

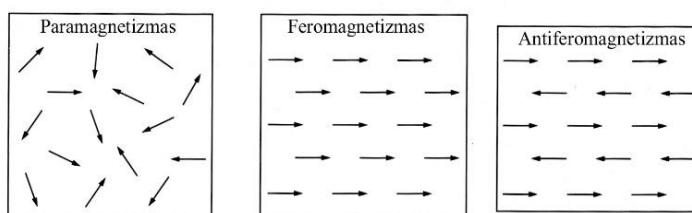
8. PEREINAMŲJŲ ELEMENTŲ JUNGINIŲ MAGNETINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Įvadas

Diamagnetinės medžiagos turi tik suporuotus elektronus. Magnetinis laukas tokiose medžiagose indukuoja magnetinius momentus, orientuotus priešinga magnetiniam laukui kryptimi, tad medžiaga silpnai atstumiamą magnetinio lauko. Kadangi visos medžiagos turi suporuotų elektronų, diamagnetizmo reiškinys yra universalus ir būdingas visoms medžiagoms, bet diamagnetikuose jis dominuoja. Medžiagos, turinčios nesuporuotų elektronų, be silpno diamagnetizmo, pasižymi ir kitomis specifinėmis magnetinėmis savybėmis ir vadinamos magnetinėmis medžiagomis. Dažniausiai magnetinėmis savybėmis pasižymi pereinamųjų d-elementų ir lantanoidų katijonai, tad jų junginių tarpe yra daugiausia magnetinių medžiagų.

Magnetinės medžiagos klasifikuojamos į kelias grupes (1 pav.):

- paramagnetikai – medžiagoje skirtingų atomų ar jonų nesuporuotų elektronų sukiniai ir magnetiniai dipoliai orientuoti atsitiktinai ir suminis magnetinis momentas lygus nuliui.

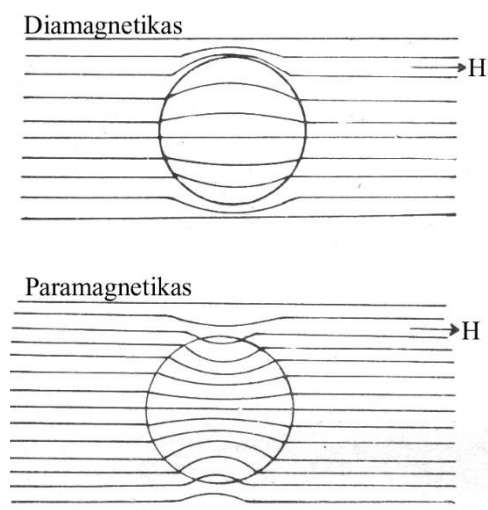


1 pav. Magnetinių dipolių orientacija paramagnetike, feromagnetike ir antiferomagnetike.

- feromagnetikai – medžiagoje ir jonų magnetiniai dipoliai išsidėsto lygiagrečiai dėl dipolių tarpusavio sąveikos. Medžiaga turi suminį magnetinį momentą.

- antiferomagnetikai – medžiagoje skirtingų jonų nesuporuotų elektronų sukiniai ir jonų magnetiniai dipoliai išsidėsto antilygiagrečiai, tad suminis magnetinis momentas lygus nuliui.

- ferimagnetikai – medžiagoje skirtingų jonų nesuporuotų elektronų sukiniai ir jonų magnetiniai dipoliai išsidėsto antilygiagrečiai, bet priešingomis kryptimis orientuotų dipolių skaičius nevienodas. Tokiu atveju medžiagos suminis magnetinis momentas nelygus nuliui ir priklauso nuo priešingomis kryptimis orientuotų dipolių skaičiaus skirtumo.



2 pav. Diamagnetinių ir paramagnetinių medžiagų elgesys magnetiniame lauke.

