

міжпредметних зв'язків включає його в нову, нестереотипну пізнавальну діяльність [5, с. 68; 7, с. 56].

Розумова активність учнів направлена на те, щоб згадати, коли, в зв'язку з якими питаннями програми, в яких навчальних темах іншого предмету вивчались застосовувані знання. Потім необхідно відібрати лише ті елементи знань з іншого предмету, які потрібні для вивчення нового питання даного предмету, відтворити їх, що потребує значного напруження пам'яті [5, с. 68].

На уроках потрібно привчати учнів до раціоналізації навчальної діяльності. Міжпредметні зв'язки повинні виключати дублювання матеріалу, якщо навіть він вивчається давно. Учні спроможні за завданням учителя самостійно повторити раніше вивчений матеріал з іншого предмета (за повторення слід виставляти оцінки), а на уроці має відбуватися не повторення, а поглиблення знань. Це особливо стосується теоретичного матеріалу [1, с. 18].

Синтез знань з різних навчальних предметів передбачає і активність процесів уявлення, мисленого моделювання нової системи зв'язків, нового ідеального образу об'єкта, який вивчається в дійсності. В результаті міжпредметного синтезу виникає нове узагальнене поняття, представлення, яке створюється за допомогою теоретичного мислення учнів, шляхом порівняння, абстрагування, узагальнення.

Формування міжпредметного поняття складає заключний етап встановлення між предметних зв'язків. Новий узагальнений результат пізнання, підсумок міжпредметного зв'язку необхідно уміти виразити в промові. Для цього потрібно поєднати мову математики і фізики, хімії і біології, креслення і трудового навчання та ін. Відбувається розвиток мислення і мови учнів в їх єдності. Таким чином, між предметні зв'язки здійснюються не лише в змісті, але і в методах навчання і закріплюються в уміннях учнів [5, с. 69].

У процесі здійснення міжпредметних зв'язків учні використовують та вдосконалюють певні узагальнені вміння і навички: вміння застосовувати знання, вміння і навички в умовах, відмінних від тих, в яких їх набували; вміння застосовувати загальні методи дослідження; вміння помічати природні явища, процеси, закономірності й застосовувати їх у практичній діяльності; навички користування довідковою літературою; вміння організувати своє робоче місце; графічні вміння і навички; навички самостійної раціональної праці [1, с. 19].

**Висновок.** Використання міжпредметної інтеграції робить процес навчання різноманітним, цікавим, емоційно забарвленим, творчо насиченим. Забезпечується висока активність школярів у використанні знань з одного предмету на уроках з іншого і навпаки, цікаво і просто поєднуючи теоретичні знання з їх практичним застосуванням, тим самим створюючи картину органічної цілісності. Оскільки кожна дитина під час вивчення будь-якої теми виконує свій індивідуальний проект, можна вважати побудову навчання за інтеграційним принципом особистісно-зорієнтованим.

На таких заняттях його учасники мають можливість актуалізувати та поглибити набуті знання та вміння, активізувати процес мислення та трудової діяльності, "забарвивши" його елементами фантазії, просторової уяви, творчості. Ліквідується одноманітність, змінюється атмосфера уроку, методика співпраці стає головною у взаємовідносинах учасників навчального процесу. Та, головне, інтеграція забезпечує формування цілісної творчої особистості учня і тим самим допомагає вирішувати головну мету сучасної освіти.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов О. Наступність трудового навчання і фізики як фактор здійснення міжпредметних зв'язків. // Трудова підготовка в закладах освіти. - 2006. - № 1. - С. 16-19.
2. Василенко В., Кожем'яка О. Міжпредметна інтеграція історії та трудового навчання у 5-7 класах // Трудова підготовка в закладах освіти. - 2007. - № 5-6. - С. 33-37.
3. Зверев И.Д. Совершенствование содержания образования в школе. - М., 1985. - 140 с.
4. Зверев И.Д., Максимова В.Н. Межпредметные связи в современной школе. - М.: Педагогика, 1981. - 159 с.
5. Максимова В.Н. Межпредметные связи и совершенствование процесса обучения: Книга для учителя. - М.: Просвещение, 1984. - 143 с.
6. Максимова В.Н. Межпредметные связи в учебно-воспитательном процессе современной школы: Учебное пособие для студентов педагогических институтов. - М.: Просвещение, 1987. - 160 с.
7. Пригодій М.А. Використання міжпредметних зв'язків (на прикладі формування електротехнічних знань і умінь) // Трудова підготовка в закладах освіти. - 1998. - №1. - С. 40-43.

