



**FAN VA TEXNOLOGIYALAR
TARAQQIYOTI**

**DEVELOPMENT OF SCIENCE
AND TECHNOLOGI**

1
2026

Tahririyat hay'ati raisi:
SIDDIQOVA S.G'. –
Buxoro davlat texnika universiteti rektori

Muovini:
NIZAMOV A.B. –
BuxDTU ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektori
Tahrir hay'ati:

MUQIMOV K.M. – O'zR FA akademigi (O'zMU)
JALILOV A.T. – O'zR FA akademigi (Toshkent kimyo-texnologiya ITI)
NEGMATOV S.N. – O'zR FA akademigi ("Fan va taraqqiyot" DUK)
BAHODIROV G'.A. – t.f.d., professor, O'zR FA bosh ilmiy kotibi
XAMIDOV O.X. – iqtisod fanlari doktori, professor (BuxDU)
JALILOV T.K. – iqtisod fanlari doktori (DSc), professor (TKTI)
PARDAYEVA M.D. – BuxDTU yoshlar masalalari va ma'naviy-ma'rifiy ishlar bo'yicha birinchi prorektori, falsafa fanlari doktori (DSc)
XOJIYEV A.X. – o'quv ishlari bo'yicha prorektor, texnika f.f.d. (PhD)
SAIDOV S.B. – Buxoro DTU moliya va iqtisod ishlari bo'yicha prorektori
QURBONOV J.M. – texnika fanlari doktori, professor (Samarqand ISI)
ADIZOV B.Z. – texnika fanlari doktori (DSc), pprofessor, O'zRFA UNKI
ASTANOV S.X. – fizika-matematika fanlari doktori, professor
RAXMONOV X.Q. – texnika fanlari doktori, professor
VOXIDOV M.M. – texnika fanlari doktori, professor
JO'RAYEV X.F. – texnika fanlari doktori, professor
SADULLAYEV N.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOV Q.X. – texnika fanlari doktori, professor
FOZILOV S.F. – texnika fanlari doktori, professor
ISABAYEV I.B. – texnika fanlari doktori, professor
ABDURAHMONOV O.R. – texnika fanlari doktori, professor
GAFUROV K.X. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
XAYDAROV A.A. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
JO'RAYEV F.O'. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MURADOVA F.R. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
JUMAYEV M.R. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
YUNUSOVA G.S. – falsafa fanlari doktori (DSc), professor
BOBOYEV A.Ch. – iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor
TO'XTAYEVA Z.Sh. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.J. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
HAYITOV R.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOZOROV G'.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOLTAYEV Z.I. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
OLTIYEV A.T. – texnika fanlari doktori, (DSc)
JALILOV R.B. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.I. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOVA N.Q. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
AXMEDOV V.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV R.A. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
PULATOVA M.I. – fizika-matematika fanlari nomzodi, professor
RAHMATOV Sh.A. – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
OCHILOV A.R. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
O'RINOV U.A. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
PO'LATOVA S.U. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
SAMIYEVA Sh.X. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
TESHAYEV M.X. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
XAITOV V.U. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
XOJIYEV Sh.M. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
XAYITOV Sh.N. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
ZOIROV E.X. – falsafa fanlari doktori (DSc), dotsent
NARZIYEV M.S. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
NAMAZOVA N.J. – iqtisodiyot fanlari b.f.d. (PhD), dotsent

Bosh muharrir: DO'STOV H.B. – kimyo fanlari doktori, professor

Muharrirlar: Artikova M.M., Istamova G.X.
Musahhih: Barakayeva D.F.

FAN VA TEXNOLOGIYALAR
TARAQQIYOTI
ILMIY-TEXNIKAVIY JURNAL

DEVELOPMENT OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyati boshqarmasida 2014 yil 22-sentyabrda № 05-066-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan

Muassis:
Buxoro davlat texnika universiteti

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi OAK Rayosatining 2017 yil 29-martdagi №239/5-sonli qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan. 2019 yilda O'zbekiston Respublikasi OAK Rayosatining qarorlari bilan qayta ro'yxatdan o'tkazilgan.

Tahririyat manzili:
200117, Buxoro shahri, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15-uy, Buxoro davlat texnika universiteti

Tel: 0(365) 223-92-40

Faks: 0(365) 223-78-84

E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

Jurnalning to'liq elektron varianti bilan <http://journal.bstu.uz> sayti orqali tanishish mumkin.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to'liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim ham mos tushmasligi mumkin. Jurnalda yoritilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolalarning mualliflari va reklama beruvchilar mas'uldirlar.

