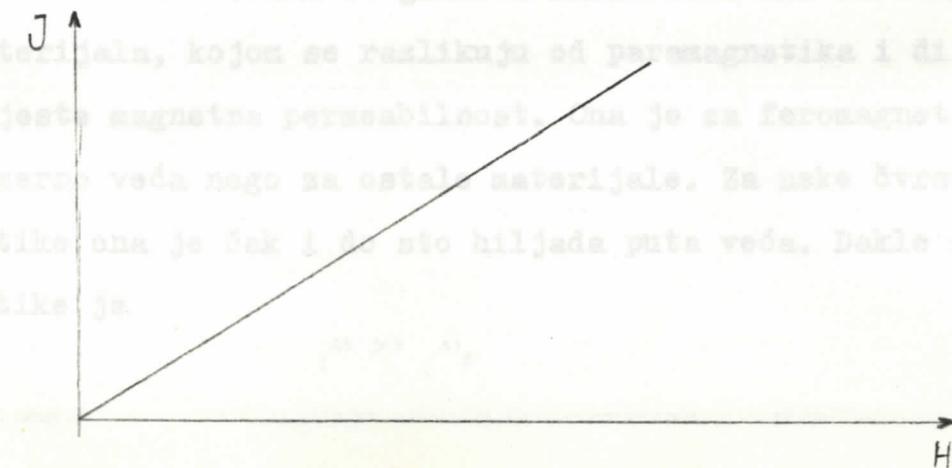
$\mu$  magnetni moment jednog atoma,  $C$  Kirijeva konstanta. Vidi se da paramagnetizam zavisi od temperature, odnosno da topotna energija ometa magnetne momente atoma da se orijentišu pod uticajem magnetnog polja.

Vrednost magnetne susceptibilnosti pokazuje da za paramagnete važi da je vrednost magnetne susceptibilnosti za paramagnete  $\chi > 0$  što je blistvje jedinica, te je i u sl. 1.2 ili ilustraciji slike israđenosti magnitrnih suscibita kod raznih materijala.

$$\chi > \chi_0$$

lit.: 1, 2, 3, 7, 8 i 9.

Takođe se vidi da je za paramagnete vrednost susceptibilnosti mala pozitivna veličina. Za pretežan broj paramagnetika absolutna vrednost suscibiliteta veća je od odgovarajuće absolutne vrednosti za dijamagnete, pa prava linija  $J = f(H)$  za paramagnete izgleda kao na sl. 1.2. Upoređenjem ove prave linije za paramagnete i odgovarajuće prave linije za dijamagnete na sl. 1.1. zaključuje se da je koeficijent pravca ovde pozitivan i veći od onog za dijamagnete.



Sl. 1. 2

Rezultati dobiveni pomoću kvantne statistike pokazuju da je paramagnetizam elektronskog gasa tri put veći od njegovog dijamagnetizma.

Numeričke vrednosti pokazuju da su i dijamagnetizam i paramagnetizam slabo izražene magnetne pojave, iako se međusobno ipak razlikuju.

Detaljnija proučavanja su pokazala da su jednovalentni metali po pravilu paramagnetični. Kao jedna od ilustracija toga mogu služiti spoljašnji elektroni sa odgovarajućim spinom, gde se vodi računa o neuravnoteženosti magnetnih momenata atoma i elektrona.

Magnetna relativna permeabilnost i u dijamagnetičima i u paramagnetičima vrlo je blizu jedinice, te je i to jedna od ilustracija slabe izraženosti magnetnih osobina kod takvih materijala.

Lit.: 1, 3, 5, 7, 8 i 9.

### FEROMAGNETIZAM

Feromagnetični su materijali čiji atomi i molekuli imaju nekompenzirane magnetne momente, ali tako da materijal u celini ima magnetni moment i u odsustvu spoljašnjeg magnetnog polja.

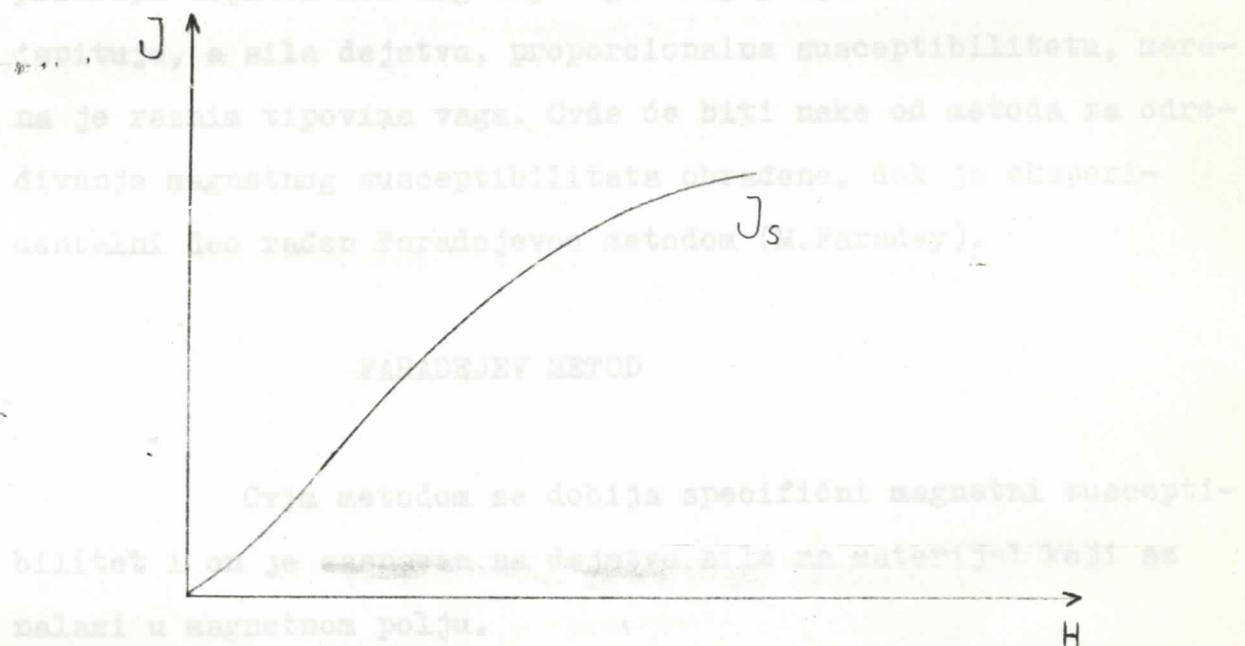
Jedna od glavnih karakteristika feromagnetičnih materijala, kojom se razlikuju od paramagnetičkih i dijamagnetičkih, jeste magnetna permeabilnost. Ona je za feromagnetične nesrazmerno veća nego za ostale materijale. Za neke čvrste feromagnetične ona je čak i do sto hiljada puta veća. Dakle za feromagnetične je

$$\mu \gg \mu_0$$

### ESKIMENTALNO MJEĐU SA ODREĐIVANJE

U feromagneticima se magnetizacija dobija nesrazmerno lakše, i to vrlo jaka magnetizacija slabijim poljem nego kod paramagnetika. Osim toga lako se postiže zasićenost ( $J_s$ ). Osim toga, zavisnost  $J = f(H)$  nije linearna kao kod paramagnetika i dijamagnetika, nego je krivolinijska što se i vidi sa slike

1.3. paramagnetskih mjerilaca najvećim delom su zasnovane na principu dejstva nehomogenog magnetskog polja na usprak koji se



Sl. 1. 3

U nehomogenom magnetskom polju na usprak usne koji se ispituje, svrhu sile  $F$ , u pravcu gradivnje magnetskog polja.

Pošto feromagnetizam nije tema ovog rada dalje objašnjenja neće biti data. Neki pojmovi iz feromagnetizma će se susresti pri obradi karakteristika magneta koji je upotrebljavan pri eksperimentalnom delu ovog rada.

Lit.: 1, 3, 5, 7, 8 i 9.

Mernaje ova mreža dopušta da se odredi  $\chi_m$ , ako je u datoj težki posredstvu veličina  $\frac{d(H)}{dx}$ , ili ako je merni pri-  
bor na odgovarajući način kalibriran.

## EKSPERIMENTALNE METODE ZA ODREĐIVANJE

MAGNETNOG SUSCEPTIBILITETA PARAMAGNETNIH

I DIJAMAGNETNIH MATERIJALA

Aparature za merenje magnetnog susceptibiliteta dila i paramagnetičnih supstanci najvećim delom su zasnovane na principu dejstva nehomogenog magnetnog polja na uzorak koji se ispituje, a sila dejstva, proporcionalna susceptibilitetu, merna je raznim tipovima vaga. Ovde će biti neke od metoda za određivanje magnetnog susceptibiliteta obrađene, dok je eksperimentalni deo rađen Faradejevom metodom (M.Faraday).

### FARADEJEV METOD

Ovim metodom se dobija specifični magnetni susceptibilitet i on je zasnovan na dejstvu sile na materijal koji se nalazi u magnetnom polju.

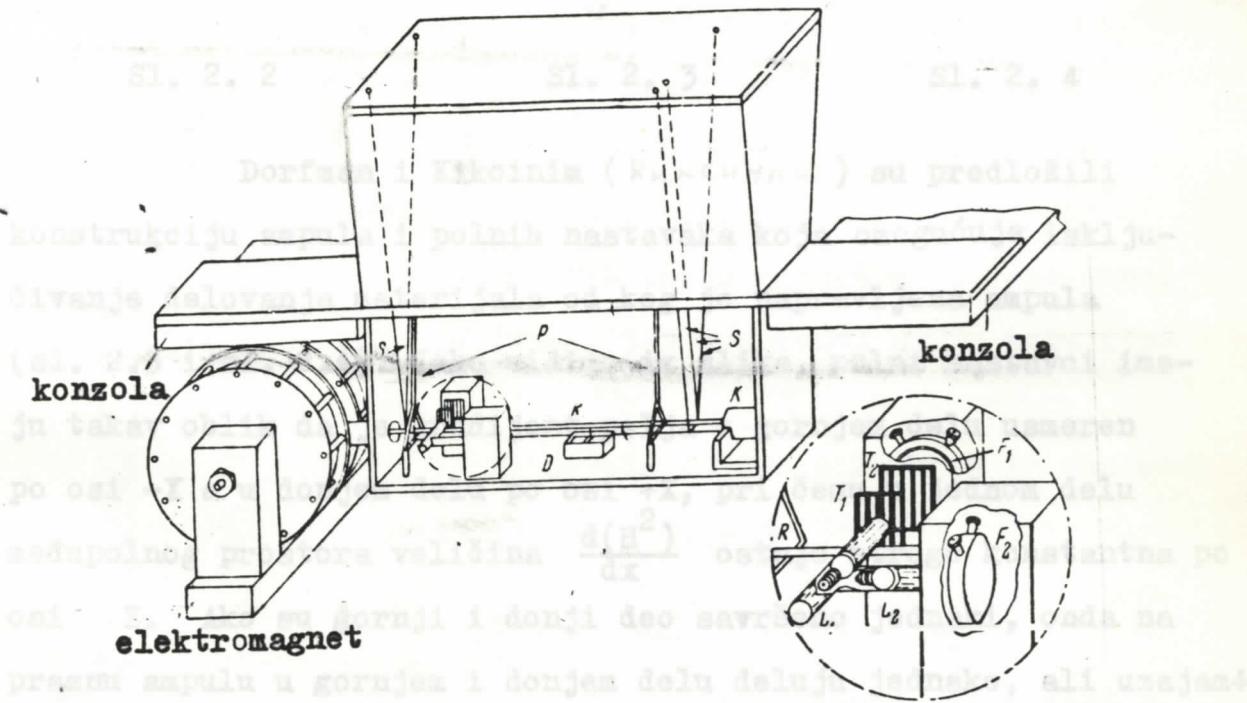
U nehomogenom magnetnom polju na uzorak mase  $m$  koji se ispituje, deluje sila  $f_x$  u pravcu gradijenta magnetnog polja. (Pretpostavlja se da je uzorak dovoljno mali, da se  $\frac{d(H^2)}{dx}$  bitno ne menja po pravcu kretanja uzorka. Ako je  $\chi$  specifični magnetni susceptibilitet sila koja deluje na uzorak je data ovim izrazom:

$$f_x = \chi m H \frac{dH}{dx} = \frac{1}{2} \chi m \frac{d(H^2)}{dx}$$

Merenje ove sile dopušta da se odredi  $\chi$ , ako je u datoј tački poznata veličina  $\frac{d(H^2)}{dx}$  ili ako je merni pribor na odgovarajući način baždaren.

Jasno je da se sila  $f_x$  može meriti na razne načine. Najrasprostranjenija su dva aparata za merenje ove sile: torziona vaga, koju su prvi predložili Kiri (P.Curie) i Šenevo (Chenéveau) i vaga sa klatnom koju su stvorili Vajs (P. Weiß) i Foeks (G.Föex). Oba ova aparata su često usavršavana i menjala su svoj izgled.

Na slici je data šema jednog načina realizovanja aparature za merenje magnetnog susceptibiliteta materijala pomoću horizontalne vase.



Sl. 2. 1

Na slici 2.1 je prikazana vaga sa klatnom sa elektromagnetskom kompenzacijom i fotoelektričnom registracijom, koju su primenili Dorfman (Я.Г.Дорфман) i Sidurov (С.К.Сидоров). Svim oblicima, je premaštanje nultog položaja materijala koji se ispituje od jednog ogleda do drugog. Pošto kod ovog metoda potrebno je biti uvezena neznatna mjerljiva mognutja, rezultati

Za rad sa torzionom vagom i vagom sa klatnom, primenjuju se polni nastavci oblika kakav je prikazan na sl. 2.2 u kojima  $\frac{d(H^2)}{dx}$  ima konstantnu vrednost na dužini 5-10 mm blizu tačke 0.

(sl. 2.2 DVOJNE CILINDRIČNE AMPULE)

Merenjem polouga ove metode dobija se zapreminski magnetni susceptibilitet. Materijal koji se ispituje stavlja

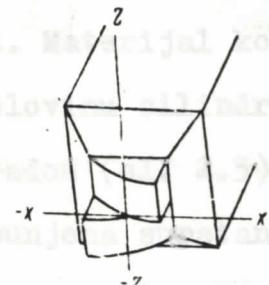
se u jednu od dvojne polovine cilindrične ampule, koja je po pregradama razdijeljena na tri komponente.

Uz je svakirana ili popunjena s vodom do tačke 0, u drugu dolje je stavljen ampula sa strogo cilindrično usmerenim

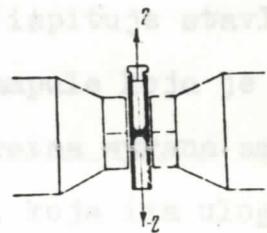
gradijentom polja. Uz ovaku situaciju dobija se zapreminski magnetni susceptibilitet.



