NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-10]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

01.00.00-FIZIKA-MATEMATIKA
journal.namdu.uz
PHYSICS AND MATHEMATICS

Ga_2Gd KRISTALLIDA TASHQI MAGNIT MAYDON O‘ZGARISHINING DOMEN TUZILISHIGA TA’SIRINI MAGNITOOPTIK USULDA TADQIQ ETISH

Fayziyev Shaxobiddin Shavkatovich
Buxoro davlat universiteti Fizika kafedrasi dotsenti
s.s.fayziev@buxdu.uz
Ibodova Maftunabonu Ilyoz qizi
Buxoro davlat universiteti tayanch doktoranti
m.ibodova2000@gmail.com

Annotatsiya: *Ushbu maqolada Ga_2Gd kristallining tashqi magnit maydon ta’siridagi magnitooptik tasvirlari xona haroratida ($T \approx 300$ K) tajribaviy o‘rganildi. Magnit maydon Gelmgolts g‘altaklari yordamida hosil qilinib, tok kuchi 0-1,5 A oralig‘ida o‘zgartirildi. Tajriba jarayonida maydonni oshirish, kamaytirish, yo‘nalishni teskari o‘zgartirish va qayta oshirish ketma-ketliklari bajarildi; Ga_2Gd namunasi yuzasining optik tasvirlari mikroskop-kamera tizimi orqali qayd etildi. Olingan tasvirlarda boshlang‘ich holatda zich, mayda va bir-birini kesib o‘tuvchi chiziqsimon magnitooptik strukturalar kuzatildi. Tok ortishi bilan ularning ko‘rinadigan kontrasti kamayib, yuqori tokda tasvir nisbatan bir xillashdi. Teskari yo‘nalishdagi tajribada ayrim tok qiymatlarida chiziqli va bo‘laklarga ajralgan strukturalarning shakli oldingi sikldagidan farq qilishi kuzatildi. Bu holat magnit holatning oldingi maydon tarixiga bog‘liqligini ko‘rsatadigan tajribaviy belgi sifatida talqin qilindi. Maqolada domen tasvirlari bilan ta’minlangan natijalar ehtiyotkorlik bilan talqin qilinib, 300 K dagi kuzatuvni Ga_2Gd ning past haroratdagi magnit fazalari bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri tenglashtirish mumkin emasligi ham ko‘rsatildi.*

Kalit so‘zlar: *Ga_2Gd, magnit maydon, domen tuzilishi, magnitooptik kuzatuv, tok kuchi, kuchlanish, magnit induksiya, Gelmgolts g‘altagi, gisterezis, xona harorati.*

МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ КРИСТАЛЛА Ga_2Gd

Аннотация: *В статье представлены результаты экспериментального исследования магнитооптического изображения кристалла Ga_2Gd при воздействии переменного внешнего магнитного поля при комнатной температуре ($T \approx 300$ K). Магнитное поле создавалось с помощью катушек Гельмгольца, при этом ток в катушках изменялся в диапазоне от 0 до 1,5 А. Изображения образца регистрировались в процессе увеличения поля, уменьшения поля, изменения направления поля и повторного увеличения поля. При малом и нулевом токе на изображениях наблюдались плотные, тонкие линейные оптические структуры, тогда как с увеличением тока наблюдалось постепенное уменьшение контраста видимых структур и формирование более однородного изображения при высоких значениях тока. В ходе эксперимента с изменением направления магнитного поля морфология наблюдаемых линий при некоторых значениях тока отличалась от морфологии, наблюдавшейся на первоначальном участке увеличения поля, что указывает на зависимость наблюдаемой структуры от магнитной предыстории образца. Наблюдаемые оптические структуры интерпретируются в качестве зависящего от магнитного поля магнитооптического контраста. Поскольку согласно имеющимся литературным данным основное магнитное упорядочение Ga_2Gd наблюдается при значительно более низких температурах, наблюдаемые при комнатной температуре изображения не связываются непосредственно с низкотемпературными антиферромагнитными фазами без проведения дополнительных независимых магнитных измерений.*

Ключевые слова: *Ga_2Gd, магнитное поле, магнитные домены, магнитооптическое наблюдение, ток, напряжение, магнитная индукция, катушки Гельмгольца, гистерезис, комнатная температура.*