MUNDARIJA – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

TEXNIKA, TEXNOLOGIYA VA JIHOZLAR	
Normayev Q.H., Pardayeva Sh.S., Pirnazarov Sh.V., Ashirova M.R., Jalg‘asova G.S. Burg‘ilash mashinalari va ularning mexanizmlarini samarali qayta tiklash texnologiyalari.	5
Azamjonov R.S. Eksploatatsiyadagi avtoyo‘l ko‘priklarining yuk ko‘tarish qobiliyatini oshirish usulini takomillashtirish	11
Xolmuxammadiyev A.M., Toshev Sh.O. Burg‘ulash eritmasidan markazdan qochma separator yordamida yengillashtirilgan eritma tayyorlash texnologiyasi	15
Джураев Х.Ф., Ўктамова Ш.Х. Қовоқ уруғи қобиғининг синдириш кучларини аниқлаш методикаси	20
Mansurov O.A. Improving the drying process of fruits using convective method.	24
Jo‘rayev F.O‘., Jo‘rayev A.A., Saidova G.K. Uneversal qurilmaning yumshatuvchi ish oraganining parametrlarini uning ish ko‘rsitkichlariga ta’siri.	27
Авлиякулов Н.Н. Достижение качества измерительных процессов при метрологическом обеспечении производства	32
Do‘stov H.B., Rahimov B.R., Savriyev F.A. Suvlangan gaz quduqlarini qayta ishga tushirish texnologiyasini takomillashtirish tahlili.	36
KIMYO VA KIMYOVIY TEXNOLOGIYALAR	
Toshboyev S.O‘., Panoyev E.R., Hasanov Z.Z. Gazlarni tozalashda qo‘llaniluvchi absorbentlarning tavsifi va unda hosil bo‘ladigan ko‘piklanish sabablari.	43
Умаров С.Х., Рустамов В.Дж., Халлоков Ф.К., Ходжаев У.О., Нарзуллаева З.М. Механизм отрицательной фотопроводимости в TiGaSe ₂	47
Фозилов Х.С., Туробжонов С.М., Фозилов С.Ф. Маҳаллий иккиламчи хом ашё – куйи молекулали полиэтиленни оксидлаб синтетик юқори ёғ кислоталари олиш ва уларнинг физик-кимёвий хоссалари.	52
Абдирахимов И.Э. Способы предотвращения образования гидрата при переработке газов.	57
Alinazarov A.X., Shariboyev N.Y., Jo‘raxanov D.M. Anaerob parchalanish jarayonida harorat barqarorligining metanogen bakteriyalar faolligiga ta’siri va uni quyoshli issiqlik tizimi orqali ta’minlash.	61
Abdirakhimov I.E. Anticorrosion properties of copper phosphide.	66
Norqulov J.F., Ibodullayev M.X., Abduraxmonov O.R., Kodirov O.Sh. Amin eritmalarini issiqlikka bardoshli tuzlardan tozalash jarayonini modellashtirish.	72
Абдирахимов И.Э., Буранов Ф.Э., Курбанов А.Т. Исследование технологических параметров, рекомендованных для синтеза этилена из метана.	79
Rahimov B.R. Yuqori qatronli neftlarning qovushqoqligini pasaytiruvchi depresantlar kompozitsiyasini ishlab chiqish.	86
Эшдавлатова Г.Э., Камолов Л.С. Определение концентрации диэтанолamina титриметрическим методом	91
Rahimov B.R. Qoldiq neftlarni olishda chuqurlik nasos qurilmasini takomillashtirishning dolzarb muamolari.	96
Yuldashev T.R., Buronov F.E., Hafizov S.Sh. Tabiiy gazning tarkibidagi zaharli komponentlarni aminlar yordamida tozalash jarayonlari.	100