Skirtingos medžiagos skirtingai elgiasi magnetiniame lauke. Jei medžiaga patalpinama į magnetinį lauką, kurio stipris yra H_0 , tai magnetinio lauko jėgos linijų tankis medžiagoje padidės (paramagnetikams) arba sumažės (diamagnetikams), lyginant su išoriniu magnetiniu lauku (2 pav.). Magnetinė indukcija B , t.y., medžiagoje indukuotas magnetinis laukas, bus lygus užduoto lauko stiprumo H_0 ir pačios medžiagos indėlio (įmagnetinimo) sumai, pastarasis proporcingas atsiradusiam medžiagos magnetiniam momentui I :

$$\mathbf{B} = \mathbf{H}_0 + 4\pi\mathbf{I},$$

kur I yra medžiagos tūrio vieneto magnetinis momentas. Tiek B , tiek I priklauso nuo išorinio magnetinio lauko H_0 . Tad padalinę lygtį iš H_0 , gausime tik medžiagai būdingas charakteristikas:

$$\mathbf{B}/\mathbf{H}_0 = (\mathbf{H}_0 + 4\pi\mathbf{I})/\mathbf{H}_0 = \mathbf{1} + 4\pi(\mathbf{I}/\mathbf{H}_0) = \mathbf{1} + 4\pi\chi_v.$$

Santykis B/H_0 vadinamas medžiagos magnetine skvarba (žymėsime P). Ji atitinka lauko magnetinių jėgos linijų tankio santykiui, esant ir nesant medžiagai magnetiniame lauke. Santykis I/H_0 žymimas χ_v ir vadinamas medžiagos tūriniu (tūrio vieneto) magnetiniu jautriu, kuris išreiškia medžiagos sugebėjimą įsimagnetinti. Medžiagos magnetinis jautris gali būti išreiškiamas ne tik tūriniu, bet ir savituoju (masės) magnetiniu jautriu χ_g bei moliniu magnetiniu jautriu χ_m :

$$\chi_g = \chi_v/d \quad \text{ir} \quad \chi_m = \chi_g \cdot m,$$

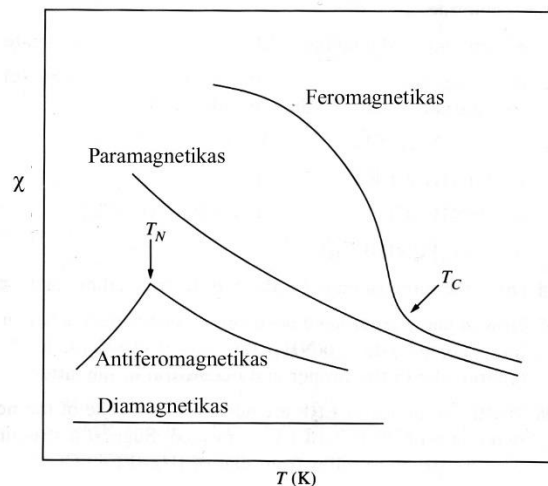
kur d yra medžiagos tankis, o m - medžiagos molinė masė. Matavimo vienetai yra: χ_v – bedimensinis dydis, χ_g – cm^3g^{-1} arba m^3kg^{-1} , χ_m – $\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$ arba $\text{m}^3\text{mol}^{-1}$.

Skirtingos medžiagos turi skirtingas magnetinės skvarbos P ir magnetinio jautrio χ reikšmes, taip pat skirtingas jų priklausomybes nuo temperatūros ir užduoto magnetinio lauko stiprio H_0 . (1 lentelė). Diamagnetinės medžiagos pasižymi nedidelėmis neigiamomis

1 lentelė. Medžiagų magnetinių savybių palyginimas

Medžiagos tipas	Išorinio lauko efektas	Specifinis magnetinis jautris χ_g (20 °C), g^{-1}	χ priklausomybė nuo temperatūros	χ priklausomybė nuo išorinio magn. lauko stiprio
Diamagnetikas	Silpnai atstumia	$-1 \cdot 10^{-6}$	Nepriklauso	Nepriklauso
Paramagnetikas	Vidutiniškai traukia	$100 \cdot 10^{-6}$	$1/T$	Nepriklauso
Feromagnetikas	Labai stipriai traukia	$1 \cdot 10^{-2}$	Kompleksinė	Priklauso
Antiferomagnetikas	Silpnai traukia	$(0,1-10) \cdot 10^{-6}$	Kompleksinė	Priklauso

magnetinio jautrio reikšmėmis ir $P < 1$. Paramagnetikams $P > 1$, o magnetinio jautrio reikšmės teigiamos. Jau minėjome, kad kai medžiagą patalpiname magnetiniame lauke, magnetinio lauko linijų skaičius paramagnetike yra didesnis, o diamagnetike – mažesnis, negu linijų skaičius vakuume. Taigi, paramagnetinės medžiagos yra magneto traukiamos, o diamagnetinės – silpnai atstumiamos. Feromagnetinėms medžiagoms būdingos didelės magnetinės skvarbos P ir magnetinio jautrio χ reikšmės, todėl jos labai stipriai traukiamos magnetinio lauko. Skirtingo tipo magnetinių medžiagų magnetinis jautris skirtingai priklauso nuo temperatūros (3 pav.).