Sl. 2. 2



Sl. 2. 3



Sl. 2. 4

Dorfman i Kikoinim (Кикоиним) su predložili konstrukciju ampula i polnih nastavaka koja omogućuje isključivanje delovanja materijala od kog je napravljena ampula (sl. 2.3 i sl. 2.4). Kako vidimo iz slika, polni nastavci imaju takav oblik da je gradijent polja u gornjem delu usmeren po osi -X a u donjem delu po osi +X, pri čemu u jednom delu međupolnog prostora veličina  $\frac{d(H^2)}{dx}$  ostaje strogo konstantna po osi Z. Ako su gornji i donji deo savršeno jednaki, onda na praznu ampulu u gornjem i donjem delu deluju jednake, ali uzajamne normalne sile  $\pm f_x = \chi_m H \frac{dH}{dx}$ , odатle sledi da je vaga u stanju mirovanja. Pri punjenju gornjeg ili donjeg dela ampule vaga meri silu koja deluje samo na materijal koji proučavamo i koja ne zavisi od materijala ampule.

Osnovni izvor greške Faradejeve metode, u svim njenim oblicima, je premeštanje mnogog položaja materijala koji se ispituje od jednog ogleda do drugog. Pošto kod ovog metoda polje mora biti nehomogeno, premeštanje mnogog položaja materijala

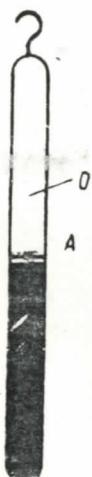
la je neizbežno vezano sa izvesnom promenom sile koja deluje i izaziva grešku u njenom merenju.

Lit.: 1, 8 i 9.

### GIJEV METOD (METOD DVOJNE CILINDRIČNE AMPULE)

Merenjem pomoću ove metode dobija se zapreminska magnetna susceptibilitet. Materijal koji se ispituje stavlja se u gornju ili donju polovinu cilindrične ampule koja je po polovini podejena pregradom (sl. 2.5). Suprotna strana ampule je evakuirana ili popunjena supstancom O, koja ima ulogu

etalona. Ampula se strogo simetrično smešta između polnih nastavaka elektromagneta, tako da se pregrada ampule i količina gasa koje njoj pripadaju nalaze u jakom homogenom polju. Oba kraja ampule se nalaze tamo, gde je intenzitet magnetnog polja relativno mali.



Na ampulu deluje sila koja je usmerena po njenoj osi i koja je jednaka

$$f = \frac{1}{2} (\chi_1 - \chi_2) (H_1^2 - H_2^2) S$$

gde su  $\chi_1$  i  $\chi_2$  odgovarajući specifični magnetni susceptibiliteti materijala koji se is-

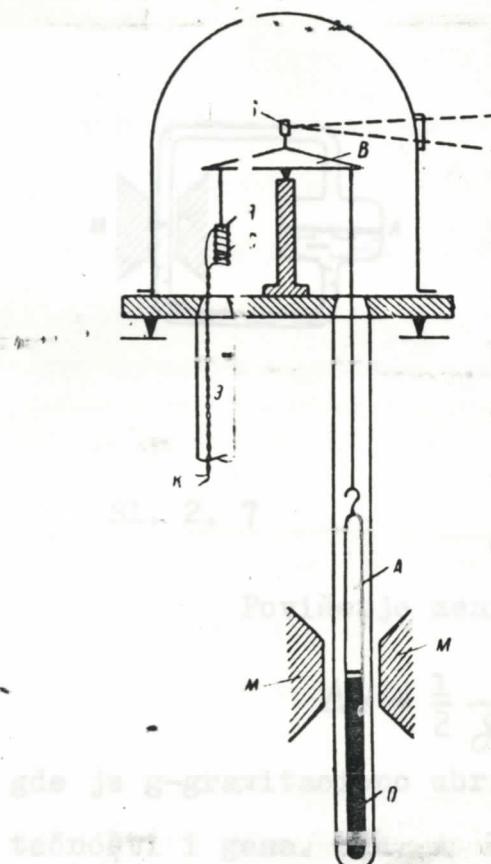
todi na tačnosti i etalona,  $H_1$  i  $H_2$  maksimalne i minimalne vrednosti jačine magnetnog polja a

sl. 2.5 parom (sl. 2.7). S-površina poprečnog preseka ampule.

Na slici 2.6 je šematski prikazana aparatura za merenje magnetnog susceptibiliteta Gijevim metodom. Niz istra-

živača je merilo silu preko osetljive analitičke vase. Ako je kod merenja potrebno značajno povišenje ili sniženje temperature, onda se zbog izbegavanja konvekcionih struja celo aparatura stavlja u vakuum. Za postizanje niskih temperatura zalemljena staklena posuda u kojoj se nalazi ampula se potapa u kriostat. Za dobijanje visokih temperatura služi električna peć koja je smeštena ili unutar uređaja ili spolja oko posude.

Lit.: 1, 2, 8 i 9.



Sl. 2. 6

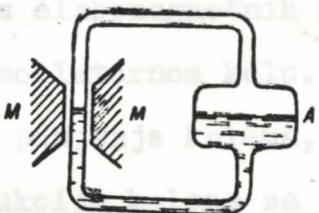
gde je  $g$ -gravitacione sile,  $\rho_1$  i  $\rho_2$  odgovarajuće gustine tečnosti i gornji deo cevčice je popunjena zrakom da bude velikog pravca u poređanju sa pravcem cevčice između polova magneta, tako da se vrednost sila u zraku  $A$  praktično ne menja i tako se može useti na razliku sila. Treba istaći u vidu da i kod najmanje pravca sila u prostoru između polova bočne kapljene sile komplikuju merenje.

#### KVINKEOV METOD (METOD PODIZANJA TEČNOSTI)

Ovaj metod je u suštini primenjivanje Gijevog metoda na tečnosti ili gasove. Između polova magneta se nalazi cevčica čiji je donji deo napunjen tečnošću a gornji gasom ili parom (sl. 2.7). Pod delovanjem magnetnog polja na granicu tečnosti deluje hidrostatički pritisak. Taj hidrostatički pritisak dovodi do pomeranja meniska, koje se obično na neki način

kompenzuje. Veličina pritiska je ovde takva, kao i kod Gijevog metoda. Magnetni susceptibilitet tečnosti i gasa su jednaki odgovarajućim  $\chi_1$  i  $\chi_2$ . Metod je u principu jednako pogodan i za ispitivanje tečnosti i gasova i para. Bitno je da gas ili para nisu znatno rastvorljivi u datoј tečnosti. Metod nije najpogodniji za proučavanje magnetnog susceptibiliteta na relativno visokim temperaturama kada se povećavaju i rastvorljivost gase u tečnosti i gustina para date tečnosti.

Sl. 2. 7



Povišenje meniska tečnosti iznosi

$$\Delta z = \frac{1}{2} \frac{(\chi_1 - \chi_2)}{g(\delta_1 - \delta_2)} H^2$$

gde je  $g$ -gravitaciono ubrzanje,  $\delta_1$  i  $\delta_2$  odgovarajuće gustine tečnosti i gase. Sud A bi po mogućству morao da bude velikog preseka u poređenju sa presekom cevčice između polova magneta, tako da se visina nivoa u sudu A praktično ne menja i  $\Delta z$  se može uzeti za razliku nivoa. Treba imati u vidu da i kod najmanjeg preseka cevčice u prostoru između polova bočne kapijalne sile komplikuju merenje.

Često se Kvinkeov metod primenjuje kao multi metod, pri čemu se pomeranje meniska kompenzuje ili nagibom celog aparata, ili promenom gustine i sastava gase iznad tečnosti. Da bi se izbegle smštinske greške, neophodno je da temperatura u aparatru bude ravnomerna i postojana.

## RADIO-FREKVENTNI METOD MERENJA MAGNETNOG

### SUSCEPTIBILITETA

ne menjuju znatan po rezonanciji (zbog toga uzorak mora biti malih dimenzija). Često je pokušavano merenje magnetnog susceptibiliteta slabomagnetnih materijala menjanjem samoindukcije kalema u oscilatornom kolu. Ipak taj zadatak predstavlja problem, jer punjenje kalema, naprimjer dijamagnetskom supstancom menja indukciju kalema za svega nekoliko milionitih delova. Da bi se ovim metodom izmerio magnetni susceptibilitet materijala sa tačnošću do 1%, neophodno je imati u vidu promene induktivnosti do  $10^{-8}$ .

Kako se promena induktivnosti očituje narušavanjem rezonancije između dva kola, očigledno je za tu vrstu merenja neophodno održavati strogo stabilnu frekvenciju sa tačnošću do  $10^{-8}$ .

Očigledno da je radio-frekvencijski metod primenljiv samo na materijale, kod kojih se ne očekuje zavisnost magnetnog susceptibiliteta od frekvencije. Pri merenju mora biti poznat faktor popunjavanja zapreme u kojoj se nalazi induktivitet. Iz tog razloga je ovaj metod pogodan za merenje magnetnog susceptibiliteta fluida.

## PRAKTIČAN RAD PO FARADEJEVOM METODU

U eksperimentalnoj delu ovog rada korišćen je Faradejev metod. Kod ovog metoda, sila koja je usmerena duž gradijenta magnetnog polja i kojom magnetno polje deluje na uzorak jednaka je

$$F = \chi m H \frac{dH}{dy} = \frac{1}{2} m \chi \frac{d(H^2)}{dy}$$

$H$  - jačina magnetnog polja,  $m$  - masa uzorka,  $\chi$  - magnetska spe-



cifična susceptibilnost.

Važno je napomenuti da se polje  $H$  i izvod  $\frac{dH}{dy}$  ne menjaju znatno po zapremini (zbog toga uzorak mora biti malih dimenzija).

Iz jednačine za silu kojom magnetno polje deluje na uzorak se dobija izraz za magnetnu susceptibilnost i on glasi

$$\chi_s = \frac{F}{m_s H \frac{dH}{dy}}$$

pošto je prvo izmeren gradijent magnetnog polja, rezultati su dati u delu o elektromagnetu kao i u prilogu ( ), meri se promena mase odakle se dobija sila koja deluje na uzorak u magnetnom polju

$$F = \Delta m \cdot g$$

meri se i tačka u kojoj se nalazi uzorak da bi se dobila vrednost za jačinu magnetnog polja. Uzorak se namešta tako da se nalazi u delu u kom je gradijent konstantan.

Pri izračunavanju sile treba uzeti u obzir i uticaj ampule u kojoj se nalazi uzorak, korišćene su ampule od lekova. Iz merenja se dobija da su te ampule paramagnetične. Da bi se izbegao uticaj ampule na merenje na početku se izmeri promena mase ampule, kao rezultata uticaja magnetnog polja

$\Delta m_p = m'_p - m''_p$   
 $m'_p$  - masa ampule van magnetnog polja,  $m''_p$  - masa ampule u magnetnom polju.

Sila kojom magnetno polje deluje na praznu ampulu je

$$F_p = \Delta m_p g = (m'_p - m''_p) g$$

U zavisnosti od znaka za  $\Delta m_p$ , da li je istog ili različitog znaka od  $\Delta m$ , promena mase ampule se oduzima ili

sabira sa promenom mase punе kapsule

$$\Delta m = (\Delta m_1 + \Delta m_p)$$

tako da je sila koja se uzima u formuli za dijamagnetnu susceptibilnost data izrazom

$$F = \Delta mg = (\Delta m_1 + \Delta m_p)g$$

Pošto smo dobili vrednost za силу, u izrazu za  $\chi$  ostaje nepoznata masa samog uzorka  $m$  ona se dobija merenjem na terazijama. Pošto je već ranije snimljen gradijent magnetnog polja imamo i njegovu vrednost kao i vrednost jačine magnetnog polja u tački u kojoj se nalazi uzorak. Pošto su nam poznate sve veličine iz formule za  $\chi$  dobijamo i brojnu vrednost za magnetnu susceptibilnost

$$\chi = \frac{F}{m H \frac{dH}{dy}}$$

Da bismo dobili molarni magnetni susceptibilitet moramo vrednost za zapremski magnetni susceptibilitet pomnožiti sa molekulskom težinom supstance

$$\chi_m = m \chi$$

Ovako izmerena vrednost za magnetni susceptibilitet je manja od stvarne vrednosti. Pošto je dijamagnetizam opšta osobina supstance on će uticati da se kod merenja magnetnog susceptibiliteta paramagnetika dobiju manje vrednosti od stvarnih. Zbog toga se mora izvršiti dijamagnetna korekcija, odnosno mora se videti koliki je dijamagnetski doprinos svakog atoma koji se nalazi u jedinjenju. Magnetni susceptibilitet molekula je aditivna veličina što znači da se atomski susceptibiliteti elemenata koji ulaze u sastav molekula sabiraju. Ukoliko je

molekulska formula  $A_x B_y C_z \dots$ , vrednost za molekulski suscep-  
bilitet je data sa

$$\chi_m = \alpha \chi_A + \beta \chi_B + \gamma \chi_C + \dots + \lambda = \sum_{i=1}^k a_i \chi_i + \lambda$$

gde su  $\chi_A, \chi_B, \chi_C$ , atomski susceptibiliteti elemenata A, B, C,  
 $\lambda$  je popravka koja zavisi od strukture molekula i ravna je nu-  
li u normalnim zasićenim jedinjenjima. Pošto su iz literature  
poznate vrednosti dijamagnetnog doprinosa za pojedine atome kao  
i Paskalove popravke u zavisnosti od tipa veze može se izra-  
čunati dijamagnetna korekcija koja je

$$\Delta \chi = \sum_i a_i \chi_i + \lambda$$

i na taj se način otklanja uticaj dijamagnetizma pri merenju  
magnetnog susceptibiliteta paramagneta. (Lit: 8.)

Pclazeći od vrednosti za molarni magnetni suscep-  
bilitet možemo dobiti i vrednost za atomski magnetni moment  
preko formule

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_s}{\mu_B} = \left( \frac{3k\chi_m T}{N_0 \beta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \mu_B = \frac{e \hbar}{4\pi m}$$

$$\mu_{eff} = 2,828 \sqrt{\chi_m T}$$

$N_0$  - broj atoma u gram atomu. Vrednost magnetnog momenta se  
dobija u Borovim magnetonima.

U ovom radu je ovaj način dobijanja vrednosti za  
koristićem samo za standarde. Za nepoznate materijale se koristio  
skraćeni postupak za dobijanje vrednosti magnetnog momenta. Po-  
lazilo se od formule za magnetni moment standarda

$$\mu_s = K \sqrt{\chi_{ms} T} = 2,828 \sqrt{\chi_{ms} T}$$

za nepoznati materijal se uzimao sledeći izraz za magnetni  
moment

$$M = K \sqrt{(\chi_m + \Delta \chi_m) T}$$

$\Delta \chi_m$  su dijamagnetne popravke koje se dobijaju iz tablica.