MASHINASOZLIK VA ENERGETIKA	
Bafoyev D.X. Detallar sirtini plastik deformatsiyalash va bir tekis mikrorelefnı shakllantirish	107
Majitov J.A. Bioreaktor devorining turli sirtlarida issiqlik berish koeffitsiyentlarini hisoblash va tahlil etish.	112
Azamov S.S. Uch fazali tok o'zgartkichlari yordamida asinxron motorlarni himoya qilish tizimi tatqiq etish.	118
Maxmudov M.I., Qo'shshayeva M.R., Nurov S.S., Timirov H.N., Sayfiyev H.O. Quyosh panellarining samaradorligiga changlanganlikning ta'sirini o'rganish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar tahlili.	122
Атауллаев А.О. Исследование и разработка виброустойчивых инклинометрических преобразователей для систем контроля и управления.	128
Tovboyev A.N., Tog'ayev I.B. Tojlanish jarayonining yuqori kuchlanishli havo liniyalaridagi quvvat yo'qotishlariga ta'sirini baholash.	135
Murodov K.J. Ko'p qavatli binolarning vertikal chiqindi quvurlaridagi suyuqlik oqimlaridan elektr energiya hosil qilish.	141
Xamroyev X.X. Mexanik ishlov berishda sirt qatlamining mexanik xususiyatlari.	145
Tojmuradov D.D. Asinxron motorlarni nosimmetrik rejimlari.	149
Sadullayev N.N., Nematov Sh.N., To'xtayev Sh.B., Soliyeva Z.N., Murtazoyev F.F. O'zbekistonda quyosh sovtutish tizimlari va ularning texnik imkoniyatlari.	154
INFORMATIKA VA AXBOROT – KOMMUNIKATSION TIZIMLAR	
Babomuradov O.J., Kuyliyeva F.A. Statistical analysis of social network messages.	163
Madaminov U.A., Qodirov D.R. Katta hajmli ma'lumotni parallel qayta ishlashda Hadoop MapReduce tizimini qo'llash.	168
Каххоров М.М. Моделирование ветровой турбины типа Дарье и обоснование её параметров в системе Ansys Fluent.	173
Maxmudov M.Sh. Relief morfometrik ko'rsatkichlari asosida marshrutlashning model va algoritmlari.	179
OZIQ-OVQAT SANOATI TEXNOLOGIYALARI	
Ravshanov S.S., Botirov M.Sh., Ergashev A.M., Mirzaev J.D., Shodmonqulova Q. Quruq iqlimda yetishtirilgan bug'doy donini ochiq omborlarda saqlashning mahsulot xossalariga ta'siri.	184
Sharipov N.Z., Qo'ldosheva F.S. Gilos danagidan moy olish jarayonini infraqizil nurlar yordamida jadallashtirish.	187
Шарипов Н.З. Интенсификация процесса получения масла из ядра косточек вишни в поле сверхвысокочастотного тока.	190
Баракаев Н.Р., Шукуров Ю.У. Мева ва сабзавотларни сублиматия йўли билан қуритишнинг илмий асослари.	194
Ibragimov R.R., Sharipov N.Z. Bodringni konservalash jarayonida noan'anaviy usulda issiqlik ishlov berish jarayonini nazariy asoslari.	199
Kuliyev N.Sh. Meva va sabzavot sharbatlarini ko'pirtirishda ko'pik hosil qilish va emulgirlash xususiyatlarining dinamikasi.	203
Мухамедова М.Э. Разработка рецептуры диабетических сдобных сухарей с использованием синергии растительных компонентов	209
Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Исследование показателей качества местных сортов овощной продукции длительного хранения.	220