3 pav. Diamagnetikų, paramagnetikų, feromagnetikų ir antiferomagnetikų magnetinio jautrio priklausomybė nuo temperatūros.

Daugumai paramagnetinių medžiagų galioja Kiuri (Curie) dėsnis, pagal kurį χ yra atvirkščiai proporcingas temperatūrai:

$$\chi = C/T,$$

kur C yra Kiuri konstanta, o T – temperatūra (K). Tačiau dažnai geresnis sutapimas su eksperimentiniais duomenimis gaunamas pagal Kiuri-Weiso (Curie-Weiss) dėsnį:

$$\chi = C/(T+\theta),$$

kur θ yra Weiso konstanta.

Feromagnetikams ir antiferomagnetikams negalioja šie dėsniai. Feromagnetikas, kaip jau minėta, pasižymi labai didele magnetinio jautrio reikšme esant žemai temperatūrai, kuri, keliant temperatūrą, vis greičiau mažėja. Pasiėkus Kiuri temperatūrą T_c , feromagnetikas virsta paramagnetiku. Antiferomagnetiko χ reikšmė pradžioje didėja, keliant T , o pasiekus Neelio (Neel) temperatūrą T_N , jis virsta paramagnetiku (3 pav.).

Magnetines medžiagų savybes patogiau nagrinėti naudojant atomo ar jono magnetinį momentą μ , nes jis yra susijęs su nesuporuotų elektronų skaičiumi ir su medžiagos moliniu magnetiniu jautriu. Magnetinis momentas leidžia įvertinti, kiek magnetinis yra atomas (jonas). Kuo didesnis jono magnetinis momentas, tuo didesnis medžiagos magnetinis jautris. Šis sąryšis gali būti išreikštas taip:

$$\chi_M = N^2 \mu^2 / 3RT,$$

čia N – Avogadro skaičius, R – idealių dujų konstanta, T – absoliuti temperatūra.

Įstačius reikšmes (χ_M , $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$, o T , K) gauname: $\mu = 2,83 (\chi_M T)^{1/2}$.

Formulėje magnetinis momentas išreikštas Boro magnetonais μ_B ($\mu_B = eh/4\pi m_e c = 9.974 \cdot 10^{-24}$ J/K, čia e – elektrono krūvis, h – Planko konstanta, m_e – elektrono masė, c – šviesos greitis).

Medžiagų magnetinį jautrį ir, tuo pačiu, magnetinį momentą galima nustatyti eksperimentiškai su magnetinėmis Guji svarstyklėmis (ar kitais būdais). Pavyzdys patalpinamas į tam tikro gradiento nehomogenišką magnetinį lauką ir išmatuojamas pavyzdžio svorio kitimas, kuris proporcingas jėgai, kuria magnetinis laukas veikia pavyzdį. Po to, įvedus įvairių faktorių korekcijas bei atsižvelgus į pavyzdžio bei jo laikiklio diamagnetizmą, galima apskaičiuoti medžiagos magnetinį jautrį ir katijono magnetinį momentą μ . Taip nustčius μ , galima paskaičiuoti nesuporuotų elektronų skaičių katijone.

Jono magnetinį momentą didžiaja dalimi nulemia nesuporuotų elektronų sukinių ir elektronų orbitalinis momentas. Didžiausią ir dažniausiai lemiamą indėlį vis dėlto duoda elektronų sukinių, todėl dažnai galima apsiriboti tik elektronų sukinių indėliu į jono magnetinį momentą. Tai geriausiai tinka pirmos eilės pereinamųjų d-elementų jonams. Jei turime vieną nesuporuotą elektroną jone, tai jo magnetinį momentą μ (išreikštą Boro magnetonais) nulems vieno elektrono sukiny $s=1/2$:

$$\mu_s = 2 (s(s+1))^{1/2} = 2 (1/2(1/2+1))^{1/2} = 2 (3/4)^{1/2} = (3)^{1/2}$$

$$\mu_s = 1,73$$

Jei atome ar jone yra daugiau už 1 elektroną, tada suminis magnetinis momentas bus:

$$\mu = 2 (S(S+1))^{1/2},$$

čia S – visų nesuporuotų elektronų sukinių kvantinių skaičių suma. Pavyzdžiui, aukštaspinio Fe^{3+} jono su 5 nesuporuotais elektronais $S = 5 \times (1/2) = 5/2$, o $\mu = 5.92 \mu_B$.