Ako uzmemo količnik kvadrata magnetnih momenata

Ako uzmemo količnik kvadrata magnetnih momenata standarda i nepoznatog materijala dobijamo

$$\frac{M^2}{M_s^2} = \frac{\chi_M + \Delta \chi_M}{\chi_{M_s}}$$

zamenjujući magnetni susceptibilitet sa odgovarajućim izrazom dobijamo

$$\frac{M^2}{M_s^2} = \frac{F \cdot M}{m H H'} + \Delta \chi_M$$

posle sređivanja dobijamo

$$\frac{M^2}{M_s^2} = \frac{m_s (MF + m H H' \Delta \chi_M)}{m M_s F_s}$$

Krajnji izraz za magnetni moment nepoznatog materijala je

$$M = M_s \sqrt{\frac{m_s (MF + m H H' \Delta \chi_M)}{m M_s F_s}}$$

Važno je napomenuti da se promena mase standarda i nepoznatog uzorka meri u istoj tački, iste su vrednosti za  $H$  i  $\frac{dH}{dy}$ , ovim načinom se skraćuje postupak oko dobijanja brojne vrednosti magnetnih momenata nepoznatih uzoraka.

### MAGNETOHEMIJSKA SISTEMATIKA

Ona dozvoljava da se izračuna molekulski suscep-tibilitet  $\chi_M$  polazeći od sume magnetnih susceptibiliteta  $\chi_A$  atoma koji čine jedinjenje i priraštaja koji potiču od specifičnosti strukture jedinjenja (molekula).

Sistematika koja je usvojena je ona koju je dao Paskal i to iz više razloga:

1. Sistematika počiva na velikom broju merenja koja su vršila G. Foex, C.-J. Gorter i L.-J. Smits, na supstan-cama koje su oni primali ili nadgledavali njihovo pročišćavanje.

2. Oma čini minimum hipoteza.

- da bi poznavali  $\chi_A$  nekog elementa, počevši od koga računamo sve druge vrednosti za atomski magnetni susceptibilitet, pretpostavlja se da Cl ima istu vrednost za magnetni susceptibilitet  $\chi_A$  u svojim organskim jedinjenjima i u molekulama koji čine tečni hlor. Polazeći od merenja koja su vršena na tečnom hloru se nalazi da je vrednost za magnetni susceptibilitet  $\chi_A = -19,9 \cdot 10^{-6}$ . Odatle rezultira vrednost za ugljenik C  $\chi_A = 6,0 \cdot 10^{-6}$  koja se dobro slaže sa velikim brojem merenja izvršenim na različitim oblicima jedinjenja ugljenika.

3. Paskalova sistematika se koristi već više godina u svim radovima o paramagnetizmu gde služi za pravljene korekcije za dijamagnetizam, a takođe i u magnetohemiji. U tablicama (vidi literaturu) su date vrednosti za atomski susceptibilitet  $\chi_A$  i  $\lambda$  (popravka) po staroj sistematizaciji i za organska jedinjenja one veličine koje su sistematski redigovane.

Prikljucna snaga magnetskog polja 2,2 kA

Ukupan broj merenja 280 Lit: 6.

Otpor kalemata 7 Ω

A-merovi 40000

Društvo sile polova 100 mm

Razmak polova 0... 90 mm

Potrebna kolidina hladne vode 0,5 m<sup>3</sup>/h pri punom opterećenju

Dimenzije 695 mm x 410 mm x 500 mm

Težina 250 kg

Na slijedi 3.1 je prikazan elektromagnet sa svojim postoljem.

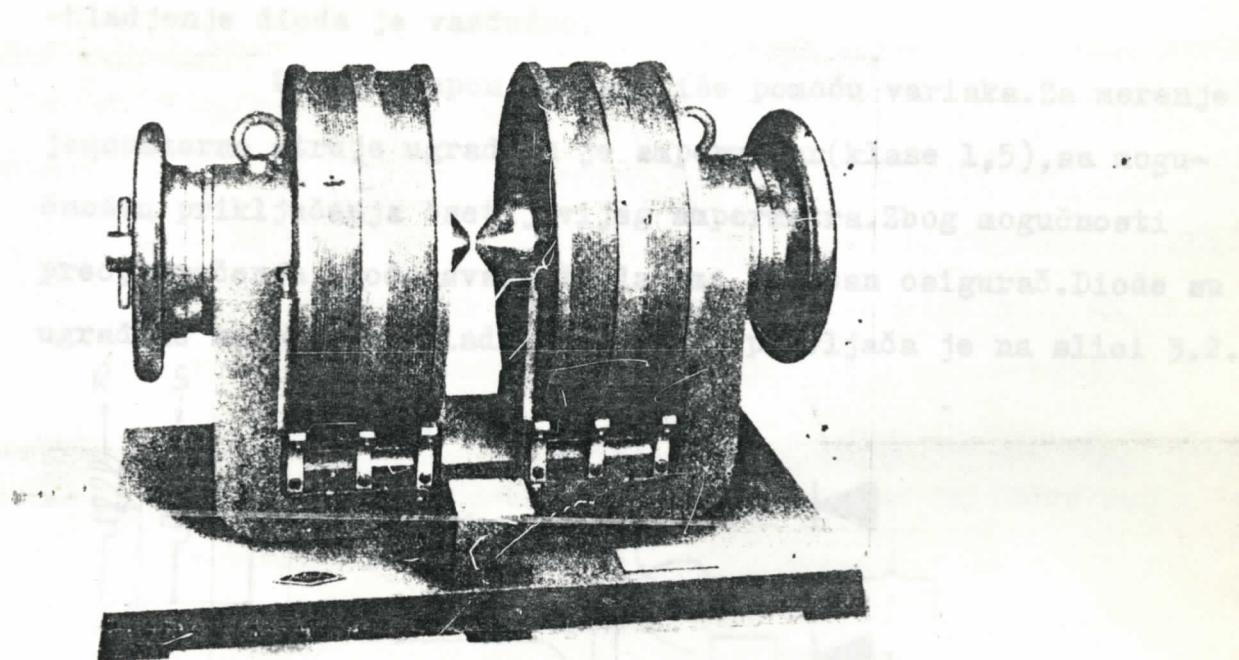
### ELEKTROMAGNET

Elektromagnet koji se koristi pri radu je elektromagnet čije je nacrte dao profesor Vajs. To je uređaj za dobijanje jakog magnetnog polja. Prvenstveno se upotrebljava u specijalnim laboratorijama i naučnim institutima.

Dva kalema na vodoravnim cilindričnim osama elektroda (polova) koji su preko gvozdenih osa u obliku slova U zatvorene u magnetno kolo. Vazdušni zazor između osa elektroda može se menjati pomoću dva rušna točkića. Jedan okretaj = 5 mm. Tačnost čitanja je 0,05 mm. Papučice polova se mogu menjati. Kalemi imaju vodeno hlađenje. Moguć je neprekidan rad (trajna eksploatacija); nema posebnog državanja.

Radni napon	ISPRAVLJANJE 120 V
Potrošnja struje max	18 A
Primljena snaga max	2,2 KVA
Ukupan broj navoja	2600
Otpor kalema	7 Ω
A-navoji	45000
Prečnik ose polova	100 mm
Razmak polova	0.... 90 mm
Potrebna količina hladne vode	0,5 m <sup>3</sup> /h pri punom opterećenju
Dimenzije	695 mm x 410 mm x 500 mm
Težina	250 kg

Na slici 3.1 je prikazan elektromagnet sa svojim postoljem.



Sl. 3. 1

### ISPRAVLJAČ

Za napajanje elektromagneta se koristi ispravljač za jednosmernu struju. Ispravljač koristi transformator "Stik Diii, 50MHz VV/0-8577, 4KW", čiji je proizvođač "ELMA" Ljubljana.

#### 1. Karakteristike transformatora tip VV/0-8577

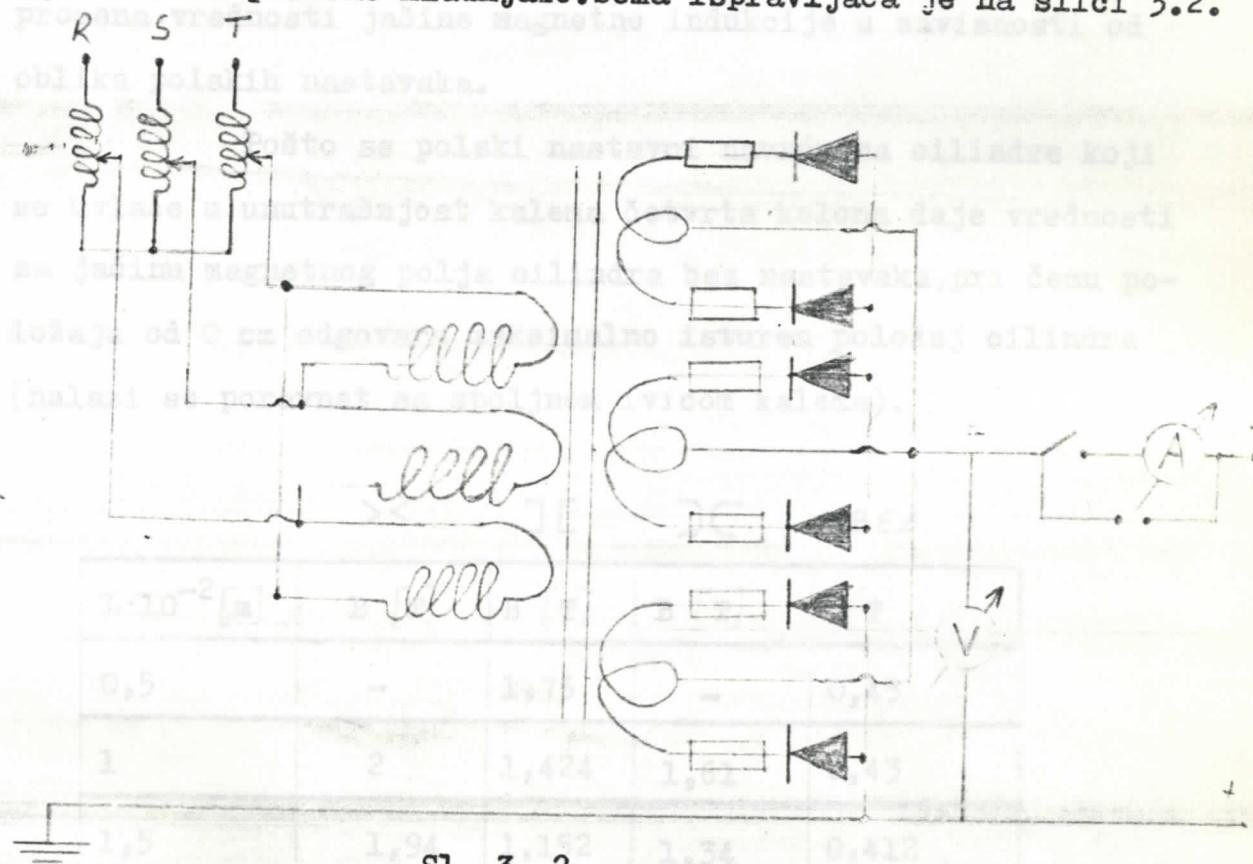
- trofazni transformator
- 4 KW
- namotaji galvansko razdvojeni
- primarni napon 380 V
- sekundarni napon 3x110 V
- frekvencija 50 Hz
- otvoreni ugradni transformator
- povremenih pogon

#### 2. - jednosmerni napon od 0-130 V

- jednosmerna struja max (18 A), sa silicijumskim diodama

-hladjenje dioda je vazdušno.

Ulagani napon se reguliše pomoću variaka. Za merenje jednosmerne struje ugrađen je ampermeter (klase 1,5), sa mogućnošću priključenja osetljivijeg ampermetra. Zbog mogućnosti preopterećenja dioda svaka dioda ima poseban osigurač. Diode su ugrađene na posebne hladnjake. Šema ispravljača je na slici 3.2.



#### KARAKTERISTIKE ELEKTROMAGNETA

Zasnivanje karakteristike elektromagneta je korišćen teslometer, instrument za merenje magnetne indukcije. Teslometer kojim smo raspolagali je mogao da meri vrednost magnetne indukcije do 2 T. Što je donekle ograničavalo mogućnost merenja magnetne indukcije pri malim razmacima između polova elektromagneta.

Pri razmicanju polova vrednost magnetne indukcije brzo opada tako da već pri razmaku od 3 cm i struji od 15 A ono iznosi oko 1 T. Iz priložene tablice 1. i grafika 1. se vidi promena magnetne indukcije u zavisnosti od razmaka između polova. Pošto je snimano za tri vrste polova može se pratiti i promena vrednosti jačine magnetne indukcije u zavisnosti od oblika polskih nastavaka.

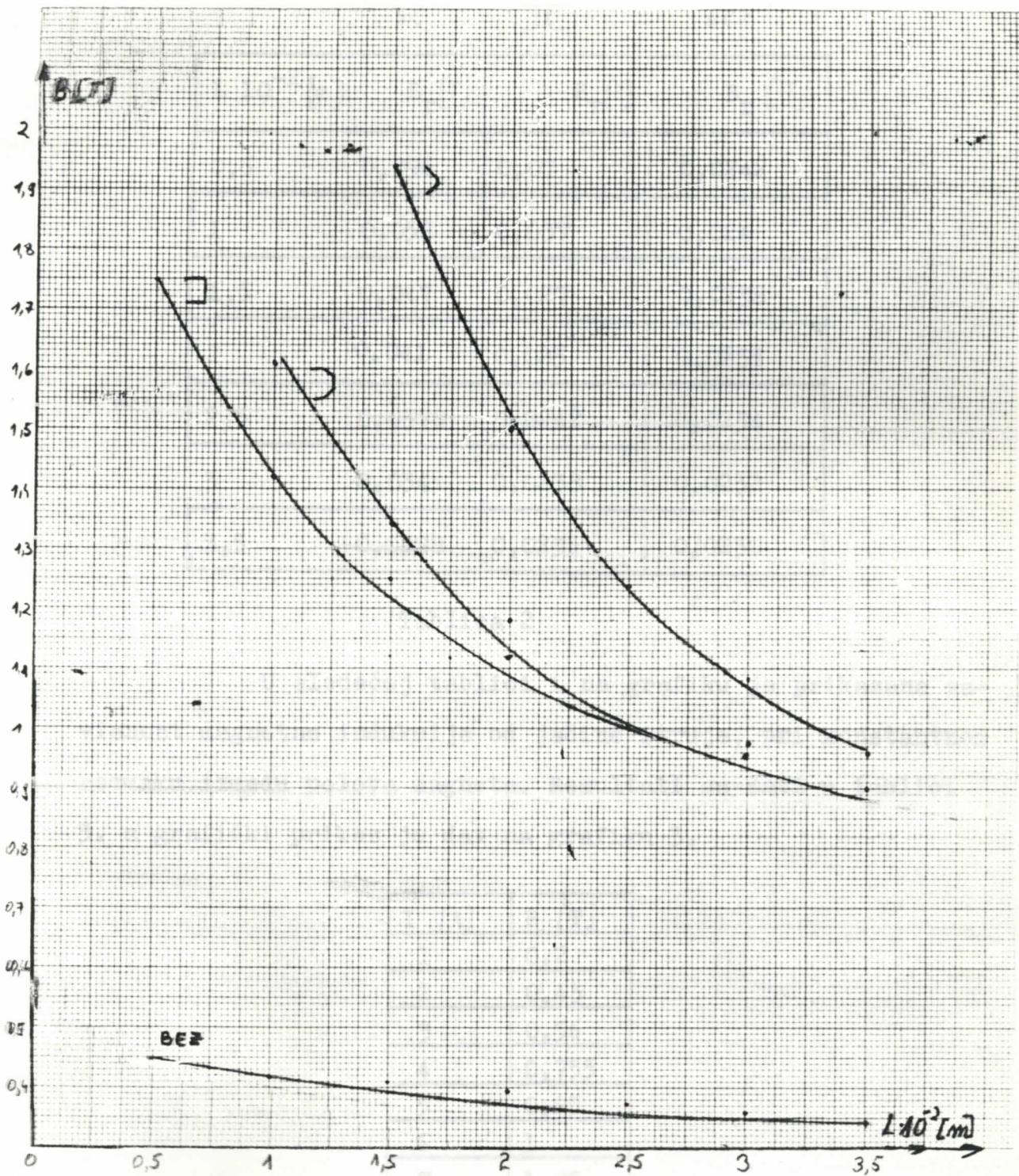
Pošto se polski nastavci navrću na cilindre koji se uvlače u unutrašnjost kalema četvrta kolona daje vrednosti za jačinu magnetnog polja cilindra bez nastavaka, pri čemu položaju od 0 cm odgovara maksimalno isturen položaj cilindra (nalazi se poravnat sa spoljnom ivicom kalema).