Файзиев А.А., Ахмедов В.Н., Кедельбаев Б.Ш. Технология приготовления натурального мясного полуфабриката ферментированного бифштекса	227
TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT TEXNOLOGIYALARI	
Ramazonov S.S., Ismoyilov F.B. Tola sifatini yaxshilash va tozalash maqsadida jinlash mashinasini ishchi qismlarini takomillashtirish.	233
Muxitdinova M.A., Bebutova N.N. Milliylik va zamonaviylik uyg‘unligi: O‘zbek libos dizaynida yangi yo‘nalishlar.	237
Nematova L.X., Qodirova D.X. Yoshi katta ayollar fe‘l atvori belgilari bo‘yicha iste‘molchilarning tipologik xususiyatlarini aniqlash.	242
Saidova A.S., Saidova G.Sh., Fayzilloyeva N.B. Tikuv mashinasining tahlama qurilmadagi taxlam hosil qilishda takomillashgan tahlam berishdagi tishlarini turli ko‘rinishda choklarga ta‘siri.	246
Совутов М.Э., Мусаев Н.М., Холиқов К.М., Муқимов М.М. Иссиқлик сақлаш хусусияти юқори бўлган трикотаж тўқималарининг физик-механик кўрсаткичлари тадқиқи	251
Shodmonova M.S. Elastikligi yuqori bo‘lgan polimer kompozitsiya olish usulini ishlab chiqish	258
Садуллаева Д.А. Современные материалы: Хан-атлас – традиция и инновация.	261
Джурраев А., Росулов Р.Х., Пардаев Б.Ч., Имомназаров М.С. Пахтани майда ифлосиклардан тозалагичнинг самарали конструкцияси.	267
Aliyev Sh.B. Tikuv mashinasining tishli reykasini lazer nuri yordamida termik ishlov berishning matematik modeli.	270
Musayev S.S., Qodirov T.J. Reseptura ko‘rsatkichlarining poliolefin va etilenpropilen kauçugi asosidagi poyabzal kompozitsiyalarining iste‘mol va texnologik xususiyatlariga ta‘siri.	275
Amonov A.R., Muxammedjanov M.M. Tikuv mashinasi qavariq rezinali vtulkali qayishqoq tayanchlarga o‘rnatilgan bosh vali tebranish amplitudasi tahlili.	281
Berdimuratov U.T., Rosulov R.X., Pardayev B.Ch. Arrali jinlar konstruksiyasi, asosiy ishchi organlari, ishlash jarayoni.	284
Muxammedova M.O., Axmedov J.J. O‘smirlar uchun soddalashtirilgan ortopedik poyabzal elementlarining konstruktiv yechimlarini ishlab chiqish.	286
Temirova G.I., Shodmonova M.S. Polimer kompozitsiya asosida ko‘p qatlamli mo‘ynali paketlar tayyorlash texnologiyasi.	291
Saidova X.X., Murodova Z., Ulugova N. 3D va ko‘p o‘lchovli geometrik yondashuvlar asosida bolalar kiyimini konstruktiv loyihalash.	295
Kuliyeva D.R. Bazalt mato qo‘llanilgan maxsus kiyim turini tanlash va konstruksiyasini ishlab chiqish	299
Sharipov J.O., Sayitqulov S.O., Begmurodov A.F. Detallarni yeyilishi va korroziyalanishiga asosiy sabablar hamda ulardan himoyalaniş.	306
Toshpulotov L.I., Xamrayeva S.A. Turli o‘rilishli ikki qatlamli ko‘ylakbop matolarning mexanik va deformatsion xususiyatlarining o‘zgarishi.	309
Sayitqulov S.O., Razzoqov R.R. Paxtani mayda iflosliklardan tozalash mashinasining yangi konstruksiyasini ishlab chiqish.	314
Qodirova S.X. Ayollar ustki liboslari bo‘yicha istiqbolli moda yo‘nalishlarini tahlil qilish	318
Каримова Н.Х. Оценка свойств двухслойных трикотажных тканей на основе структурного и механического анализа противостоячивости к трению и разрывного удлинения	322
Maxmudova X.M. Paxta quritishning ahamiyatliligi va undagi texnik muammolar.	326
Behbudov Sh.H., Samadova M.O. Ip va matoga ta‘sir etuvchi tashqi kuchlar asosida tikuv mashinasi bo‘g‘inlarining harakat tenglamalarini tahlil qilish.	332

Шопулатов А.А., Райимкулов Ж.К., Бердимуратов У.Т., Росулов Р.Х. Пахтани майда ифлосликлардан тозалашда қозикчали-планкали барабан планкаларининг таъсири	336
Sultonov M.M., Aloxodjayev A.M., Mirzaaxmedova D.Yu. Takomillashtirilgan tozalash qurilmasining texnologik parametrlarini tadqiq qilish.	340
Azimova G.A., Shokirov L.B. Mahalliy xomashyolarga asoslangan yarim jun to‘qimalar ishlab chiqishning dolzarb masalalari.	350
Agzamova S.M., Gulyayeva G.X., Mukimov M.M., Karimova N.H. Turli xomashyoli ikki qatlamli trikotaj to‘qimalarining sifat ko‘ratkichlarini kompleks baholash.	354
ANIQ VA IJTIMOIIY-IQTISODIY FANLAR	
Mannonov Y.O. Kitobxonlik madaniyatini oshirishning ayrim masalalari.	360
Мухамадиев Б.Т, Мухамадиева З.Б., Джамалов С.Ш. Значение сбалансированного кишечного микробиома в укреплении физического и психологического здоровья	363
Xakimova M.Y. Elektron kutubxonani yaratishda zamonaviy dasturiy-texnik ta’minot	372
Шарипов М.З., Назаров Э.С., Зокирова З.М., Иброхимова С.Ш., Муминов Ш.Х. Структура и свойства одномерных микромагнитных конфигураций в ферромагнитных кристаллах.	375
EKOLOGIYA VA ATROF MUHIT MUHOFAZASI	
Мамедов Р.А., Жамолов Ж.Ж. Оценка низконапорного гидроэнергетического потенциала водозаборных сооружений и ирригационных каналов.	381
Мамедов Р.А. Исследование зависимости выхода водорода от термохимических характеристик электролита в процессе электролиза.	391