MAGNETO-OPTICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AN EXTERNAL MAGNETIC FIELD VARIATION ON THE DOMAIN STRUCTURE OF A Ga_2Gd CRYSTAL

Abstract: *The paper presents an experimental study of the magneto-optical image of a Ga_2Gd crystal under a varying external magnetic field at room temperature ($T \approx 300$ K). The field was produced by Helmholtz coils while the coil current was varied from 0 to 1.5 A. The sample images were recorded during increasing-field, decreasing-field, reversed-field and repeated increasing-field sequences. At low and zero current the images contained dense, fine, line-like optical structures, while increasing the current gradually reduced*

the visible structural contrast and produced a more uniform image at high current. During the reversed-field experiment, the morphology of the visible lines differed from that observed in the first increasing-field branch at some current values, indicating a dependence on magnetic history. Because established literature places the principal magnetic ordering of Ga_2Gd at much lower temperatures, the room-temperature images are not assigned directly to the low-temperature antiferromagnetic phases without additional independent magnetic measurements.

Keywords: *Ga_2Gd, magnetic field, magnetic domains, magneto-optical observation, current, voltage, magnetic induction, Helmholtz coil, hysteresis, room temperature.*

Magnit materiallarning xossalari ko‘p jihatdan ularning ichki tuzilishiga, ya’ni domenlarga bog‘liq. Domen - ferromagnit ichidagi mayda soha bo‘lib, uning ichida atomlarning magnit momentlari deyarli bir tomonga qarab turadi. Katta namuna odatda bitta domendan emas, bir-biriga qarama-qarshi yo‘nalgan ko‘p domendan iborat bo‘ladi: shunda namuna tashqarisidagi magnit maydon kamayadi va umumiy energiya kichrayadi [1, 2]. Ikki qo‘shni domen orasida magnit momentlar asta-sekin burilib o‘tadigan ingichka qatlam bor; uni domen devori deyiladi [1]. Domenlar g‘oyasi XX asr boshida ilgari surilgan va keyinchalik tajribada bevosita ko‘rilgan [1].

Tashqi magnit maydon domenlarni o‘zgartiradi: maydon bo‘ylab yo‘nalgan domenlar kengayadi, qarama-qarshi domenlar torayadi va yetarlicha kuchli maydonda butunlay yo‘qoladi. Maydon kamaytirilganda esa domenlar oldingi yo‘l bilan qaytib paydo bo‘lmaydi - natijada gisterezis, ya’ni magnitlanishning oldingi holatga bog‘liqligi yuzaga keladi. Aynan domen devorlarining harakati va yangi domenlarning paydo bo‘lishi magnitlanish egri chizig‘ini va qayta magnitlashda yo‘qotiladigan energiyani belgilaydi [1, 5]. Domenlarni bevosita ko‘rishning qulay usullaridan biri - magnit-optik mikroskopiya; u yorug‘lik qutblanishining magnitlanish yo‘nalishiga qarab o‘zgarishiga asoslanadi [1, 7]. Magnit hodisalarning umumiy nazariyasi [8] da bayon etilgan.

Nodir yer elementlari va galliy asosidagi intermetall birikmalar magnetizm nuqtayi nazaridan qiziqarli. Gadoliniy-galliy tizimida Gd_5Ga_3, Gd_3Ga_2, GdGa va $GdGa_2$ birikmalari kuzatilgan [6]. Ga_2Gd shu qatorda galliy miqdori yuqori bo‘lgan birikmadir. Ushbu ishda shu birikma namunasining domen tuzilmasi tashqi magnit maydon ta’sirida kuzatildi.

Ishning maqsadi - tok kuchi va kuchlanish o‘zgartirilganda hosil bo‘ladigan magnit maydon ta’sirida Ga_2Gd namunasidagi domenlarning o‘zgarishini aniqlash va magnitlanish hamda gisterezisning miqdoriy ko‘rsatkichlarini olish. Buning uchun uchta vazifa qo‘yildi:

– tok, kuchlanish va magnit induksiya orasidagi bog‘lanishni darajalash;

– maydon oshganda va kamayganda olingan domen tasvirlarini tahlil qilish;

– gisterezis egri chizig‘ini qurish va natijalarning takrorlanuvchanligini uch mustaqil seriyada tekshirish.