$I \cdot 10^{-2} [A]$	><	] $C$	> $C$	BEZ
0,5	-	1,75	-	0,45
1	2	1,424	1,61	0,43
1,5	1,94	1,152	1,34	0,412
2	1,5	1,124	1,18	0,395
2,5	1,248	1,04	1,06	0,375
3	1,084	0,96	0,975	0,36
3,5	0,96	0,9	0,9	0,345

Grafik 1

Tablica 1

Snimljena je rezonancija kako za sase cilindre tako i za odgovarajuća polske nastavke. Izmerene vrednosti su date u sledećoj tablici.



Grafik 1

Tablica 3

Snimljena je remanencija kako za same cilindre tako i za odgovarajuće polske nastavke. Izmerene vrednosti su date u sledećoj tablici

>< DC BEZ

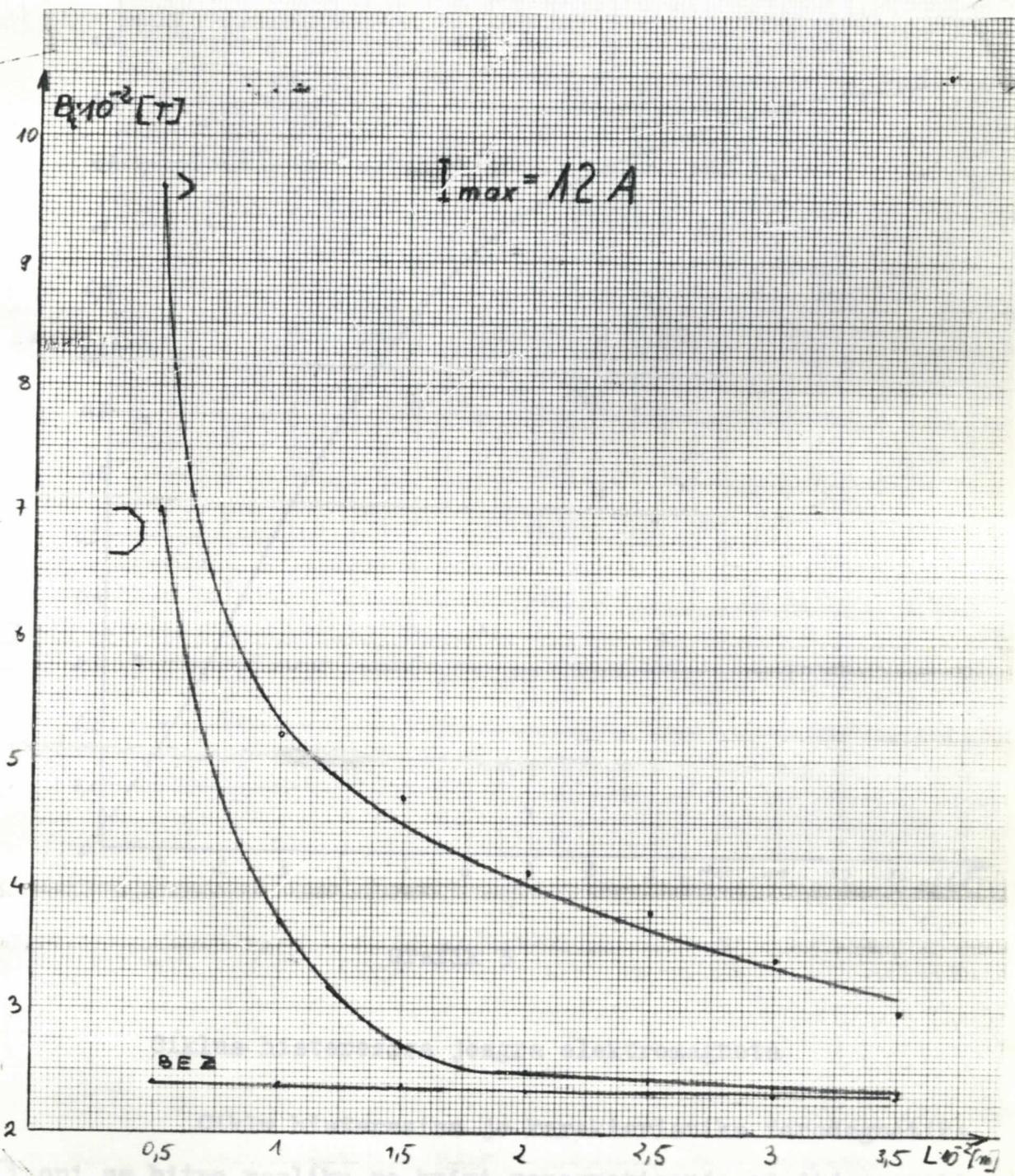
$L \cdot 10^{-2} [m]$	$B_r [T]$	$B_r [T]$	$B_r [T]$
0,5	0,096	0,07	0,0242
1	0,052	0,037	0,024
1,5	0,047	0,027	0,0238
2	0,041	0,025	0,0235
2,5	0,0378	0,0242	0,0234
3	0,034	0,0238	0,0232
3,5	0,0298	0,0235	0,0230

Tablica 2

U sledećoj tablici i na grafiku je prikazana zavisnost magnetne indukcije od jačine struje, pri konstantnom razmaku između polova magneta. Rezultati su dati u tablici 3. a grafički prikaz je dat na grafiku 3.

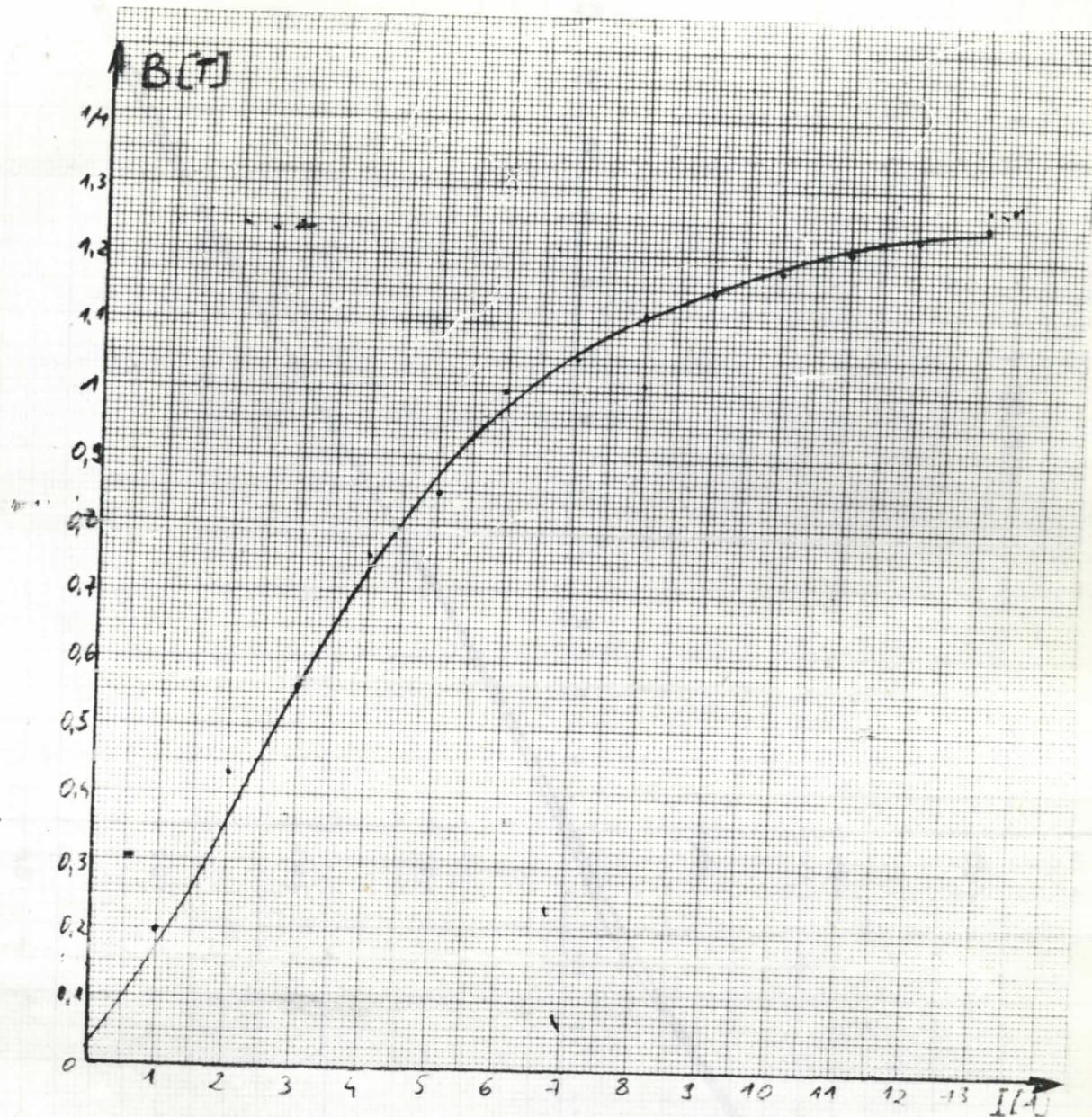
I [A]	B [T]
1	0,2
2	0,43
3	0,56
4	0,755
5	0,85
6	1
7	1,05
8	1,11
9	1,15
10	1,18
11	1,21
12	1,23
13	1,25

Tablica 3



Njoni se nizno razlikuju po krivim magnetiziranja od dijamagnetičkih i paramagnetičkih materijala. Ciljna potrošnja je smanjena za jačanje elektromagneta bez polnih nastavaka. Rezultati su prikazani na grafiku 4.

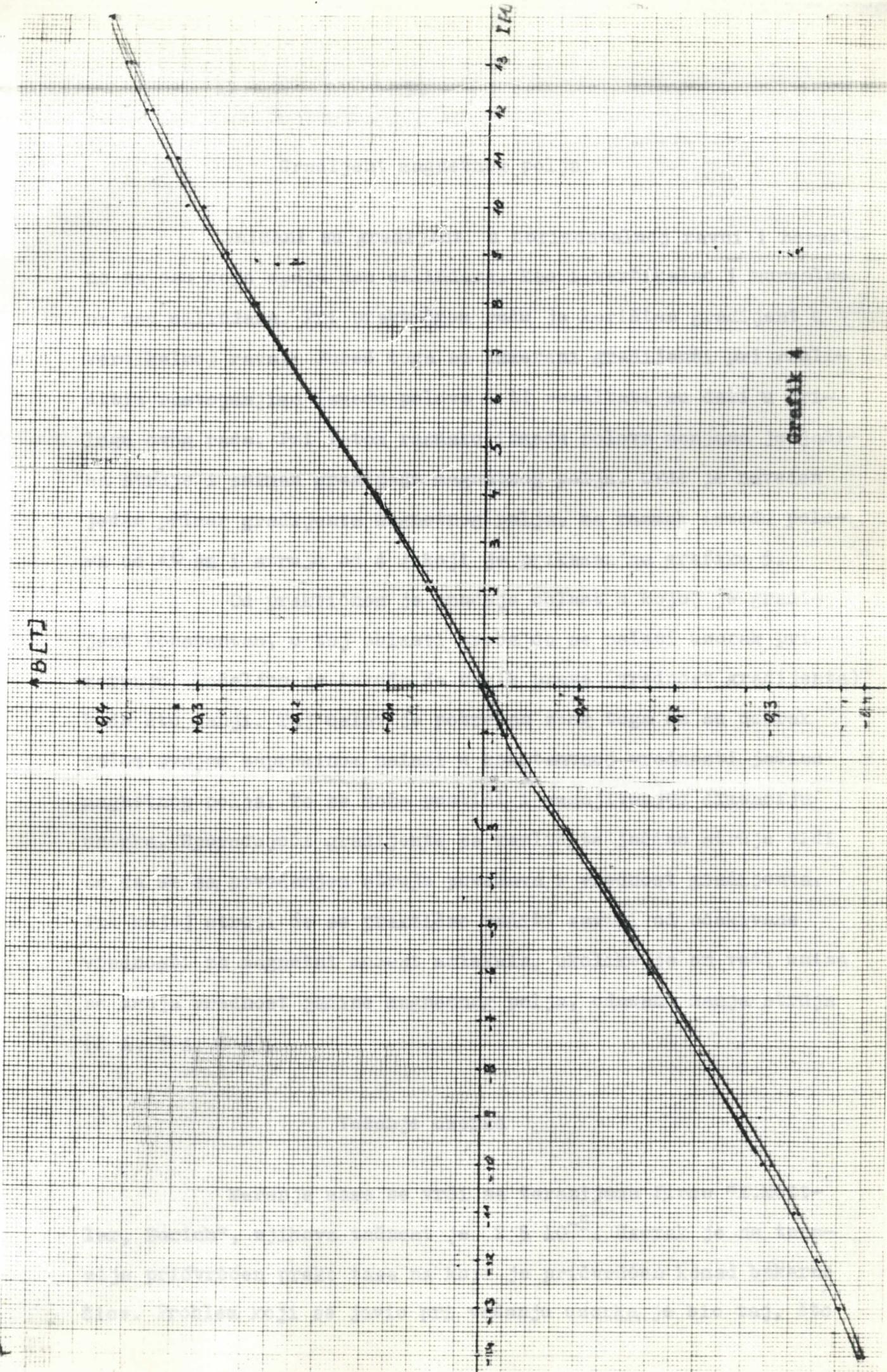
Grafik 2



Grafik 3

Ciklus histerezisa jezgra elektromagneta

Ciklu histerezisa je karakteristika feromagnetika i oni se bitno razliku po krivi namagnetisanja od dijamagnetička i paramagnetička. Ciklus histerezisa je sniman za jezgro elektromagneta bez polskih nastavaka. Rezultati su prikazani na grafiku 4.