bog'liq. Shu ma'noda tijoratlashtirish, axborotning ommaga ochiqligini ta'minlash, kutubxona xodimlarini yangi texnik sharoitlarda ishlashga tayyorlash, kitobxonlarning axborot madaniyatini oshirish, ularga xizmat ko'rsatishni tashkil etishning maqbul shakllarini ijtimoiy jihatdan oqilona hal etish muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi "O'zbekiston-2030" strategiya to'g'risidagi PF-158-son Farmoni.
2. SH.M.Mirziyoyev. Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi. Uchinchi nashr. Toshkent: "O'zbekiston" nashriyoti, 2022. -440 b.
3. Shvot Klaus. To'rtinchi sanoat inqilobi. Toshkent: Nixol, 2022-248 b.
4. Noxrin Yuriy Vladimirovich «Elektronnaya biblioteka kak forma bitovaniya biblioteki v informatsionnom obshestve» - Rossiya, 2022- 200s.
5. Olenev S. M. Informatsionnaya kultura na rubeje tisyacheletiy: preymstvennost i novatsii. //Informatsionnaya kultura lichnosti: proshloye, nastoyasheye, budusheye. Mejdunarodnaya nauchnaya konferensiya. Krasnodar - Novorossiysk - 11-16 sentabrya, - 2016. - S. 52-53.

Xakimova Muborak Yakubjanovna - O'zbekiston davlat san'at va madaniyat instituti, "Kutubxona-axborot faoliyati" kafedrasi mudiri. Tel:+998 (97) 7534079. E-mail: hakimova.1979@bk.ru

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОДНОМЕРНЫХ МИКРОМАГНИТНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛАХ

¹Шарипов М.З., ¹Назаров Э.С., ¹Зокирова З.М., ¹Иброхимова С.Ш., ²Муминов Ш.Х.

¹Бухарский государственный университет, ²Бухарский инновационный университет.

Аннотация. В данной работе анализируются простейшие одномерные микромагнитные конфигурации в объемных ферромагнитных кристаллах, пренебрегая поверхностными эффектами на намагничивание. Баланс между обменной и анизотропной энергиями определяет структуру и устойчивость доменных стенок конечной толщины. Полученные результаты дают фундаментальное представление о микромагнитных конфигурациях в массивных ферромагнитных материалах и актуальны для разработки магнитооптических и спинтронных тонкопленочных приборов.

Ключевые слова: кристалл, доменная структура, доменная граница, намагниченность, магнитостатическая энергия, ферромагнетик, магнитное поле.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF ONE-DIMENSIONAL MICROMAGNETIC FORMATIONS IN FERROMAGNETIC CRYSTALS

¹Sharipov M.Z., ¹Nazarov E.S., ¹Zokirova Z.M., ¹Ibrokhimova S.Sh., ²Muminov Sh.H.

¹Bukhara state university, ²Bukhara innovation university.

Annotation. This work analyzes the simplest one-dimensional micromagnetic configurations in bulk ferromagnetic crystals, neglecting surface effects on magnetization. The balance between exchange and anisotropy energies determines the structure and stability of domain walls with finite thickness. The results provide fundamental insight into micromagnetic configurations in massive ferromagnetic materials and are relevant for the development of magneto-optical and spintronic thin-film devices.

Keywords. micromagnetism; domain wall; magnetic anisotropy; exchange interaction; uniaxial crystal; magneto-optical materials; spintronic applications dynamic micromagnetic phenomena.

Введение. Изучение микромагнитных конфигураций в ферромагнитных материалах остаётся актуальным в современной физике конденсированного состояния и материаловедения. Микромагнетизм обеспечивает теоретическую основу для понимания того, как вектор намагниченности изменяется в пространстве под влиянием конкурирующих обменных, анизотропных и магнитостатических взаимодействий. Возникающие в результате этого пространственно неоднородные состояния, в частности, магнитные домены и

доменные стенки, ответственны за широкий спектр макроскопических магнитных и магнитооптических свойств, наблюдаемых в кристаллических твёрдых телах.

Доменная граница (ДГ) представляет собой переходную область, разделяющую два однородно намагниченных домена, ориентированных вдоль разных лёгких осей. Хотя её характерная толщина, обычно в диапазоне от десятков до сотен нанометров, составляет лишь малую долю объёма материала, доменная стенка играет решающую роль в определении магнитных, оптических и транспортных свойств системы. Внутренняя структура границы обусловлена тонким балансом между обменной энергией, способствующей однородному намагничиванию, и энергией магнитной анизотропии, которая выстраивает намагниченность вдоль кристаллографически предпочтительных направлений. Равновесный баланс доменной стенки и её энергия определяются минимизацией полного микромагнитного функционала.