Kadangi S tiesiogiai yra susijęs su nesuporuotų elektronų skaičiumi n, pastarąją formulę galima pertvarkyti į:

$$\mu = [n(n+2)]^{1/2}$$

Kartais medžiagai pagal šias formules paskaičiuotas atomo ar jono magnetinis momentas labai skiriasi nuo eksperimentiškai nustatyto. Tokiu atveju, geresnis sutapimas gaunamas, kai įskaičiuojamas ir elektronų orbitalinio momento indėlis į suminį atomo ar jono magnetinį momentą:

$$\mu = [4S(S+1) + L(L+1)]^{1/2},$$

kur L yra suminis nesuporuotų elektronų orbitalinis kvantinis skaičius.

Kartais papildomai tenka įskaičiuoti ir galimą elektronų sukinių bei orbitalinio momento tarpusavio sąveiką, dažniausiai lantanoidų junginiams.

2 lentelėje yra pateiktos eksperimentinės ir teoriškai paskaičiuotos magnetinių momentų reikšmės pirmos eilės pereinamųjų d-metalų kompleksams. Matome, kad daugeliu atveju pakankamai geras sutapimas gaunamas, įskaičiuojant tik elektronų sukinių indėlių.

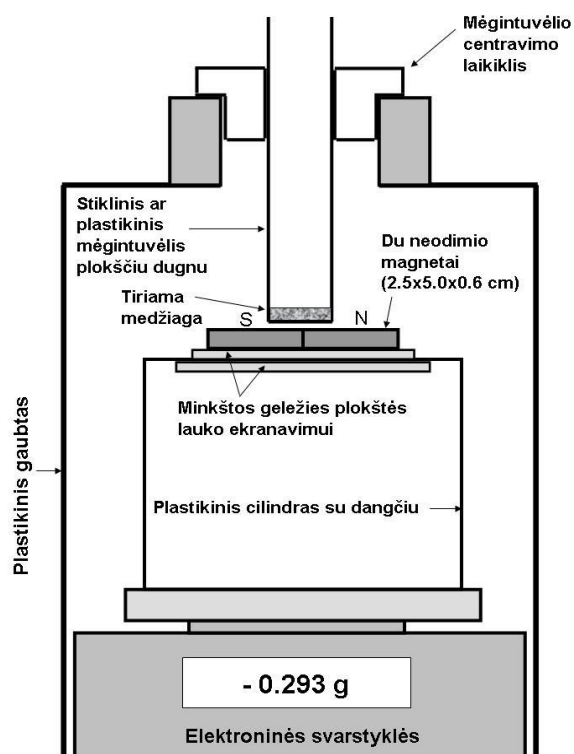
2 lentelė. Pirmos eilės pereinamųjų d-metalų oktaedrinių kompleksų magnetinės savybės (teorinės μ reikšmės gautos, imant tik elektronų sukinių indėlių)

Centr. jonas	d elektronų skaičius	Aukšto sukinio kompleksai			Žemo sukinio kompleksai		
		Nesupor. elektronų skaičius	μ (eksp.), Boro magneton.	μ (teor.), Boro magneton.	Nesupor. elektronų skaičius	μ (eksp.), Boro magneton.	μ (teor.), Boro magnet.
Ti ³⁺	1	1	1,73	1,73	-		
V ⁴⁺	1	1	1,68-1,78	1,73	-		
V ³⁺	2	2	2,75-2,85	2,83	-		
V ²⁺	3	3	3,80-3,90	3,88	-		
Cr ³⁺	3	3	3,70-3,90	3,88	-		
Mn ⁴⁺	3	3	3,8-4,0	3,88	-		
Cr ²⁺	4	4	4,75-4,90	4,90	2	3,20-3,30	2,83
Mn ³⁺	4	4	4,90-5,00	4,90	2	3,18	2,83
Mn ²⁺	5	5	5,65-6,10	5,92	1	1,80-2,10	1,73
Fe ³⁺	5	5	5,70-6,0	5,92	1	2,0-2,5	1,73
Fe ²⁺	6	4	5,10-5,70	4,90	0	-	
Co ³⁺	6	4	-	4,90	0	-	
Co ²⁺	7	3	4,30-5,20	3,88	1	1,8	1,73
Ni ³⁺	7	3	-	3,88	1	1,8-2,0	1,73
Ni ²⁺	8	2	2,80-3,50	2,83	-	-	
Cu ²⁺	9	1	1,70-2,20	1,73	-	-	