### Gradijent magnetnog polja

Snimani su gradijenti u horizontalnoj ravni i normalno na osu koja spaja ose cilindara, kao i vertikalno i normalno na osu cilindara. Pri praktičnom radu je korišten gradijent u vertikalnoj ravni. Pored toga su izmereni gradijenti pri različitim rastojanjima između polova i ti rezultati su dati u prilogu ovog rada. Pri istom razmaku između polova menjana je jačina struje i sniman gradijent magnetnog polja. Ovde je naveden jedan primer gradijenta magnetnog polja, za razmak između polova od 16 sm i struju od 4 A koji je prikazan na grafiku 5.

Od praktičnog je značaja oblast u kojoj je gradijent konstantan, u toj oblasti treba da se nalazi uzorak primerenju. Poželjno je takođe da nagib prave (vrednost gradijenta) bude što manji. Taj uslov je potreban zbog toga da se uzorak celom svojom zapreminom nalazi u konstantnoj vrednosti jačine magnetnog polja. To se može postići i smanjivanjem dimenzija uzorka. Upoređujući gradijente za različite jačine struje vidi se da se sa povećanjem struje povećava i vrednost gradijenta. Pri kojoj struji će se praktično raditi zavisi od očekivane vrednosti za magnetni moment molekula, ukoliko je on veći uzima se manja vrednost jačine magnetnog polja, odnosno manja struja (2 A, 3 A, 4 A).

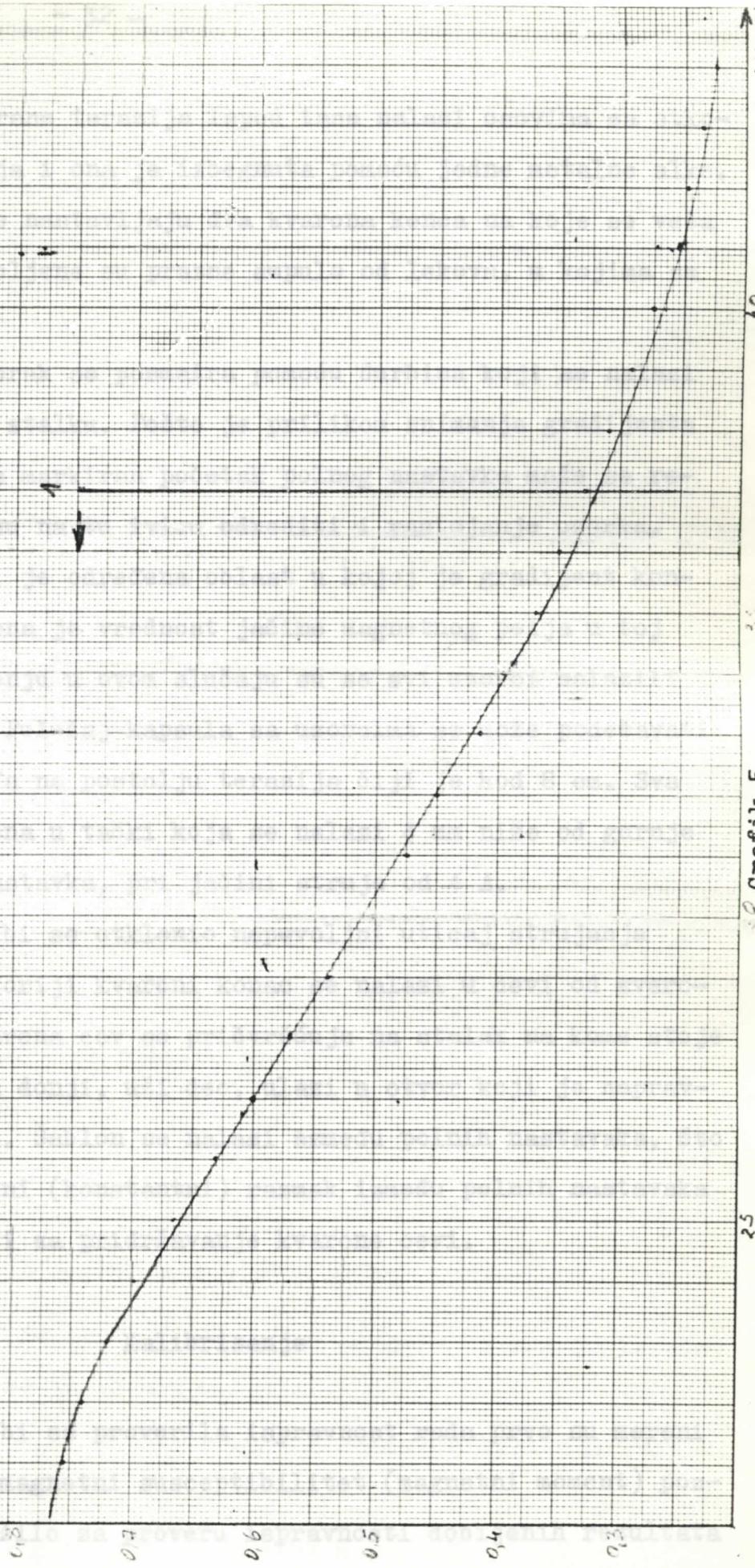
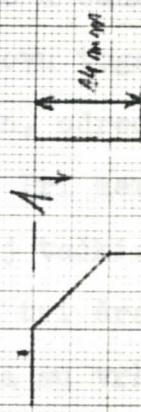
### Vešanje uzorka

Merenje mase se vrši sa terazijama firme "E.Mettler, Zurich", njihova tačnost je  $2,5 \cdot 10^{-5}$ . Uzorak je na terazije pričvršćen preko tasa na koji je pričvršćen komad bakarne žice. Problem koji se javio pri vešanju uzorka je bio taj, što

$$I = 4A$$

$\theta [T]$

$$\frac{\Delta H}{\Delta y} = \frac{0,74 \cdot 0,364}{35 - 25} = 0,3133 \cdot 10^6 \frac{G}{m}$$



se sa donje strane terazija ispod tasa nalazi osovina za otkocavanje terazija i ona je izbegnuta pomoću jedne metalne alke. Odatle se dalje nastavljaju dva kvarcna konca na koje se veša ampula, upotrebljene su prazne ampule od lekova, u kojima se nalazi uzorak.

Uzorak se posmatra pomoću durbina koji se nalazi na vertikalnom stalku. Pošto je prilikom snimanja gradijenta magnetnog polja markiran početak polnog nastavka može se relativno u odnosu na tu ivicu odrediti i rastojanje uzorka. Na osnovu toga, je određena oblast u kojoj je gradijent konstantan, određena je vrednost jačine magnetnog polja u toj tački. Pri merenju u ovom slučaju su se svi uzorci nalazili u istoj tački. Položaj kapsula sa uzorcima se može podešavati pomoću tri šrafa na postolju terazija čiji je hod 8 cm. Sva merenja su vršena u tački koja se nalazi 4 mm niže od gornje ivice polnog nastavka, pri jačini struje od 4 A.

Da bi se otklonio nepovoljni uticaj strujanja vazduha u prostoriji kvarcni konac se nalazi u cevi od svarcnog stakla. Kvarcna cev se pričvršćuje na stalak na kome stoje terazije i njen donji, uži deo, ulazi u otvor koji je napravljen na šablonu. Šablon se nalazi između polnih nastavaka, što obezbeđuje stalni (konstantni) razmak između polnih nastavaka a ujedno služi i za pridržavanje kvarcne cevi.

Da bi se isprobalo Kalibrisanje materijala od kog je izrađena kapsula uslediće da je ukupna sila

Da bi se proverila ispravnost rada prvo su mereni uzorci čiji je magnetni susceptibilitet (magnetni moment) poznat, što je služilo za proveru ispravnosti dobijenih rezultata

za gradijent magnetnog polja. To su bili ujedno i uzorci za kalibraciju terazija što se kasnije može iskoristiti za brzu ali grubu procenu rezultata merenja magnetnog susceptibiliteta (magnetnog momenta).

Uzorak je mješavina ivica polskog magnetika, a u teži tadi je vrednost jedinice magnetnog polja Standardi

$$B = 0,423 \cdot 10^4 \text{ G}$$

U ovom radu je kao standard korišćeno jedinjenje  $\text{HgCo}(\text{CNS})_4$ . U literaturi je vrednost za magnetni susceptibilitet ovog jedinjenja

$$\chi = (+16,44 \pm 0,08) \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

Pri merenju se prvo merila promena mase prazne kapsule pod uticajem magnetnog polja. Dobijeni su sledeći rezultati

$$m'_p = 4,3813 \text{ g}$$

$$m''_p = 4,381 \text{ g}$$

$$\Delta m_p = m'_p - m''_p = 0,0003 \text{ g}$$

Odgovarajuća sila je

$$F_p = \Delta m_p \cdot g = 0,2943 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Promena mase kapsule sa uzorkom je

$$m' = 4,39035 \text{ g}$$

$$m'' = 4,40185 \text{ g}$$

$$\Delta m = 0,0035 \text{ g}$$

Sila koja odgovara ovoj promeni mase je

$$F = \Delta m \cdot g = 3,4335 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Da bi se izbegao uticaj materijala od kog je izrađena kapsula uzima se da je ukupna sila

$$F_s = F + F_p = (g m_s + g m_p) = 3,7278 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Masa samog uzorka je

$$m_s = m_p - m' = 0,01705 \text{ g}$$

Pošto je rađeno pri struji od 4 A, odgovarajući gradijent iznosi

$$\frac{dH}{dy} = 0,3135 \cdot 10^6 \frac{\text{Ga}}{\text{m}}$$

Uzorak se nalazio u tački koja je udaljena 4 mm od gornje ivice polskog nastavka, a u toj tački je vrednost jačine magnetnog polja

$$H = 0,423 \cdot 10^4 \text{ Ga}$$

Pošto imamo sve veličine izmerene možemo izračunati brojnu vrednost za magnetni susceptibilitet preko sledeće formule

$$\chi_s = \frac{F_s}{m_s H \frac{dH}{dy}}$$

Izračunata vrednost preko ove formule iznosi

$$\chi_s = 16,4978 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

Greška za ovo merenje se računa preko formule

$$\Delta \chi = \sqrt{\left(\frac{\partial \chi}{\partial F} \Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial \chi}{\partial m_s} \Delta m_s\right)^2 + \left(\frac{\partial \chi}{\partial H} \Delta H\right)^2 + \left[\frac{\partial \chi}{\partial \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)} \Delta \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)\right]^2}$$

$$\Delta \chi = \sqrt{\left(\frac{\chi}{m_s H \frac{\Delta H}{\Delta y}}\right)^2 + \left(-\frac{\chi}{m_s} \Delta m_s\right)^2 + \left(-\frac{\chi}{H} \Delta H\right)^2 + \left[\frac{\chi}{\Delta y} \Delta \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)\right]^2}$$

$$\Delta \chi = \frac{F_s}{m_s H \frac{\Delta H}{\Delta y}} \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_s}{m_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2 + \left[\frac{\Delta \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)}{\frac{\Delta H}{\Delta y}}\right]^2}$$

poznate su nam vrednosti za  $\Delta m$  i  $\Delta H$  to su greške instrume-nata pomoću kojih su ove veličine merene. Vidimo da treba pro-naći  $\Delta F$  i  $\Delta \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)$  vrednost za  $F$  se dobija iz sledeće for-mule

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial m} \Delta m\right)^2} = \sqrt{g^2 m^2} = g m$$

Izraz za  $\Delta \frac{\Delta H}{\Delta y}$  glasi

$$\Delta \frac{\Delta H}{\Delta y} = \sqrt{\left[\frac{\partial \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)}{\partial (\Delta H)} \Delta (\Delta H)\right]^2 + \left[\frac{\partial \left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right)}{\partial (\Delta y)} \Delta (\Delta y)\right]^2}$$

posle sređivanja se dobija sledeći izraz

$$\Delta\left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right) = \sqrt{\left[\frac{\Delta(\Delta H)}{\Delta y}\right]^2 + \left[-\frac{\Delta H}{(\Delta y)^2} \Delta(\Delta y)\right]^2}$$

vrednosti za  $\Delta H$  i  $\Delta y$  (to nisu vrednosti za grešku) su poznate sa grafika 5 i iznose  $\Delta y = 1,2$  cm a  $\Delta H = 0,376 \cdot 10^4$  Ga tako da je izraz za grešku posle sređivanja

$$\Delta\left(\frac{\Delta H}{\Delta y}\right) = \sqrt{\left[\frac{\Delta(\Delta H)}{1,2}\right]^2 + \left[-\frac{0,376 \cdot 10^4}{(1,2)^2} \Delta(\Delta y)\right]^2}$$

treba još da pronađemo izraz za grešku  $\Delta(\Delta H)$  i za  $\Delta(\Delta y)$  i oni glase

$$\Delta(\Delta H) = \sqrt{\left[\frac{\partial(\Delta H)}{\partial y_2} \Delta y_2\right]^2 + \left[\frac{\partial(\Delta H)}{\partial y_1} \Delta y_1\right]^2} = \Delta H \sqrt{2}$$

$$\Delta(\Delta y) = \sqrt{\left[\frac{\partial(\Delta y)}{\partial y_2} \Delta y_2\right]^2 + \left[\frac{\partial(\Delta y)}{\partial y_1} \Delta y_1\right]^2} = \Delta y \sqrt{2}$$

Pošto smo dobili izraze za sve veličine koje figure u formuli za grešku pri merenju magnetnog susceptibiliteta možemo dobiti i brojmu vrednost greške za ovo merenje. Greška iznosi

$$\Delta \chi_s = 0,3664 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{Kg}^{-1}$$

tako da

$$\chi_s = (16,4978 \pm 0,3664) \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{Kg}^{-1}$$

Izmerena vrednost za magnetni susceptibilitet jedinjenja  $\text{HgCo}(\text{CNS})_4$  je u dobroj saglasnosti sa vrednošću, za magnetni susceptibilitet koja je data u literaturi.

Iz ovog podatka se može izračunati i vrednost za magnetni moment. Pošto je molekulska težina ovog jedinjenja

$$M = 491,846$$

Molekulska težina nam je potrebna da bi smo izračunali molarni magnetni susceptibilitet, on u ovom slučaju iznosi

$$\chi_M = M \chi_s = 491,846 \cdot 16,4978 \cdot 10^{-9} = 8114,4753 \cdot 10^{-9}$$

Ovrštavajući ove vrednosti u formulu za magnetni moment

$$\mu = 2,828 \sqrt{\chi_m T}$$

dobijamo vrednost za magnetni moment jedinjenja  $\text{HgCo}(\text{CNS})_4$  u Borovim magnetonima, brojčana vrednost magnetnog momenta je

$$\mu_s = 4,36 \text{ BM} \quad \mu_B = 9,273 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$$

Ova vrednost za magnetni moment se koristi za dalja izračunavanja magnetnih momenata nepoznatih materijala, preko sledeće formule

$$\mu = \mu_s \sqrt{\frac{m_s (F M + m_s H \Delta \chi_m)}{m F_s M_s}}$$

U ovoj formuli su nam poznate sledeće veličine:

$m_s$  - masa standarda,  $M_s$  - relativna molekulska masa standarda,

$F_s$  - sila kojom magnetsko polje deluje na standard,  $H$  - jačina magnetnog polja,  $\frac{dH}{dy}$  - gradijent magnetnog polja,  $M$  - relativna molekulska masa uzorka. Ostaje da se izmeri masa uzorka, čiji se magnetni moment meri, kao i sila kojom magnetno polje deluje na uzorak.  $\Delta \chi$  su Paskalove magnetne popravke. Ona se odnose na popravke usled hemijskih veza koje su realizovane u hemijskom jedinjenju. Hemijski elementi stupajući u jedinjenje vrše poremećaj svojih elektronskih konfiguracija. Paskalove popravke se i odnose na poremećaje elektroske konfiguracije u molekulu.