С теоретической точки зрения, одномерные модели изменения намагниченности предлагают наиболее прямой способ понимания формирования доменных стенок в объёмных материалах. В таких моделях поверхностные эффекты не учитываются, и предполагается, что намагниченность изменяется вдоль одной пространственной координаты. Эти простейшие одномерные микромагнитные конфигурации дают аналитическое представление о балансе обменного и анизотропного вкладов и позволяют вывести явные соотношения для ширины и энергии доменной стенки. Классический подход, инициированный Ландау и Лифшицем [1], остаётся неотъемлемой основой современного микромагнитного моделирования, которое распространяется на тонкие плёнки, многослойные системы и наноструктурированные материалы [2-4].

В данной работе мы анализируем фундаментальные одномерные микромагнитные конфигурации в объёмных ферромагнитных кристаллах, уделяя особое внимание условиям формирования и устойчивости доменных стенок с размерами 90° . Особое внимание уделяется роли симметрии магнитной анизотропии и энергетическому балансу, определяющему конечную толщину стенки. Представленные здесь результаты обеспечивают теоретическую основу, применимую как к объёмным кристаллам, так и к тонкоплёночным магнитооптическим системам, где аналогичные микромагнитные механизмы наблюдаются в наномасштабе.

Полученные результаты и их обсуждение. Равновесное распределение намагниченности в ферромагнитном кристалле определяется минимизацией полной микромагнитной энергии, включающей обменную, анизотропную и магнитостатическую составляющие [2,3]. В одномерном случае, когда намагниченность изменяется только вдоль одной координаты (z), полная энергия на единицу объема может быть выражена как

$$E = A \left(\frac{dm}{dz} \right)^2 + Kf(m) + E_{ms} \quad (1)$$

где A - константа обменной жесткости, K - константа анизотропии, $f(m)$ описывает угловую зависимость энергии анизотропии, определяемую симметрией кристалла, а E_{ms} - плотность магнитостатической энергии. Вектор $m = M/M_s$ - единичный вектор направления намагниченности.

В объёмных ферромагнитных кристаллах, где влиянием внешних поверхностей можно пренебречь, магнитная структура определяется главным образом конкуренцией обменного взаимодействия и магнитной анизотропии. Обменная энергия стремится выстроить соседние спины параллельно друг другу, что приводит к однородной намагниченности, в то время как энергия анизотропии ограничивает направление намагниченности определёнными кристаллографическими осями – так называемыми лёгкими осями. При наличии нескольких эквивалентных лёгких направлений кристалл обладает вырожденными однородно намагниченными состояниями, которые могут

сосуществовать в разных частях кристалла. Области, намагниченные вдоль этих эквивалентных направлений, образуют магнитные домены.

Между соседними доменами намагниченность не может изменяться скачком, поскольку это привело бы к резкому увеличению обменной энергии. Вместо этого вектор намагниченности постепенно поворачивается на конечном расстоянии, образуя доменную стенку - переходный слой, разделяющий домены с различной ориентацией. Конечная толщина стенки, обозначаемая как δ , возникает в результате минимизации функционала полной энергии.

Чтобы найти равновесную конфигурацию вектора намагниченности $M(z)$, минимизируется полная энергия относительно пространственных изменений углов $\theta(z)$ и $\phi(z)$, описывающих направление M в системе координат кристалла. Применение вариационного принципа приводит к уравнению Эйлера-Лагранжа:

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{\partial E}{\partial (d\theta/dz)} \right) - \frac{dE}{d\theta} = 0 \quad (2)$$

которое определяет равновесный профиль намагниченности внутри доменной стенки. Конкуренция обменной и анизотропной энергий определяет характерную толщину стенки и закон вращения вектора намагниченности.

В простейшем случае одноосного кристалла, где лёгкая ось расположена вдоль направления z , энергия анизотропии может быть записана как

$$E_{an} = K \sin^2 \theta \quad (3)$$

а полный одномерный функционал энергии становится

$$E = A \left(\frac{dz}{d\theta} \right)^2 + K \sin^2 \theta. \quad (4)$$

Минимизация этого функционала даёт хорошо известное решение для блоховской стенки с радиусом 180° :

$$\theta(z) = z \tan^{-1} \left[\exp \left(\frac{z}{\delta} \right) \right], \quad (5)$$

где толщина стенки определяется выражением

$$\delta = \sqrt{\frac{A}{K}} \quad (6)$$

Этот результат явно демонстрирует, что равновесная толщина стенки определяется отношением обменной жёсткости к силе анизотропии: сильный обмен расширяет стенку, в то время как сильная анизотропия сужает её. Полную энергию стенки на единицу площади можно оценить как

$$\gamma = 4\sqrt{AK} \quad (7)$$

что представляет собой минимальную поверхностную энергию доменной стенки блоховского типа в одноосном ферромагнетике.