Domenlar va energiya balansi

Namunadagi domen tuzilmasi to‘rt xil energiyaning yig‘indisi eng kichik bo‘ladigan holatga intiladi [1, 2]:

$$E = E_{alm} + E_{an} + E_{mag} + E_Z \quad (1)$$

bunda E_{alm} - almashinuv energiyasi (qo‘shni magnit momentlar bir tomonga qarashga intiladi); E_{an} - anizotropiya energiyasi (kristallda magnitlanish uchun qulay yo‘nalish bor); E_{mag} - namuna tashqarisiga chiqadigan «sochilma» maydonning energiyasi; E_Z - tashqi maydon bilan o‘zaro ta’sir (Zeeman) energiyasi. Oxirgisi quyidagicha yoziladi:

$$E_Z = -\mu_0 M H \cos\theta \quad (2)$$

bunda M - magnitlanish, H - maydon kuchlanganligi, θ - ular orasidagi burchak. Magnitlanish maydon bo‘ylab yo‘nalganda ($\theta = 0$) energiya eng kam, qarama-qarshi yo‘nalganda eng ko‘p bo‘ladi. Shuning uchun maydon bo‘ylab qarab turgan domenlar «foydali» bo‘lib, kengayadi, qarama-qarshilari esa torayadi.

Chiziqsimon domenlar

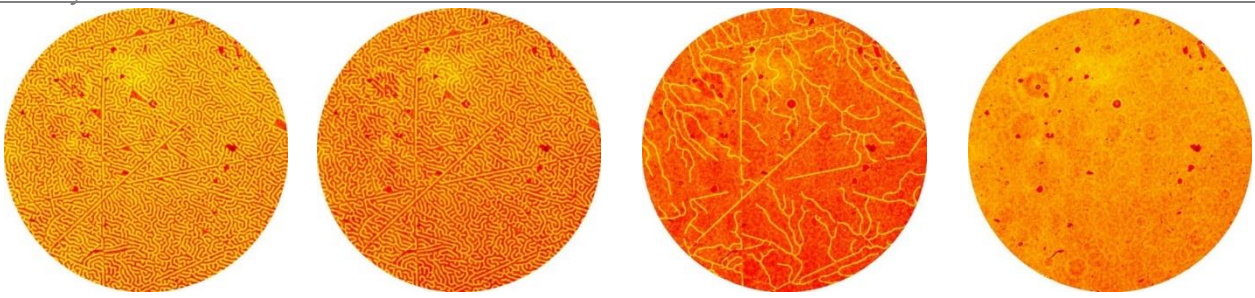
Agar kristallda magnitlanish uchun qulay yo‘nalish namuna sirtiga tik bo‘lsa, yupqa qatlamda ko‘pincha parallel chiziqlar yoki chigal labirintga o‘xshash domenlar hosil bo‘ladi [3, 4]. Chiziq kengligi d ikki qarama-qarshi ta’sirning muvozanatidan topiladi: devor energiyasi domenlarni kengroq qilishga, sochilma maydon energiyasi esa ingichkaroq qilishga intiladi. Bu muvozanat quyidagi bog‘lanishga olib keladi [3, 4]:

$$d \propto \sqrt{\frac{\sigma h}{\mu_0 M_S^2}} \quad (3)$$

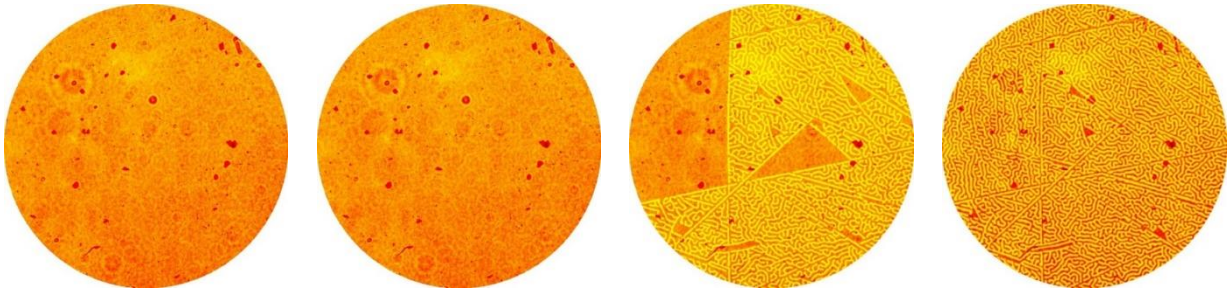
bunda σ - devorning yuza energiyasi, h - qatlam qalinligi, M_S - to‘yinish magnitlanishi. Demak, qatlam qalinroq yoki devor energiyasi kattaroq bo‘lsa, chiziqlar kengroq, magnitlanishi kuchli materialda esa torroq bo‘ladi. Formula aynan shunday qatlamlar uchun chiqarilgan, shuning uchun bizning namunaga faqat sifat jihatdan qo‘llanadi.

Ga_2Gd DOMEN TASVIRLARINING TASHQI MAYDON BILAN O‘ZGARISHI

Tajriba xona haroratida, T ≈ 300 K sharoitida bajarildi. Magnit maydon 0 dan 9 mT gacha oshirildi.



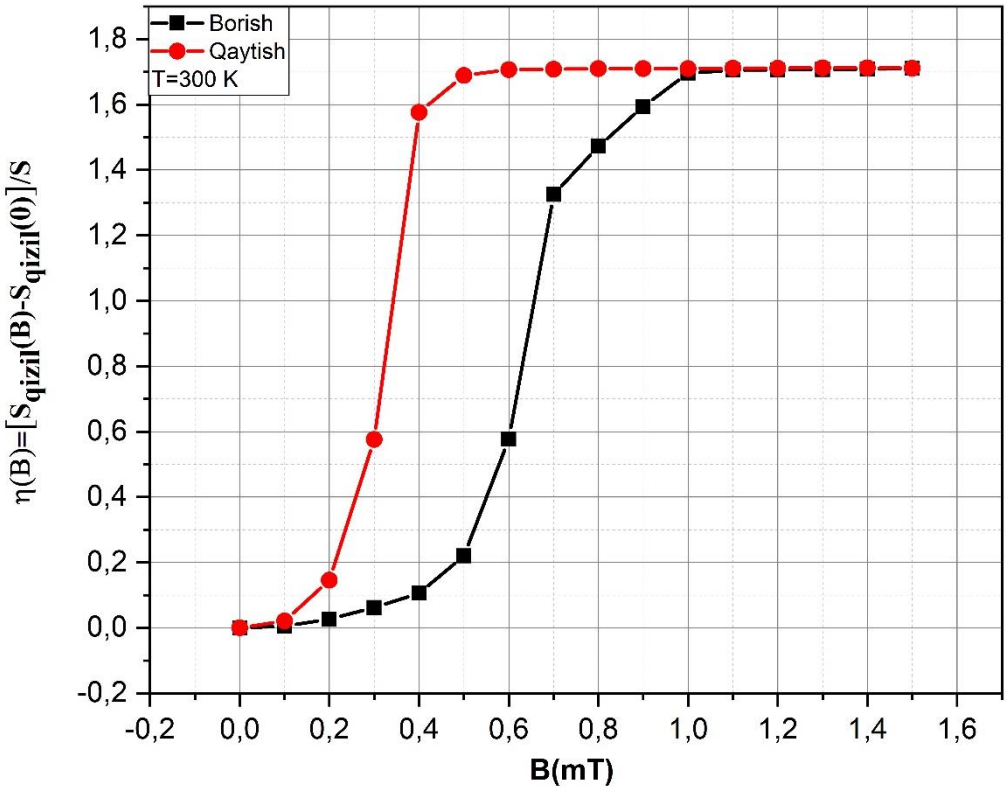
1-rasm. Maydon oshganda (to‘g‘ri borish) domen tuzilmasining o‘zgarishi



2-rasm. Maydon kamayganda (to‘g‘ri qaytish) domenlarning qaytib paydo bo‘lishi

Birinchi tajriba siklida magnit maydon 0 dan 9 mT gacha «to‘g‘ri borish» va keyin 9 mT dan 0 gacha «to‘g‘ri qaytish» bajarilgan. Bunday siklda ayni tok qiymatida olingan ikkita tasvirni bir-biriga solishtirish kerak. Agar ular sezilarli farq qilsa, namunaning optik holati faqat joriy maydon bilan emas, balki undan oldingi maydonlar ketma-ketligi bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin. Bu yondashuv magnit domenlarning tarixiy xususiyatini o‘rganishning oddiy tajribaviy usulidir [1].