Da susceptibilnost ne zavisi od temperature, dok se paramagnetički naprotiv magneto-susceptibilnost ne zavisi od temperaturice. Da bi se sva postavka proverila, potreba je da se

Kao što je napred izneto kalibracija terazija se vrši zato da bi se moglo brzo proceniti orijentaciona vrednost magnetnog momenta ili magnetnog susceptibiliteta. Kalibracija je vršena na taj način što su sva merenja vršena u istoj tački

i pri istoj jačini električne struje, u konkretnom slučaju uzorci su se nalazili i u istoj ampuli. Ovako dobijeni rezultati su sređeni u sledećoj tablici:

Red. bro	$\chi \cdot 10^{-3} [kg^{-1} m^3]$	$m_i \cdot 10^3 [kg]$	$\Delta m \cdot 10^3 [kg]$	$F_s \cdot 10^5 [N]$
1.	16,498	0,01705	0,0035	3,7278
2.	-140,9	0,0446	-0,0847	83,287
3.	37,01	0,0079	0,0038	3,8748
4.	29,64	0,00924	0,00385	3,6297
5.	32,899	0,009	0,00385	3,924
6.	6,93	0,0048	0,00035	0,441
7.	32,64	0,00975	0,00425	4,218
8.	32,701	0,01245	0,0055	5,3955
9.	32,03	0,00855	0,00355	3,6297
10.	32,575	0,01025	0,0044	4,4145

$$I = 4A \quad H = 0,423 \cdot 10^4 \text{ Ga} \quad \frac{dH}{dy} = 0,3133 \cdot 10^6 \frac{\text{Ga}}{\text{m}}$$

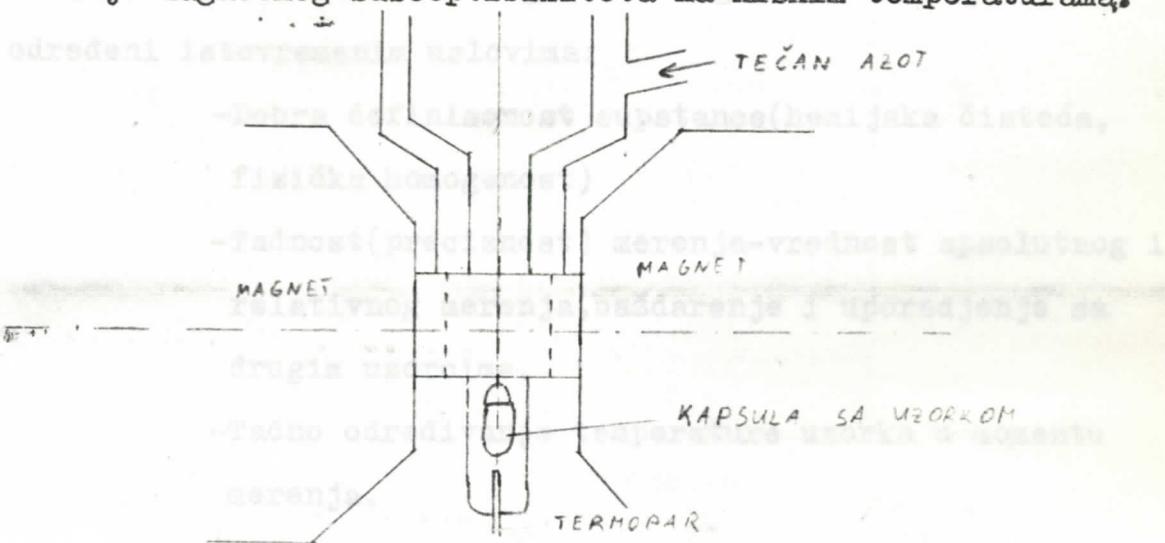
se uzorak, čiji se magnetski susceptibilitet, strano je  
zavisi. Oba kvarcusa novi u koj je polazišni uzorak, ne nalazi  
se u vrućem polju. Temperatura u kojoj se obavešta da je

#### HLAĐENJE

U uvodu je spomenuto da za dijamagnetičke magnetne susceptibilnost ne zavisi od temperature, dok za paramagnetične naprotiv magnetna susceptibilnost zavisi od temperaturе. Da bi se ova postavka proverila javlja se potreba da se ona i eksperimentalno proveri. Potrebno je uzorak zagrevati odnosno hladiti i meriti promenu, ukoliko je ima, magnetnog susceptibiliteta u zavisnosti od temperature. Za sada postoje mogućnost samo hlađenja uzorka. Hlađenje se vrši pomoću

tečnog azota. Aparatura je proizvod engleske firme "Nonius".

Ovde će biti prikazana skica realizovane aparature za ispitivanje magnetnog susceptibiliteta na niskim temperaturama.



Pri eksperimentalnoj merenju susceptibiliteta učinak na rezultat mera se izradi ovog reda moglo se uticati na tečnost, preciznost mera i na kvalitet mera. Temperatura se meri pomoću termopara (konstantan-bakar) tako da termopar ne utiče bitno na gradijent magnetnog polja. Termopar je zaliven u kvarcnu cev i treba da je što bliži kapsuli sa uzorkom da bi merio temperaturu na kojoj se uzorak, čiji se magnetni susceptibilitet meri, stvarno nalazi. Oko kvarcne cevi, u kojoj se nalazi uzorak, se nalazi šira cev koja pri vrhu ima otvor za ulazak tečnog azora. Donjim delom cev stoji na aluminijumskom šablonu koji je probušen, u otvoru se nalazi uži deo kvarcne cevi koja služi kao oklop uzorka. Kroz otvor u šablonu će oticati tečni azot, brzina oticanja se može regulisati smanjujući otvor za isticanje tečnog azota.

## EKSPERIMENTALNI REZULTATI

na koje je trebaš napomenuti moment su data u tabelici 4.

Preciznost i sigurnost magnetnih merenja su određeni istovremenim uslovima:

- Dobra definisanost supstance(hemijska čistoća, fizička homogenost)
- Tačnost(preciznost) merenja-vrednost absolutnog i relativnog merenja,baždarenje i uporedjenje sa drugim uzorcima.
- Tačno određivanje temperature uzorka u momentu merenja.

Pri eksperimentalnim merenjima koja su vršena pri izradi ovog rada moglo se uticati na tačnost, preciznost merenja kao i na tačnost određivanja temperature na kome se nalazi uzorak. Na hemijsku čistoću se nije moglo uticati jer su supstance kojima je vršeno merenje magnetne susceptibilnosti odnosno magnetnog momenta, dobijane iz drugih laboratorija.

Za izračunavanje magnetnog momenta korišćen je postupak koji je obrađen napred u ovom radu. Vrednost magnetnog momenta za jedinjenje  $HgCo(CNS)_4$  je

$$M_s = 4,36 \text{ BM}$$

Ovo jedinjenje je korišćeno kao standard i u odnosu na njega su dobijene vrednosti za magnetni moment drugih jedinjenja preko formule

na praznu kapsulu. Posle toga se meri masa uzorka sa kapsulom bez magnetskog polja i u magnetskom polju, odatle se dobije sile kojom deluje magnetsko polje na jedinjenja čiji magnetni moment

Jedinjenja, kao i njihove molekulske težine,  
za koje je tražen magnetni moment su data u tablici 4.

Jedinjenje	Molekulska težina
$[\text{Fe}(\text{HL}^1)\text{L}^1]$	411,12
$[\text{Fe}(\text{HL}^3)]_2\text{Cl}$	507,59
$\text{Fe}(\text{HL}^2)\text{L}^2$	443,24
$\text{Li}[\text{Fe}(\text{L}^2)]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	467,19
$\text{Fe}(\text{HL}^3)\text{L}^3$	471,13
$[\text{Fe}(\text{HL}^1)]_2\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	465,6
$[\text{Fe}(\text{HL}^2)]_2\text{Cl}$	479,7
$\text{Li}[\text{Fe}(\text{L}^3)]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	515,26

Tablica 4.

Pošto su očekivane vrednosti za magnetne momente ovih jedinjenja oko 6BM jačina magnetnog polja, pri osetljivosti vase kojom merimo, je dovoljna da bude oko (0,3 do 0,5) T. Zbog toga su merenja vršena pri struji od 4A. Grafik gradijenta jačine magnetnog polja je dat na strani 30. Gradijent iznosi  $\frac{dH}{dy} = 0,3133 \cdot 10^6 \frac{\text{Ga}}{\text{m}}$  kapsula sa uzorkom se je nalazila u tački u kojoj je jačina magnetnog polja  $H = 0,423 \cdot 10^4 \text{ Ga}$ . Ovo su zajedničke vrednosti za sva jedinjenja. Pojedinačno za svako jedinjenje je vršeno merenje sile kojom magnetno polje deluje na praznu kapsulu. Posle toga se meri masa uzorka sa kapsulom bez magnetnog polja i u magnetnom polju, odatle se dobije sila kojom deluje magnetno polje na jedinjenja čiji magnetni momenat

tražimo. Pregled dobijenih rezultata je dat u tablici 5.

Formula jedinjenja	$m \cdot 10^{-3} [\text{kg}]$	$\Delta m \cdot 10^{-3} [\text{kg}]$	$F \cdot 10^{-5} [\text{N}]$
$\text{FeHL}^1\text{L}^1$	0,0079	0,0038	3,8748
$\text{Fe}(\text{HL}^3)_2\text{Cl}$	0,00924	0,00385	3,6297
$\text{FeHL}^2\text{L}^2$	0,009	0,00385	3,924
$\text{LiFetsa}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,0048	0,00035	0,441
$\text{FeHL}^3\text{L}^3$	0,00975	0,00425	4,218
$\text{FeHL}_2^1\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,01245	0,0055	5,3955
$\text{FeHL}_2^2\text{Cl}$	0,00855	0,00355	5,6297
$\text{LiFeL}_2^3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,01025	0,0044	4,4145

Tablica 5.

Pošto su nam poznate molekulske mase standarda kao i jedinjenja čiji magnetni moment tražimo, može nam još da izračunamo dijamagnetne korekcije. Za pronalaženje dijamagnetne korekcije potrebno je da nam bude poznata struktorna formula jedinjenja odnosno tip valentne veze na osnovu koje iz tablica dobijamo vrednost dijamagnetičnih korekcija.

#### IZRAČUNAVANJE DIJAMAGNETNIH KOREKCIJA

Iz literature (6) su nam poznate vrednosti dijamagnetskog doprinosa za pojedine atome. Na strani je opisano kako se računa popravka za molekul. Da bismo mogli izračunati dijamagnetični doprinos daćemo neke vrednosti za elemente koji ulaze u sastav jedinjenja koja ispitujemo. Te vrednosti su date u tablici 6.

element	$-\chi_A \cdot 10^{-6}$
C	6,0
O	4,6
H	2,93
N	5,55
S	15
Cl	20,1

Tablica 6.

Sada se može izračunati prvi deo dijamagnetne korekcije koji je u vezi sa doprinosom atoma. Ove vrednosti se još koriguju i zbog uticaja veza između elemenata. Ovde ćemo dati neke vrednosti korekcija usled hemijskih veza u tablici 7.

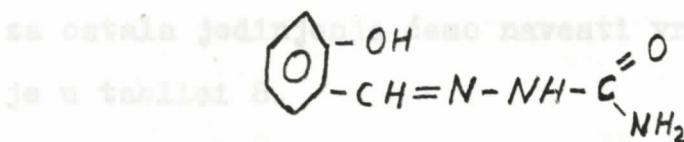
tip veze	$-\lambda \cdot 10^{-6}$
C - N	4,85
C - O	4,5
O - H	4,65
C - C	3,7
C - H	3,85
C = N	- 8,15
N - H	5,3
C == O	2,7
C == C	1,9
C = S	10,3

Tablica 7.

Sada možemo izračunati i brojnu vrednost za dijamagnetnu korekciju preko formule

$$\Delta \chi_M = \sum_{i=1}^k a_i \chi_i + \sum_i \lambda_i$$

Sada ćemo izračunati dijamagnetnu korekciju za jedinjenje  $\text{FeHL}^1\text{L}^1$  pri čemu je  $\text{L}^1$  dato formulom



vidimo da imamo u jedinjenju sledeće elemente: C, O, H i N. Da bismo doobili dijamagnetni doprinos svakog elementa u jedinjenju treba da pomnožimo vrednost za magnetni susceptibilitet elementa sa brojem atoma tog elementa u jedinjenju. Za konkretni slučaj ovo bi izgledalo ovako.

$$8 \text{ C} = -6 \cdot 10^{-6} \quad 8 = -48 \cdot 10^{-6}$$

$$2 \text{ O} = -4 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \quad 7 = -9,2 \cdot 10^{-6}$$

$$6 \text{ H} = -2,93 \cdot 10^{-6} \quad 6 = -17,58 \cdot 10^{-6}$$

$$3 \text{ N} = -5,55 \cdot 10^{-6} \quad 3 = -16,65 \cdot 10^{-6}$$

Kada saberemo ove vrednosti dobijamo prvi član dijamagnetske korekcije.

$$\sum_{i=1}^k a_i \chi_i = -91,43 \cdot 10^{-6}$$

Sada ćemo izračunati drugi član dijamagnetne korekcije koji zavisi od tipa veze.

$$\text{C - N} = -4,85 \cdot 10^{-6} = -4,85 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{C - O} = -4,5 \cdot 10^{-6} = 4,5 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{O - H} = -4,65 \cdot 10^{-6} = -4,65 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{C - H} = -3,85 \cdot 10^{-6} = -3,85 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{C = N} = 8,15 \cdot 10^{-6} = 8,15 \cdot 10^{-6}$$

$$2 \text{ N - H} = -2 \cdot 5,3 \cdot 10^{-6} = -10,6 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{C = O} = -2,7 \cdot 10^{-6} = -2,7 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{O} = -1,4 \cdot 10^{-6} = -1,4 \cdot 10^{-6}$$

Kada saberemo ove vrednosti dobijemo drugi član dijamagnetne korekcije i on iznosi

$$\sum \lambda_i = -24,4 \cdot 10^{-6}$$

što ukupno iznosi za ovo jedinjenje, uzimajući  $2 L^1$

$$\Delta \chi_M = -231,66 \cdot 10^{-6}$$

za ostala jedinjenja ćemo navesti vrednosti dijamagnetne korekci-je u tablici 8.

jedinjenje	$-\Delta \chi_M \cdot 10^{-6}$
$\text{FeHL}^1 L^1$	231,66
$\text{Fe(HL}^3)_2 \text{Cl}$	352,58
$\text{FeHL}^2 L^2$	318,43
$\text{LiFetsa}_2 \text{H}_2\text{O}$	181,6
$\text{FeHL}^3 L^3$	309,55
$\text{FeHL}^1_2 \text{Cl H}_2\text{O}$	331,49
$\text{FeHL}^2_2 \text{Cl}$	338,53
$\text{LiFeL}^3_1 2\text{H}_2\text{O}$	332,48

Tabela 8.