*Новосад О.*

*Науковий керівник – доц. Бачинський Ю. Г.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОНКИХ ФЕРОМАГНІТНИХ ПЛІВОК

Завдяки стрімкому розвитку науки та техніки у наш час майже всі процеси, які відбуваються при роботі найрізноманітніших приладів, установок, агрегатів та такого подібного є автоматизованими, тобто їхня робота майже не контролюється безпосередньо людиною. Цю функцію взяли на себе так звані перетворювачі сигналів – або датчики, які реєструють всілякі сигнали та їх зміну – будь то зміна електричного струму, температури чи магнітного поля. Одним із видів таких датчиків є магнітні датчики, базові елементи яких – тонкі феромагнітні плівки – які є чутливі до зміни магнітного поля [1, с. 119].

**Актуальність дослідження.** У даний час значна увага приділяється вивченню фізичних

властивостей тонких металевих плівок 3d-металів та структур на їх основі. Використання феромагнітних сплавів як елементів структур, що проявляють анізотропний (АМО), гігантський (ГМО) або тунельний магнітоопір, робить їх актуальним об'єктом дослідження [2, с. 7].

Для вивчення властивостей тонких плівок, розроблено багато різних математичних методів та комп'ютерних моделей. На основі теорії мікромагнетизму, що була розроблена Ландау та Ліфшицем, запропоновано кілька розв'язків задач для моделей, що відображають мікро-дискретність середовища. Зокрема, широке поширення при чисельному моделюванні магнітних середовищ отримала модель на основі так званої дискретно-дипольної апроксимації [3,4]. Ця модель описує дискретне середовище, як сукупність магнітних доменів (моментів), під якими можуть розумітися як окремі спіни так і магнітні моменти.

**Мета статті:** Обрахувати енергії анізотропії феромагнітних матеріалів чистих металів (Fe, Co, Ni) та сплавів на їх основі. Провести комп'ютерне моделювання розподілу намагніченості феромагнітного матеріалу на поверхні феромагнітних плівок без врахування струмів Фуко. Побудувати петлі магнітного гістерезису.

**Обрахунок енергії**

Для обрахунку енергії анізотропії були взяті конфігурації феромагнітних матеріалів (див. таблиця 1)

Таблиця 1

Електронні конфігурації магнітних матеріалів.

Матеріал	Число неспарених електронів	Приближена конфігурація
Fe	2,2	3d <sup>5,0</sup> 3d <sup>2,8</sup> 4s <sup>0,2</sup>
Co	1,6	3d <sup>5,0</sup> 3d <sup>3,4</sup> 4s <sup>0,6</sup>
Ni	0,5	3d <sup>5,0</sup> 3d <sup>4,5</sup> 4s <sup>0,5</sup>
FeNi <sub>3</sub>	2,8	3d <sup>5,0</sup> 3d <sup>2,2</sup> 4s <sup>0,8</sup>
Ni <sub>3</sub> Mn	3,4	3d <sup>5,0</sup> 3d <sup>2,8</sup> 4s <sup>0,4</sup>

Основними взаємодіями у феромагнітних матеріалах, тонких плівках зокрема, являється обмінна та магнітодипольна. Важливу роль також грає анізотропія феромагнетиків.

$$E_{обм} = - \sum_{ij} J_{ij} (\vec{S}_i \vec{S}_j) \quad (1)$$

де  $J_{ij}$  – обмінний інтеграл,  $\vec{S}_i, \vec{S}_j$  – магнітні спінові моменти сусідніх атомів. Обрахунок обмінної енергії всього зразка є досить складним, тому що треба враховувати розміри та чистоту зразка, тому прийнято використовувати густину енергією на один атом.

$$E_{обм} = -J(\vec{S}_1 \vec{S}_2) \quad (2)$$

Формула (2) представляє так звану модель Гейзенберга, обмінний інтеграл якої знаходиться за формулою:

$$J = \frac{3K_E \cdot T_C}{2\alpha S(S+1)} \quad (3)$$

Згідно рівняння (2), та (3) для наших матеріалів таблиці 1, отримаємо значення обмінної енергії на один атом (див. таблиця 2), значення енергій знаходиться збігається з експериментом[5,с. 1].