Схематическая иллюстрация зависимости полной энергии от толщины стенки δ , возникающей в результате взаимодействия обменной и анизотропной энергий, представлена на рисунке 1.

В объёмном ферромагнитном кристалле доменная граница разделяет две однородно намагниченные области (домены) с векторами намагниченности M_1 и M_2 , ориентированными вдоль разных направлений лёгкого намагничивания. Плоскость границы можно определить её нормалью n , а поворот вектора намагниченности внутри границы можно охарактеризовать двумя углами: θ - наклоном вектора намагниченности к нормали к границе и ϕ - азимутальным углом, описывающим его поворот вокруг нормали.

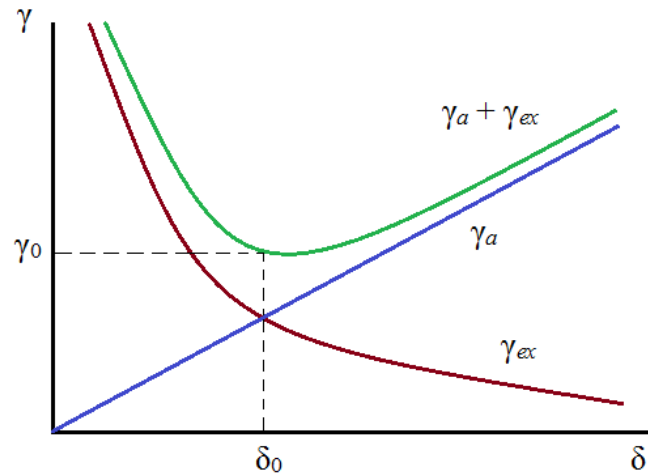


Рис. 1. Схематическая иллюстрация баланса вкладов обменной и анизотропной энергий, определяющего равновесную ширину доменной стенки δ .

На рисунке 2 схематически показано постепенное вращение вектора намагниченности $M(z)$ через доменную границу. Изменение происходит непрерывно, минимизируя обменную энергию, а траектория вектора M описывает поверхность конуса с углом при вершине ψ , ось которого совпадает с направлением лёгкого намагничивания.

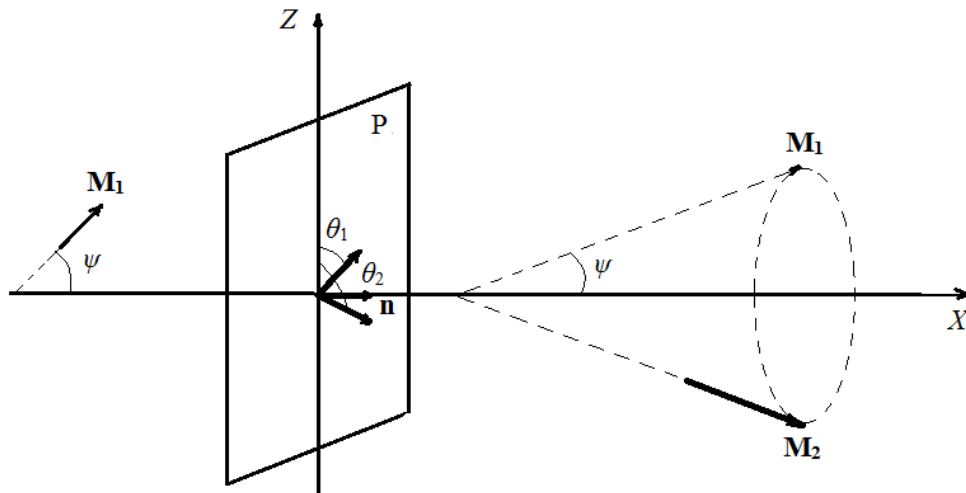


Рис. 2. Вращение вектора намагниченности через доменную границу, разделяющую два домена с намагниченностями M_1 и M_2 . Углы θ_1 и θ_2 определяют направления намагниченности в соседних доменах, а ψ - угол поворота конуса.

В кристаллах с одноосной анизотропией лёгкая ось намагничивания обычно совпадает с нормалью к стенке. В этом случае $\theta_1 = \theta_2 = \theta$, и намагниченность изменяется только на азимутальный угол ϕ . Такая конфигурация соответствует классической блоховской 180° -ной стенке, где намагниченность вращается в плоскости стенки, сохраняя постоянную величину во всей переходной области. Направление намагниченности в двух соседних доменах отличается на 180° , отсюда и название.

Напротив, материалы с планарной (двуосной) анизотропией, такие как некоторые ферриты и тонкие магнитные плёнки, могут поддерживать стенки, где лёгкая ось лежит в плоскости стенки. В этом случае как θ , так и ϕ изменяются по всей границе, и намагниченность вращается в плоскости, перпендикулярной нормали к стенке. Иногда эти стенки называют стенками типа Нееля, в зависимости от конкретного пути вращения M .