Ikkinchi siklda magnit maydon yo‘nalishi teskari qilinib, yana borish va qaytish amalga oshirilgan. Teskari sikl tasvirlarida chiziqsimon strukturalarning yo‘nalishi va tarqalishi birinchi sikldan farq qiladigan bosqichlar mavjud. Bu holat magnit holatning qayta tashkil topishi bilan mos keladi, biroq faqat optik tasvir asosida uning mikroskopik mexanizmini yagona tarzda belgilash mumkin emas.



3-rasm. T = 300 K da normallashtirilgan domen yuzaning magnit induksiya B ga bog‘lanish grafigi.

T=300 K haroratda Ga_2Gd kristallida normallashtirilgan domen yuzasining magnit induksiya B ga bog‘liqligi keltirilgan. Grafikda magnit maydonni oshirish («Borish») va kamaytirish («Qaytish») jarayonlarida domen yuzasining o‘zgarishi ko‘rsatilgan.

Magnit induksiya oshirilishi bilan «Borish» egri chizig‘ida domen yuzasi dastlab sekin o‘zgaradi, ma’lum magnit maydon oralig‘ida esa uning o‘sishi keskin kuchayadi. Magnit maydonning yanada ortishi bilan domen yuzasi asta-sekin to‘yingan holatga yaqinlashadi. Bu magnit maydon ta’sirida domenlarning qayta yo‘nalishi va qayta tashkil topishi bosqichma-bosqich amalga oshishini ko‘rsatadi.

«Qaytish» jarayonidagi egri chiziq «Borish» egri chizig‘iga nisbatan sezilarli darajada farq qiladi. Xususan, magnit maydon kamaytirilayotganida domen yuzasi avvalgi holatga darhol qaytmaydi, balki yuqoriroq qiymatlarni saqlab qoladi. Natijada bir xil magnit induksiya qiymatlarida domen yuzasining qiymati maydonni oshirish va kamaytirish yo‘nalishlariga qarab turlicha bo‘ladi.

Shunga qaramay, berilgan grafik domen tasvirlaridan olingan optik javobning maydon bilan bir xil tezlikda o‘zgarmasligini ko‘rsatadi. Bu juda muhim natija: namunaning magnitooptik ko‘rinishi faqat maydonning katta-kichikligi emas, balki maydonning oldingi qiymatlari va yo‘nalishi bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin. Bunday farqlanish magnit tarixga bog‘liq jarayonlarni izlash uchun asos bo‘lib xizmat qiladi [1].

Ushbu tajribaning asosiy amaliy natijasi shundan iboratki, Ga_2Gd namunasi optik tasvirida tashqi maydon o‘zgarishi bilan sezilarli strukturaviy farqlar qayd etildi. Boshlang‘ich holatda zich chiziqsimon naqshlar ko‘rinsa, yuqori tok holatida ular ancha sustlashadi. Teskari yo‘nalishda esa ayrim oraliq bosqichlarda boshqa geometrik ko‘rinishlar paydo bo‘ladi. Bu holatlar magnit maydonning namunaga oddiy statik ta’siri emas, balki maydon tarixini hisobga olgan holda tahlil qilinishi kerakligini ko‘rsatadi.

Amaliy jihatdan mazkur metodika Ga_2Gd kristallining optik ko‘rinishini tezkor tarzda kuzatish, qaysi tok va magnit induksiya oralig‘ida tasvir eng katta o‘zgarishini aniqlash va keyingi aniq magnit o‘lchovlar uchun qiziqarli diapazonlarni belgilash imkonini beradi. Kelgusida shu diapazonlarda kichikroq qadam bilan o‘lchash va tasvirlardan sonli parametr ajratish tajriba sifatini oshiradi.