Darbo aprašymas

1. Matavimo principai ir įranga

Šiame darbe įvairių medžiagų magnetinis jautris įvertinamas, panaudojant paprastas elektronines svarstyklas ir neodimio magnetus. Įrangos schema ir bendras vaizdas pavaizduoti 4 paveiksle. Ant elektroninių svarstyklių (svėrimo tikslumas 1 mg) yra padėtas plastikinis cilindras su dangčiu, ant kurio padėti šonais suglausti du neodimio magnetai (2,5 x 5,0 x 0,6 cm). Stipriausias nehomogeniškas magnetinis laukas gaunamas ties jų suglaudimo linija. Lauko ekranavimui nuo svarstyklių po magnetu yra pakištos dvi minkštos geležies plokštės. Svarstyklės uždengtos plastikiniu gaubtu su skylė viršuje, į kurią įstatomas apvalus laikiklis



4 pav. Medžiagų magnetinių savybių tyrimo įrangos schema ir bendras vaizdas.

su plokščiadugniu stikliniu mėgintuvėliu tiriamai medžiagai. Laikiklis tiksliai įeina į gaubto skylę ir orientuoja mėgintuvėlį taip, kad jo centras būtų tiksliai ties magnetų suglaudimo linija, apie 1 mm atstumu nuo magnetų.

Magnetinė jėga, kuria magnetas veikia medžiagą yra tiesiog proporcinga medžiagos magnetiniam jautriui ir gali būti įvertinta, elektroninėmis svarstyklėmis matuojant medžiagos svorio pokytį. Paramagnetinė medžiaga traukiama magneto, tad jos svoris sumažės proporcingai jos magnetiniam jautriui, diamagnetinių medžiagų atveju (magnetas atstumia) svoris nežymiai padidės.

Mūsų atveju, svarstyklės matuoja ne medžiagos, bet magnetų svorį, kuris priklauso ne tik nuo fizinio magnetų svoriu, bet ir nuo išorinių jėgų veikiančių magnetą. Jėga, kuria magnetai veikia medžiagą, yra lygi jėgai, kuria medžiaga veikia magnetus, tik priešingos krypties. Iš svorio pokyčio, išmatuoto su šia įranga, negalime tiesiogiai apskaičiuoti medžiagos magnetinio jautrio. Tačiau, tai įmanoma paskaičiuoti lyginant tiriamos medžiagos svorio pokytį su standartinės medžiagos, kurios magnetinis jautris yra žinomas, svorio pokyčiu.

Abiejų medžiagų (standartinės ir tiriamos) svorio pokyčiai magnetiniame lauke turi būti išmatuoti vienodomis sąlygomis, imant panašius medžiagų kiekius ir tą pačią matavimo geometriją. Be to, turi būti atmestas svorio pokytis dėl matavimo indo diamagnetizmo. Šiame darbe standartinė (st) medžiaga naudojama Moro druska $((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, kurios

savitasis magnetinis jautris yra $\chi_g^{st} = 31.6 \cdot 10^{-6} \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$. Tiriamos medžiagos specifinis magnetinis jautris χ_g apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\chi_g = \chi_g^{st} (W^{st}/W) (\Delta W / \Delta W^{st}),$$

kur W^{st} ir ΔW^{st} yra atitinkamai matavimams paimtos standartinės medžiagos svoris ir jo pokytis magnetiniame lauke, o W ir ΔW – tas pats tiriamai medžiagai. Nustatyta tiriamos medžiagos savitojo magnetinio jautrio χ_g reikšmė perskaičiuojama į molinį magnetinį jautrį χ_M ($\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$), padauginus χ_g iš medžiagos molinės masės. Metalų jono magnetinis momentas μ (išreikštą Boro magnetonais) apskaičiuojamas pagal minėtą formulę:

$$\mu = 2,83 (\chi_M T)^{1/2},$$

kur T yra temperatūra (K). Palyginus gautą magnetinio momento reikšmę su teorinėmis (paskaičiuotomis) reikšmėmis, duotomis 2 lentelėje, galima spręsti apie nesuporuotų elektronų skaičių metalo jone. Nesuporuotų elektronų skaičių galima apskaičiuoti ir pagal formulę:

$$\mu = [n(n+2)]^{1/2}$$

Šio darbo metu gali būti atliekami šie eksperimentai:

- 1) Nustatomi dviejų neorganinių medžiagų (pereinamųjų d-metalų junginių) magnetiniai jautriai, paskaičiuojamas katijonui tenkantis nesuporuotų elektronų skaičius, palyginama su teoriniais duomenimis.
- 2) Tiriamas aukštatemperatūrio superlaidininko $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ magnetinio jautrio kitimas superlaidaus virsmo metu, įvertinamas jo diamagnetizmas superlaidžiam būvyje.

2. Pereinamųjų metalų junginių magnetinio jautrio matavimas

Iš laboranto gaunamos dvi neorganinės medžiagos. Išmatuojami standartinės (Moro druskos) ir abiejų tiriamų medžiagų svorių pokyčiai magnetiniame lauke. Šiems tyrimams naudojamas **didesnio** diametro mėgintuvėlis. Eksperimentas atliekamas taip:

a) Įjungiamos svarstyklės. Įjungimo metu visas svoris, uždėtas ant svarstyklių lėkštelės (cilindras + geležies plokštelės + magnetas), automatiškai prilyginamas nuliui ir svarstyklės rodo svorį 0,000 g.

b) Platesnis mėgintuvėlis su centravimo laikikliu įstatomas į matavimo įrangą taip, kaip parodyta 4 paveiksle. Patikrinama, kad mėgintuvėlio dugno centras būtų tiksliai virš magnetų sąlyčio linijos. Dėl mėgintuvėlio (stiklo) diamagnetizmo, svarstyklės parodo kažkokį nedidelį svorį. Nuspaudžiamas svarstyklių mygtukas “Tare”, svarstyklės vėl parodo svorį 0,000 g. Taip eliminuojamas svorio pokytis dėl mėgintuvėlio diamagnetizmo.

c) Mėgintuvėlis su laikikliu išimamas iš matavimo įrangos ir tuščias pasveriamas ant kitų svarstyklių (1 mg tikslumu). Tada atsargiai į jį įpilama apie 0,5-1 g Moro druskos ir medžiaga suspaudžiama mėgintuvėlio dugne į plokščią sluoksnį, panaudojant specialų plastikinį strypą plokščiu galu. Ištraukus strypą, jeigu reikia, vidinės mėgintuvėlio sienelės apvalomos rankšluostiniu popieriumi, nuo likusių medžiagos dalelių. Tada vėl pasveriamas.

d) Mėgintuvėlis įstatomas į matavimo įrangą ir užrašomas svarstyklių parodymas. Dėl medžiagos paramagnetizmo, svarstyklės rodys neigiamą svorio reikšmę. Ištraukiant ir vėl įstatant mėgintuvėlį svėrimas pakartojamas tris kartus ir išvedamas svorio vidurkis. Moro druska išpilama iš mėgintuvėlio, jis gerai išplaunamas distiliuotu vandeniu ir gerai išsausinamas rankšluostiniu popieriumi.

e) Išmatuojami tiriamų medžiagų svorių pokyčiai, pakartojant procedūros punktus b-d su kiekviena tiriamą medžiaga. Pabaigoje mėgintuvėlis išplaunamas ir išsausinamas.

Pagal aukščiau nurodytą formulę apskaičiuojami medžiagų savitieji magnetiniai jautriai, o juos padauginus iš molinių masių, gaunami moliniai magnetiniai jautriai. Tada apskaičiuojami katijonų magnetiniai momentai ir nesuporuotų elektronų skaičius. Gautieji visų svėrimų rezultatai nurodomi darbo aprašyme, padaromos išvados.