В магнитно-анизотропных кристаллах обычно наблюдаются два основных типа доменных границ - 180° и 90° - в зависимости от относительной ориентации намагниченности в соседних доменах [2,3]. 90° - ные стенки соответствуют поворотам намагниченности на $\pi/2$ между соседними доменами. В зависимости от симметрии кристалла такие стенки могут лежать в плоскостях типа (100), (110) или (111). При определённых условиях, в частности, при наличии дефектов или центров пиннинга, изолированные 90° - ные стенки могут оставаться стабильными даже в идеальных кристаллах.

На рисунке 3 схематически показан пример 90° -ной стенки, расположенной в плоскости (100) таких как никель-иттриевый железо-гранат (ЖИГ). Рассмотрев структуру 90° доменных границ в одноосных и двуосных материалах, полезно рассмотреть ситуацию в кубических (четырёхосных в магнитном отношении) кристаллах, где ландшафт энергии анизотропии становится значительно более сложным. В таких системах намагниченность может быть ориентирована вдоль нескольких эквивалентных осей лёгкого намагничивания, обычно вдоль кристаллографических направлений $\langle 100 \rangle$ или $\langle 111 \rangle$. Сосуществование нескольких направлений лёгкого намагничивания приводит к возможности существования непрерывного набора энергетически эквивалентных ориентаций доменных границ [6,7].

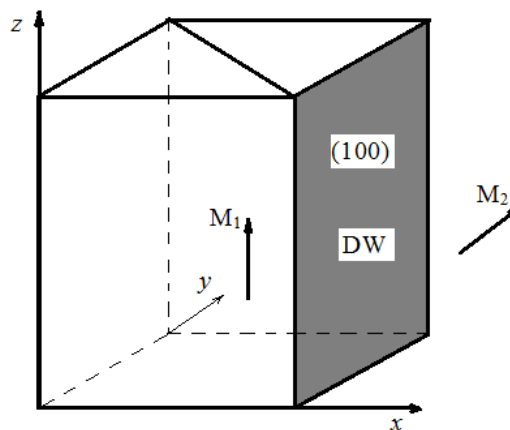


Рис. 3. Схематическое изображение 90° доменной границы, расположенной в кристаллографической плоскости (100).

Заключение. В данной работе мы проанализировали простейшие одномерные микромагнитные конфигурации в объемных ферромагнитных кристаллах, уделив особое внимание фундаментальным механизмам, управляющим формированием, структурой и устойчивостью доменных границ. Разработанная здесь теоретическая модель описывает 90° - доменные границы и проясняет влияние кристаллографической анизотропии на их геометрию и энергетику.

Полученные результаты обеспечивают физическую основу для понимания поведения доменных границ не только в массивных кристаллах, но и в тонких пленках и многослойных системах, где поверхностные и размагничивающие эффекты играют существенную роль. Такие знания необходимы для интерпретации магнитооптических явлений, оптимизации материалов для оптических и спинтронных приложений, а также для разработки магнитных и магнитофотонных устройств нового поколения.

Список использованной литературы.

- [1] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *Electrodynamics of Continuous Media*, 2nd ed., Pergamon Press (1984).
- [2] A. Hubert and R. Schäfer, *Magnetic Domains: The Analysis of Magnetic Microstructures*, Springer (1998)

- [3] B. N. Filipov, Micromagnetic Structures and Their Nonlinear Properties. Part 1, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg (2019).
- [4] J. Stöhr and H.C. Siegmann, Magnetism: From Fundamentals to Nanoscale Dynamics, Springer (2006). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-30283-4>
- [5] H. Ferrari, V. Bekeris, T.H. Johansen “Magneto-optic imaging of domain walls in ferrimagnetic garnet films” Physica B: Condensed Matter, 398(2), 2007, 476-479. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2007.05.015>
- [6] B.Y. Sokolov, M.Z. Sharipov, “Low-frequency resonance of domain walls in the iron garnet $Tb_3Fe_5O_{12}$ near the magnetic compensation point,” Journal of Experimental and Theoretical Physics, 116(5), 775-779 (2013) <http://dx.doi.org/10.1134/S1063776113040109>
- [7] B.Y. Sokolov, M.Z. Sharipov “Magneto-optical properties of the iron garnet $Tb_3Fe_5O_{12}$ near the magnetic compensation temperature,” Physics of the Solid State 56(5), 975-979 (2014). <http://dx.doi.org/10.1134/S1063783414050291>