XULOSA

Xona haroratida o‘tkazilgan tajribada Ga_2Gd kristallining tashqi magnit maydon o‘zgargandagi magnitooptik tasvirlari o‘rganildi. Tajribada tok kuchi 0-9 mT oralig‘ida o‘zgartirilib, maydonni oshirish, kamaytirish, teskari yo‘nalishga o‘tkazish va qayta oshirish sikllari amalga oshirildi. Foydalanuvchi bergan tasvirlar asosida boshlang‘ich holatda mayda va zich chiziqsimon strukturalar mavjudligi, tok oshishi bilan ularning ko‘rinadigan kontrasti kamayishi hamda ayrim teskari sikl bosqichlarida uzunroq va tarmoqlangan chiziqlar hosil bo‘lishi qayd etildi.

Domen natijalari asosida taqdim etilgan B- grafigi optik ko‘rsatkichning maydon bilan oddiy chiziqli tarzda o‘zgarmasligini ko‘rsatadi. ko‘rsatkichi kichik B sohasida tez o‘zgarib, keyin yuqori qiymatga yaqinlashadi. Grafik to‘liq yopiq gisterezis halqasi bo‘lmagani sababli uni ehtiyotkorlik bilan gisterezis xarakteridagi natija sifatida talqin qilish kerak. To‘liq gisterezis parametrlari uchun musbat va manfiy maydonni qamrab oluvchi yopiq sikl va ning aniq matematik ta’rifi talab etiladi.$\eta\eta\eta$

Ga_2Gd bo‘yicha adabiyotlarda asosiy magnit tartiblar past haroratlarda qayd etilgani sababli 300 K dagi ushbu optik tasvirlarni ma’lum past-harorat antiferromagnit fazalar bilan bevosita tenglashtirish ilmiy jihatdan yetarli emas. Shunga qaramay, tajriba natijalari tashqi maydon bilan birgalikda optik kontrastning sezilarli qayta tashkil topishini ko‘rsatib, Ga_2Gd kristallining magnitooptik javobini chuqurroq o‘rganish uchun asos beradi [1-7].

Kelgusi ishda barcha domen tasvirlarini raqamli qayta ishlash, B bo‘yicha yagona kalibrlangan o‘qdan foydalanish, musbat va manfiy maydonli to‘liq gisterezis siklini olish hamda magnitlanish M(B) bilan bir vaqtda magnitooptik (B) ni o‘lchash eng muhim yo‘nalishlar hisoblanadi.η

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Hubert A., Schäfer R. Magnetic Domains: The Analysis of Magnetic Microstructures. Berlin; Heidelberg: Springer, 1998. 696 p. DOI: 10.1007/978-3-540-85054-0.

2. Kittel C. Physical Theory of Ferromagnetic Domains // Reviews of Modern Physics. 1949. Vol. 21, No. 4. P. 541–583. DOI: 10.1103/RevModPhys.21.541.

3. Kittel C. Theory of the Structure of Ferromagnetic Domains in Films and Small Particles // Physical Review. 1946. Vol. 70. P. 965–971. DOI: 10.1103/PhysRev.70.965.

4. Kooy C., Enz U. Experimental and Theoretical Study of the Domain Configuration in Thin Layers of $BaFe_{12}O_{19}$ // Philips Research Reports. 1960. Vol. 15. P. 7–29.

5. Stoner E.C., Wohlfarth E.P. A Mechanism of Magnetic Hysteresis in Heterogeneous Alloys // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. 1948. Vol. 240, No. 826. P. 599–642. DOI: 10.1098/rsta.1948.0007.

6. Buschow K.H.J., van der Hoogenhof W.W. Magnetic Properties and Phase Relationships of Gadolinium-Gallium Compounds // Journal of the Less-Common Metals. 1976. Vol. 45, No. 2. P. 309–313. DOI: 10.1016/0022-5088(76)90277-0.

7. McCord J. Progress in Magnetic Domain Observation by Advanced Magneto-Optical Microscopy // Journal of Physics D: Applied Physics. 2015. Vol. 48. Art. 333001. DOI: 10.1088/0022-3727/48/33/333001.

8. Вонсовский С.В. Магнетизм: магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. Москва: Наука, 1971. 1032 с.