Kada smo izračunali vrednosti dijamagnetičnih popravki imamo sve veličine poznate i možemo izračunati vrednosti za magnetne momente jedinjenja, iz sledeće formule

$$M_{\text{mag}} = M_s \sqrt{\frac{m_s (FM + mHH' \Delta \chi_M)}{m F_s M_s}}$$

vrednosti za magnetni moment su u Borovim magnetonima. U tablici 9 su date vrednosti magnetnih momenata jedinjenja uz dijamagnetnu korekciju.

Formula jedinjenja	$\chi$ [ BM ]
$\text{FeHL}^1\text{L}^1$	5,91
$\text{Fe}(\text{HL}^3)_2\text{Cl}$	5,89
$\text{FeHL}^2\text{L}^2$	5,8
$\text{LiFetsa}_2 \text{H}_2\text{O}$	2,71
$\text{FeHL}^3\text{L}^3$	5,94
$\text{FeHL}^1_2\text{Cl H}_2\text{O}$	5,95
$\text{FeHL}^2_2\text{Cl}$	5,92
$\text{LiFeL}^3_2 \text{2H}_2\text{O}$	6,15

do povešenja u Tablica 9. Istante magnetnog polja što se manifestuje osticanje merenjem. Vrednost graničnog magnetnog polja se može dobiti iz sledećeg izraza, što se može videti u prilogu ovog rada, do izvrsne granice. Kao rezultat merenja bi bilo israditi novih polova.

U ovom radu zadan je samo parametar magnetizacije materijala koji su dobijeni su u dobroj saglasnosti sa otkrivenim (teorijskim) rezultatima. To je na neki način i potvrđa ispravnosti rada, kao i dano tehničko rešenje koje su primenjena na realizaciju aparature za merenje magnetnog susceptibiliteta dijamagnetskih i paramagnetskih materijala. Pri radu je prisutan da se teško meri magnetni susceptibilitet čija je vrednost ispod apsolutne vrednosti 1. Ispod tih vrednosti nije dovoljna preciznost merenja mase. Čitljivost terasila je nedovoljna da bi se izmerila promena mase usled uticaja magnetnog polja na jedinjenja. Važno je napomenuti da treba

početku posnje u novu mernu usorku jedinjenja, kojima je  
na velikim napravak povećan menje položaj u magnetnom polju. Teoretski  
**ZAKLJUČAK**

Pošto gradijent magnetnog polja, koji se dobijao  
sa kompletom od dve vrste polskih nastavaka, nije odgovarao  
merenju Faradijevim metodom prišli smo izradi novih polova  
elektromagneta. Iz tehničkih razloga se nisu mogli izraditi  
polovi koji su prikazani na sl. 2.3, pa smo prilagođavali  
postojeće polove elektromagneta i to na taj način što smo  
kod ravnih polova skinuli ivicu pod uglom od 45 stepeni i u  
dužini od 1 cm. To je rezultiralo povećanjem jačine magnet-  
nog polja, što je u ovom slučaju korisno, međutim došlo je  
i do povećanja nagiba gradijenta magnetnog polja što se ma-  
nifestuje otežanim merenjem. Vrednost gradijenta magnetnog  
polja se može smanjiti smanjivanjem struje, što se može vi-  
deti u prilogu ovog rada, do izvesne granice. Najbolje re-  
šenje bi bilo izrada novih polova.

U ovom radu rađen je samo Faradejev metod. Rezul-  
tati koji su dobijeni su u dobroj saglasnosti sa očekivanim  
(teorijskim) rezultatima. To je na neki način i potvrda is-  
pravnosti rada, kao i čisto tehničkih rešenja koja su prime-  
njena na realizaciji aparature za merenje magnetnog suscepti-  
biliteta dijamagnetsnih i paramagnetsnih materijala. Pri radu  
je primeteno da se teško meri magnetni susceptibilitet čija  
je vrednost ispod absolutne vrednosti 1. Ispod tih vrednosti  
nije dovoljna preciznost merenja mase. Osetljivost terazija  
je nedovoljna da bi se izmerila promena mase usled uticaja  
magnetnog polja na jedinjenja. Važno je napomenuti da treba

obratiti pažnju na masu samog uzorka jedinjenja, ukoliko je ona velika uzorak jako menja položaj u magnetnom polju. Uzorak se ne nalazi u nultom položaju tako da je promenjena i vrednost magnetnog polja. Masa uzorka je poželjno da se kreće u granicama od 0,001 g do 0,01 g tako da se uzorak nalazi u istoj tački i time su otklonjene greške koje se mogu javiti zbog toga pri merenju. Pri materijalima koji imaju veliku vrednost magnetnog susceptibiliteta javlja se uticaj i ostalih sila duž drugih osa, horizontalnih (duž ose magneta i normalno na nju), tako da sila koja se meri (promena mase) je manja što daje pogrešni rezultat za magnetni susceptibilitet (moment). Tu se javlja neka vrsta lebdenja uzorka u magnetnom polju. Ova pojava se u nekim slučajevima mogla izbeći pažljivim centriranjem uzorka.

Radi daljeg rada na magnetnim merenjima potrebno je rešiti pitanje grejanja uzorka na zadovoljavajući način. Takođe treba probati da se merenja izvrše i drugim metodama tu pre svega mislimo na Gijovu metodu pri čemu predlažemo upotrebu konusnih polskih nastavaka. Takođe se u našem slučaju vrlo lako može realizovati Kvinkeov metod.

## P R I L O Z I

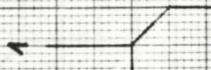
1. Elektromagnet
2. Teranije
3. Ispravljač
4. Duhovac
5. Aparat za hlađenje tečnim azotom
6. Staklena cev
  
8. Variak

1. Elektromagnet
2. Terazije
3. Ispravljač
4. Durbin
5. Aparat za hlađenje tečnim azotom
6. Staklena cev
7. Transformator
8. Variak

$I = 2A$

$$\frac{dH}{dy} = 0,17 \cdot 10^6 \frac{G}{m}$$

$\uparrow B[T]$



0,6

0,5

0,4

0,3

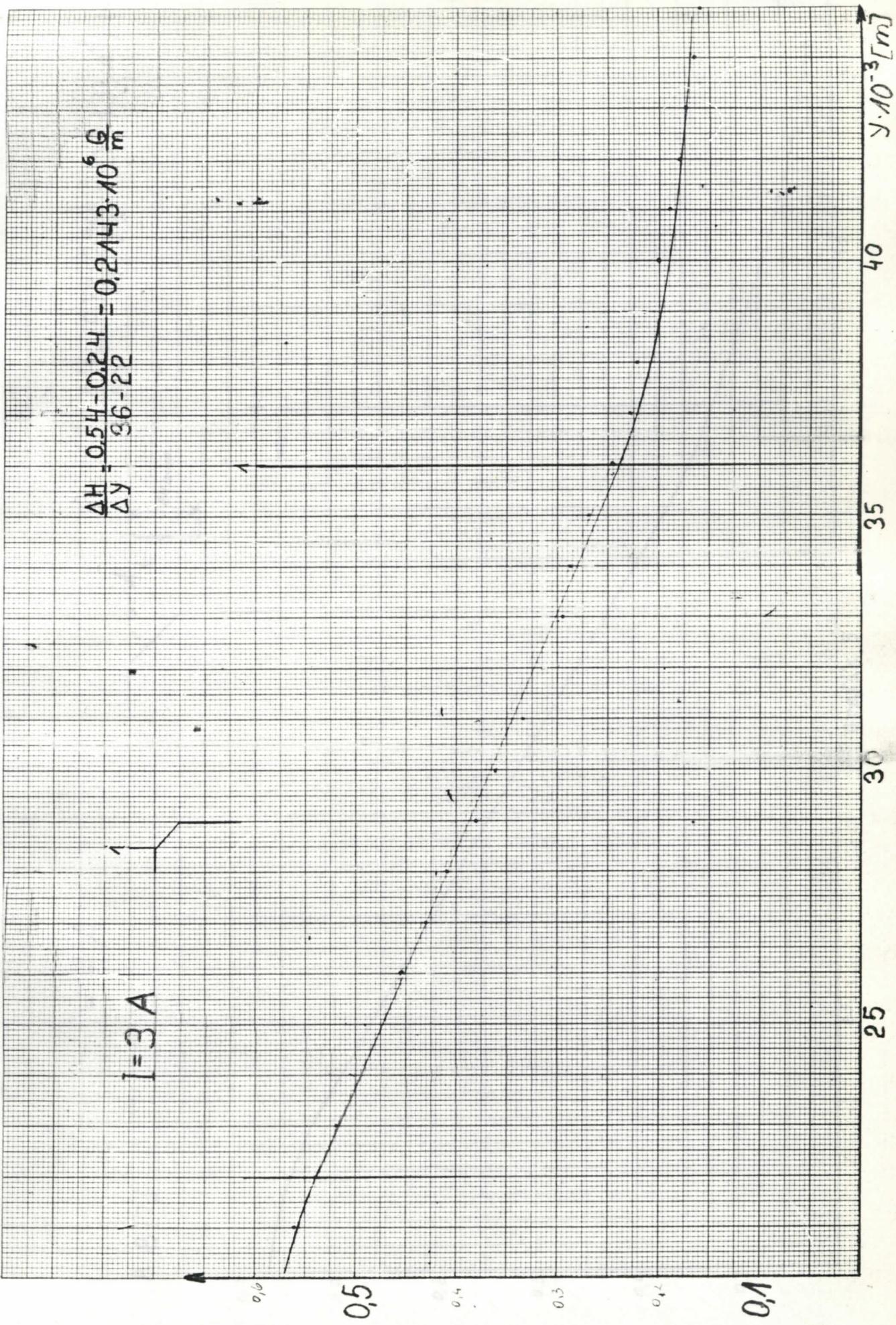
0,2

0,1

25

30 35

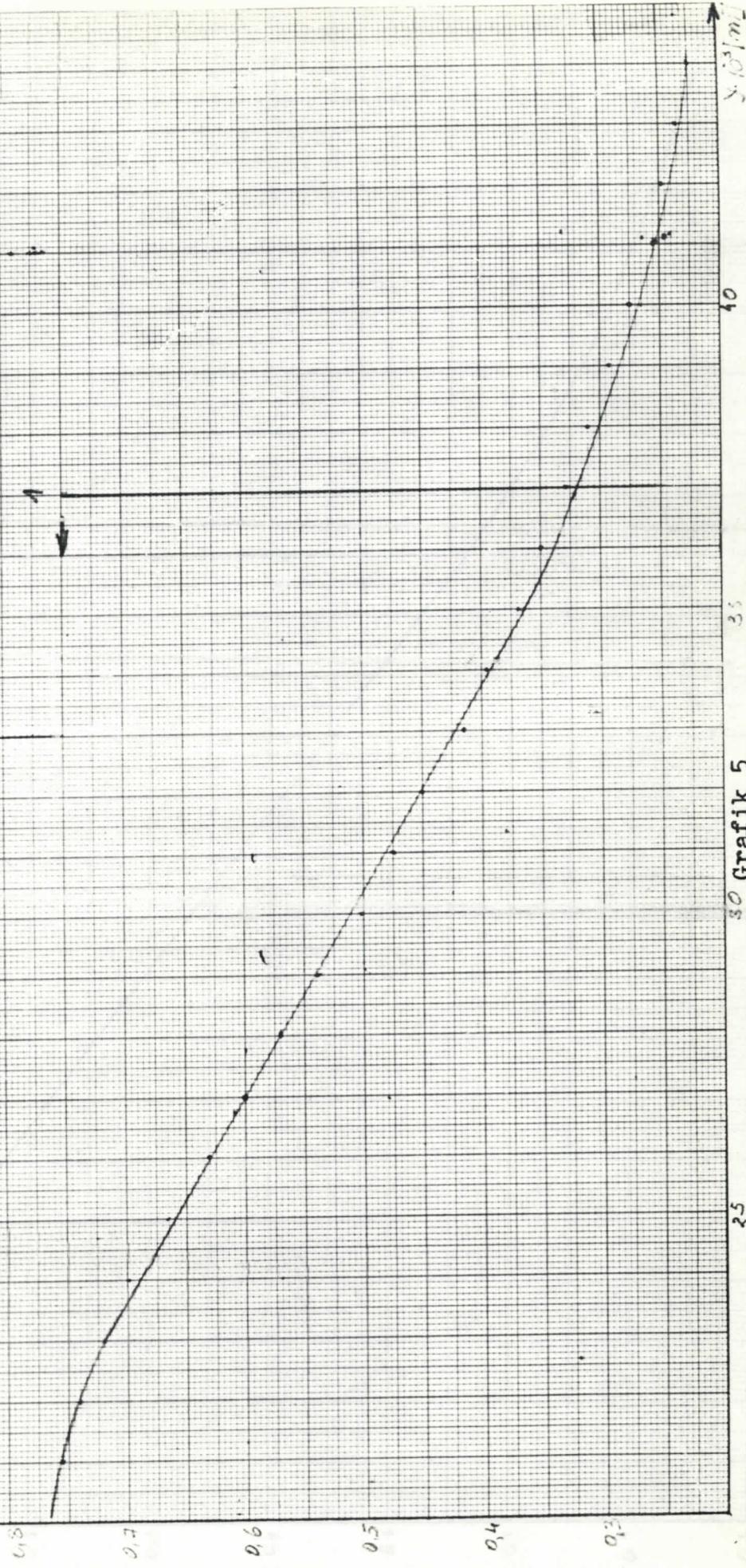
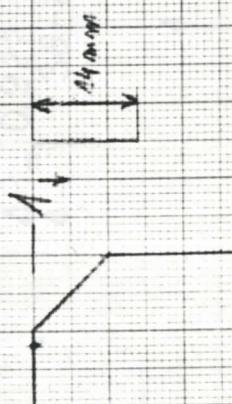
40  $\rightarrow y \cdot 10^3 [m]$



$$\frac{\Delta H}{\Delta y} = \frac{0,74 \cdot 0,364}{35 - 23} = 0,3433 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$$

$$I = HA$$

$\Delta \theta [T]$



30 Grafik 5

$I = 6 A$

$H [T]$

$$\frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{0,922 - 0,537}{36 - 25} = 0,35 \cdot 10^6 \frac{G}{m}$$