Таблиця 2

Енергії феромагнітних матеріалів

Матеріал	Fe	Co	Ni	FeNi <sub>3</sub>	Ni <sub>3</sub> Mn
$E_{обм} \left( \frac{meV}{атом} \right)$	-32,24	-40,02	-132,3	-5,64	-27,07
$E_{аніз} \left( \frac{meV}{атом} \right)$	5,485	34,928	-0,136		

Причина анізотропії проявляється у перекритті електронних орбіт. Внаслідок спин-орбітальної взаємодії, розподілення заряду – сфероїд, а не сфера. Асиметрія у зарядовому розподіленні обумовлена симетрією кристала. Обертання, направлення спіна відносно кристалографічної осі змінює обмінну енергію, а також енергію електростатичної взаємодії зарядів у сусідніх парах атомів. Обидва ці ефекти дають вклад у енергію анізотропії. Енергія анізотропії обраховується за формулою (4), результат обрахунку можна спостерігати у таблиці 2.

$$E_{аніз} = K_1 * \sin^2 \varphi + K_2 * \sin^4 \varphi \quad (4)$$

Де  $K_1$  та  $K_2$  – константи анізотропії,  $\varphi$  – кут між вектором спонтанної намагніченості і

нормаллю площини поверхні ( $\varphi = 45^\circ$ ).

**Математична модель петлі гістерезису**

Більшість відомих математичних моделей базуються на кусково-лінійних, гіперболічних, логарифмічних та експоненціальних апроксимаціях. Основною кривою намагнічування, граничної і часткових петель магнітного гістерезису адекватно описують процеси намагнічування і перемагнічування феромагнітного матеріалу тільки в слабких магнітних полях. Математичні моделі на основі арктангенса в цілому дуже добре описують ці процеси [6, с. 35].

$$M = \frac{2}{\pi} M_s \arctg \left[ \frac{H + H_c}{H_c} \operatorname{tg} \left( \frac{2 M_{rs}}{\pi M_s} \right) \right] \quad (5)$$

де  $M_s$ ,  $H_c$ ,  $M_{rs}$ , намагніченість насичення, коерцитивна сила та залишкова намагніченість відповідно.

Згідно комп'ютерної моделі [7, с. 191], збільшення намагніченості відбувається за рахунок орієнтації доменів, напрям яких збігається із напрямком зовнішнього поля.

$$M_{rs} = M_s \cos \alpha \quad (6)$$

Під час перемагнічування перпендикулярно ОЛН, при  $H=0$ , домени будуть орієнтовані під кутом  $45^\circ$ . Оціночна величина коерцитивної сили для  $180^\circ$  границь визначається як:

$$H_c = p \frac{K_1}{M_s} \quad (7)$$

Де  $p$  – коефіцієнт, що залежить від симетрії решітки кристала та механізму перемагнічування.

Таблиця 3

Магнітні властивості феромагнітних матеріалів.

Матеріали	Fe	Co	Ni
$M_s$ (emu/cm <sup>3</sup> )	1740	1446	510
$M_{rs} = M_s \cdot \cos(\alpha)$ (emu/cm <sup>3</sup> )	914,06	759,62	267,91
$P$	0,05	0,04	0,03
$K_1 = 10^5$ ерг/см <sup>3</sup>	4,10	41,00	-0,55
$H_c$ (кА/м)	40	48	11

Розрахувавши значення залишкової намагніченості та коерцитивної сили матеріалів згідно рівнянь (6) та (7) і підставивши їх у формулу (5) ми отримуємо петлі магнітних гістерезисів (див рис. 1)

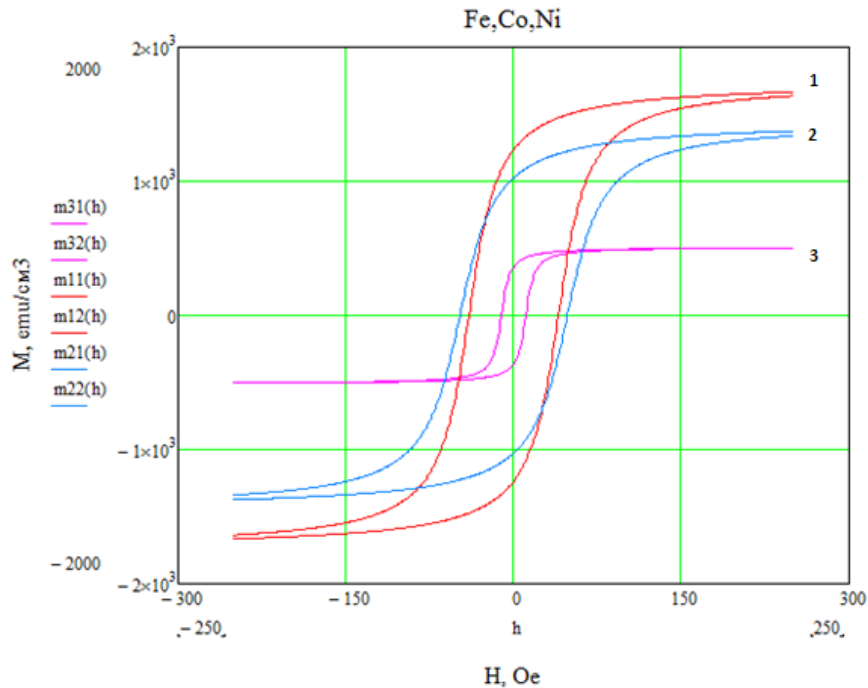


Рис. Розрахункові петлі магнітного гістерезису чистих металів (1-Fe, 2-Co, 3-Ni)