3. Aukštatemperatūrio superlaidininko magnetinių savybių tyrimas

$YBa_2Cu_3O_{7-x}$ pereina į superlaidų būvį, atšaldžius jį iki skysto azoto virimo temperatūros (77,3 K). Jei superlaidininko kokybė gera, jo superlaidus virsmas vyksta apie 90-92 K. Normaliame būvyje jis yra šiek tiek paramagnetinis, o superlaidžiam būvyje jis tampa labai stipriu diamagnetiku, visiškai išstumiančiu magnetinio lauko linijas (tuo pagrįstas superlaidininko levitacijos virš magneto reiškinys). Tyrimams naudojama $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ tabletė, gauta darbe "Aukštatemperatūrio superlaidininko sintezė ir tyrimas" ir mažesnio diametro mėgintuvėlis. Elektroninės svarstyklės yra prijungtos prie kompiuterio, tad šio tyrimo duomenys gali būti registruojami, panaudojant LabView programą, kuri, tuo pačiu metu, monitoriuje duoda ir grafinį vaizdą koordinatėse svoris (y-ašis) – laikas (x-ašis). Tyrimas atliekamas taip:

a) Daroma taip pat, kaip nurodyta 2 a) skyrelyje. Atidaroma ir paleidžiama veikti duomenų surinkimo programa kompiuteryje (klauskite laboranto), tada joje paleidžiamas brėžti grafikas (laikas/svoris).

b) Daroma taip pat, kaip nurodyta 2 b) skyrelyje.

c) Mėgintuvėlis išimamas iš matavimo įrangos ir į jį iki dugno atsargiai nuleidžiama superlaidininko tabletė, *prieš tai pasverta ant kitų svarstyklių (1 mg tikslumu)* ir užsirašomas svarstyklių parodymas. Mėgintuvėlis su tablete vėl įstatomas į matavimo įrangą. Dėl

superlaidininko silpno paramagnetizmo normaliaame būvyje svarstyklės parodys kažkokią nedidelę neigiamą svorio reikšmę.

d) Neišimant mėgintuvėlio iš matavimo įrangos, tabletė prispaudžiama stikline lazdele ir per ją įstatytą nedidelį piltuvėlį įpilama nedaug skysto azoto (apie 1,5-2 cm aukščio nuo dugno). Ataušus tabletei žemiau superlaidaus virsmo temperatūros, dėl atsiradusio superlaidininko diamagnetizmo svarstyklių matuojamas svoris pradeda greitai didėti ir stabilizuojasi ties kažkuria reikšme. Išgaravus iš mėgintuvėlio visam skystam azotui, tabletė pradeda atšilti ir kažkuriuo momentu prasideda virsmas iš superlaidaus į normalaus laidumo būvį. Prieš pat šį virsmą, svoris dar kažkiek padidėja, o prasidėjus virsmui, svoris greitai krenta apytikriai iki pradinės reikšmės, išmatuotos punkte c). Kuo geresnė superlaidininko kokybė, tuo didesni svorio pokyčiai ir tuo greičiau jie vyksta. Kompiuteryje sustabdomas grafiko brėžimas ir surinkti duomenys užregistruojami Excel failo formoje. Po to failas atsidaromas su Excel programa, padaromas grafikas, atspausdinamas ir duodamas pasirašyti laborantui. Gautasis grafikas pridedamas prie darbo aprašymo. Jame pažymimi ir paaiškinami visi svorio pokyčiai.

Darbo aprašyme, taip pat turi būti padaryta išvada apie superlaidininko kokybę, kuri palyginama su krizinės virsmo temperatūros (T_c) matavimo rezultatais, gautais darbe "Aukštatemperatūrio superlaidininko sintezė ir tyrimas".

4. Klausimų temos darbo gynimui

Magnetinės medžiagų savybės, jų ryšis su elektronine sandara.

Magnetinių savybių tyrimo metodai.

Pereinamųjų d-metalų kompleksų magnetinės savybės, aukšto ir žemo sukinio kompleksai.

5. Literatūra

1. J.E. Huheey, E.A. Keiter, R.L. Keiter "Inorganic chemistry, Principles of structure and reactivity", HarperCollins College Publishers, 1993, p. 459-468.

2. Catherine E. Housecroft, Alan G. Sharpe Inorganic Chemistry, Pearson Education Limited, 2001, p. 474-481.

3. Shriver D.F., Atkins P.W. Inorganic Chemistry, third edition, Oxford University press, 1999 ir vėlesni, p. 231-233.

4. Y. Itami, K. Sone. Journal of Chemical Education, 79/8, 2002, p. 1002-1004.

5. A. Cortel. Journal of Chemical Education, 75/1, 1998, p. 61-63.

6. K.C. Berg, K.J. Chapman. Journal of Chemical Education, 78/5, 2001, p. 670-673.

7. Ch. Malerich, P.K. Ruff, A. Bird. Journal of Chemical Education, 81/8, 2004, p. 1155-1160.