1

0,1

0,2

0,7

0,6

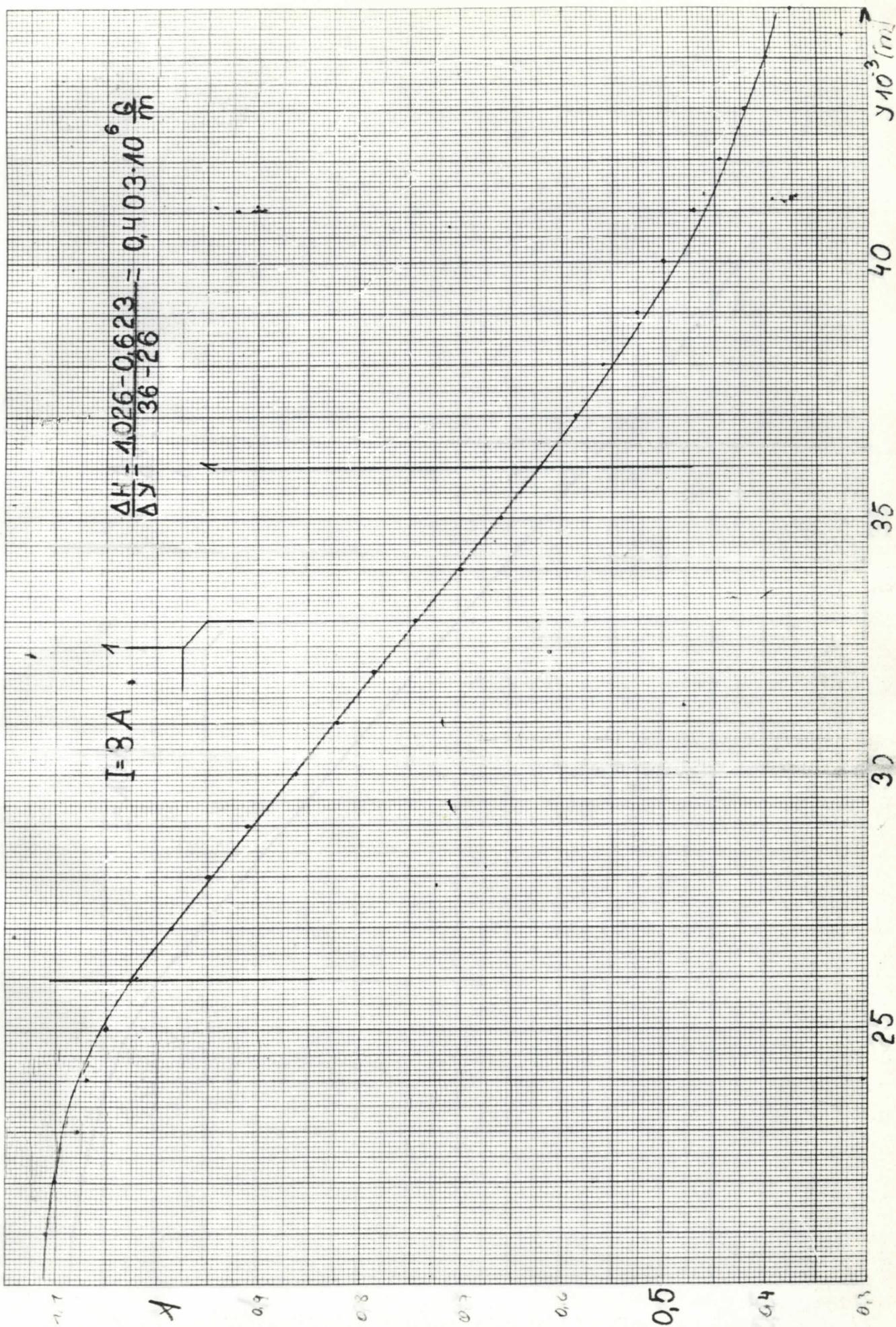
0,5

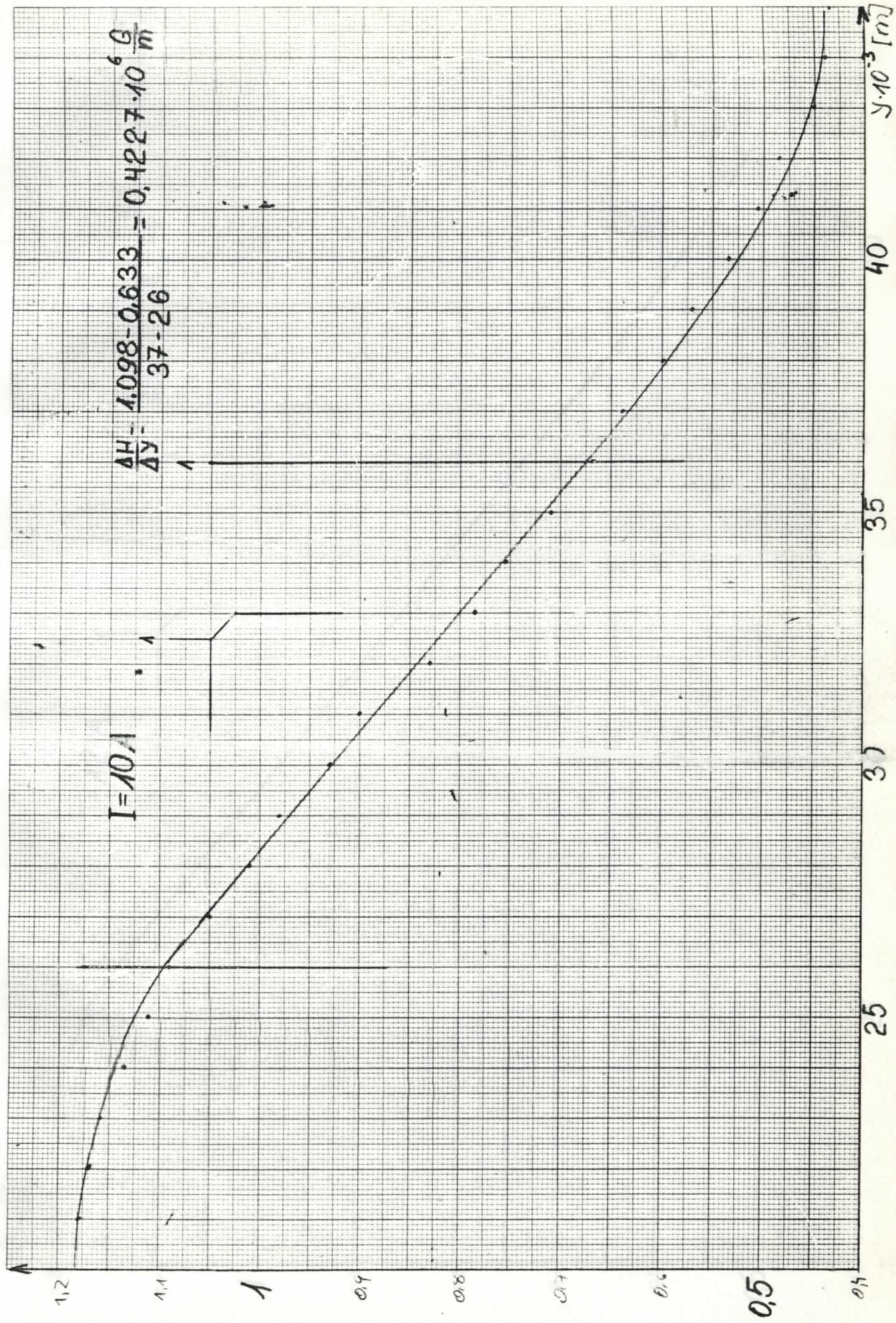
0,4

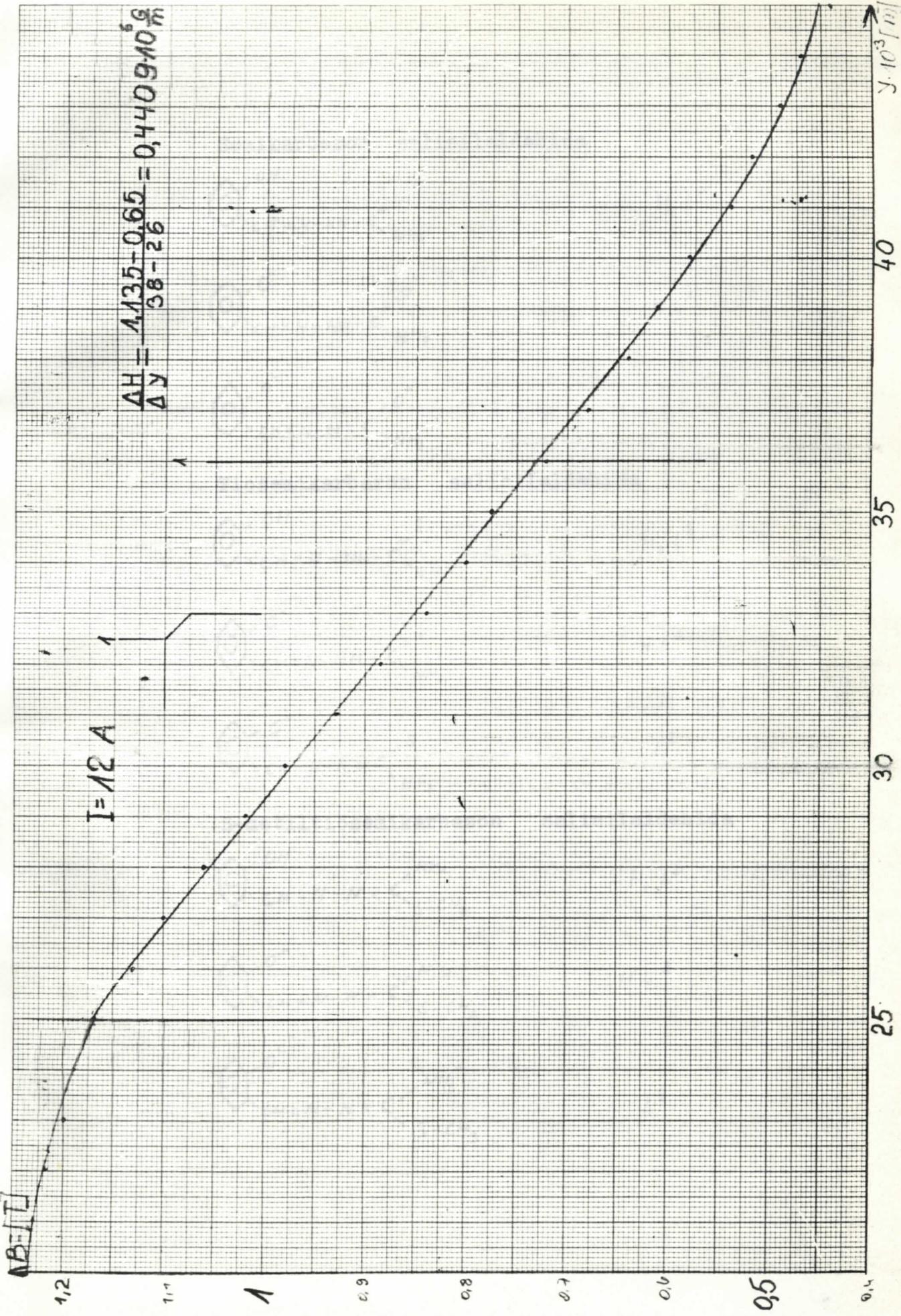
0,3

6,4 2,1 2,5 2,6 2,7 3,5 3,9 3,6 2,5

$\times 10^3 [m]$

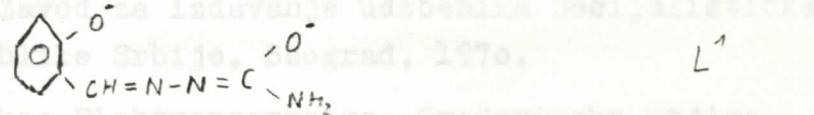
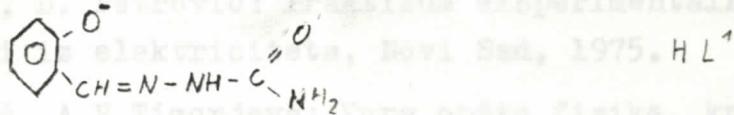




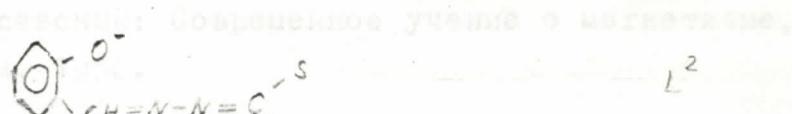
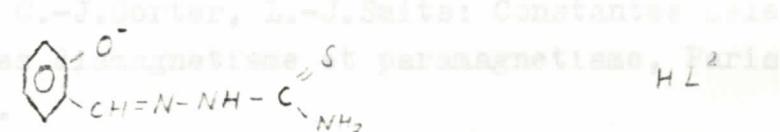
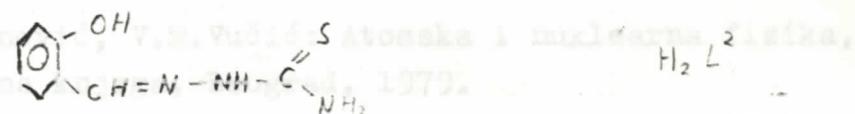


INTRODUKCIJA

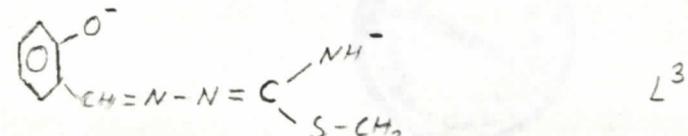
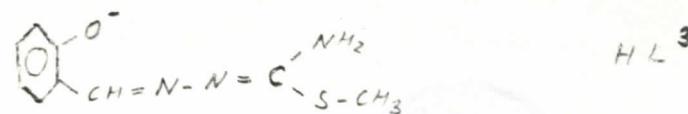
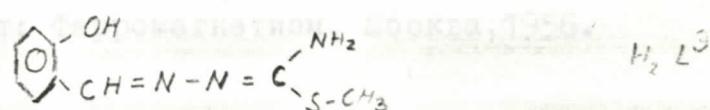
**Semikarbazon salicilaldehyda**



**Tiosemikarbazon salicilaldehyda**



**S-metiltiosemikarbazon salicilaldehyda**



## LITERATURA

1. Č.Kitel: Uvod u fiziku čvrstog stanja, Savremena administracija, Beograd, 1970.
2. B.Ribar, D. Petrović: Praktikum eksperimentalnih vežbi iz elektriciteta, Novi Sad, 1975.
3. S.E.Friš, A.V.Timorjeva: Kurs opšte fizike, knjiga II, Zavod za izdavanje udžbenika Socijalističke Republike Srbije, Beograd, 1970.
4. J.Surutka; Elektromagnetika, Građevinska knjiga, Beograd, 1975.
5. D.M.Ivanović, V.M.Vučić: Atomska i nuklearna fizika, Naučna knjiga, Beograd, 1979.
6. G.Foex, C.-J.Gorter, L.-J.Smits: Constantes selecti-onnees diamagnetisme et paramagnetisme, Paris 1957.
7. С.В.Вонсовский: Современное учение о магнетизме, Москва, 1953.
8. Я.Г.Дорфман: Магнитные свойства и строение вещества, Москва, 1955.
9. Р.Бозорт: Ферромагнетизм, Москва, 1956.