**Висновки.** У даній роботі було розраховані енергії анізотропії та енергії зв'язку магнітних матеріалів, розраховані намагніченість насичення та коерцитивна сила, розроблено графіки залежності за

допомогою комп'ютерної програми Matcad 14.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Тонкі плівки та їх сучасне застосування [Текст] // матеріали IV студентська конференція «Перший крок у науку» / СумДУ – Суми, 2013р. 119 с.
2. Литвененко Я.М. Структурні, магнітні та магніторезистивні властивості трикомпонентного плівкового сплаву Ni-Fe-Co [Текст] / І.М. Пазуха, В.В. Бібик // Журнал нано- та електронної фізики. – Суми, 2014 р., с. 1-7.
3. Monte Carlo Simulation for Magnetic Domain Structure and Hysteresis Properties / К. Yamaguchi, K. Suzuki, O. Nittono // Fukushima University Japan. – 2011. – р. 539 – 562.
4. Magnetic structure and hysteresis in hard magnetic nanocrystalline film / Yongmei M. Jin, Yu U. Wang, Andrei Kazaryan, Yunzhi Wang // Computer simulation, journal of applied physics . – 2011. – № 10. – р. 48 – 52.
5. Baberschke K. Magnetic Anisotropy Energy / К. Baberschke [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://users.physik.fu-berlin.de/~bab/teaching/Fudan2005/Fudan2005-2.pdf>.
6. Матюк, В.Ф. Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса [Текст] / В.Ф. Матюк, А.А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2011. – № 2. – С. 3 – 35.
7. Андрійчук В. Мікромагнітний розподіл поверхні плівки на основі комп'ютерної моделі [Текст] / Ю. Г. Бачинський, М. Наконечний // «Науковий вісник ТНТУ ім. І. Пулюя». – Тернопіль, 2014 р., с.187-194.

*Іваницька Я*

*Науковий керівник – доц. Галан В.Д.*

**ПРО СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ КЛАСАМИ  $W^r H_1^w$  ТА  $W^r H_2^w$  ЗАДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ОКРЕМИХ ВВЕРХ МОДУЛІВ НЕПЕРЕРВНОСТІ**

Нехай  $I = [a; b]$  (в неперіодичному випадку) або  $I = (-\infty; +\infty)$  (в періодичному випадку);  $C(I)$  – множина всіх неперервних на  $I$  функцій;  $w$  – функція типу модуля неперервності, тобто задана на  $[0; +\infty)$  неперервна функція, для якої, крім цього, виконуються ще наступні властивості:

- a)  $w(0) = 0$ ;
- б)  $w(t) > 0$  при  $t > 0$ ;
- в)  $w(t)$  не спадає на  $[0; \infty)$ ;
- г) існує постійна  $\lambda = \lambda(w) > 0$  така, що при всіх  $t \geq \lambda$   $w(t) = w(\lambda)$ .

Через  $\Omega$  позначимо множину всіх функцій типу модуля неперервності,  $\Omega(\alpha, \beta)$  позначимо множину всіх тих функцій  $w$  типу модуля неперервності, для кожної з яких виконується умова:

$$\liminf_{t \rightarrow +0} \frac{\ln w(t)}{\ln(t)} = \alpha \leq \limsup_{t \rightarrow +0} \frac{\ln w(t)}{\ln(t)} = \beta, \quad 0 \leq \alpha \leq \beta < +\infty.$$

Число

$$q(w) = \alpha = \liminf_{t \rightarrow +0} \frac{\ln w(t)}{\ln(t)}$$

називається ступенем гладкості функції  $w \in \Omega$ .

Позначимо ще

$$\bar{q}(w) = \beta = \limsup_{t \rightarrow +0} \frac{\ln w(t)}{\ln(t)}.$$

Модулі неперервності  $k - \Gamma 0$  порядку функції  $f \in C(I)$  в звичайному розумінні (див. наприклад [8, гл. III, §§1 та 3]) надалі позначаються через  $w_k(f; t)$ . Вважаємо, що будь-який  $w_k(f; t) \neq 0$  належить  $\Omega$ .

Нехай  $f \in C(I)$ ,  $w \in \Omega$  і  $r \geq 0$  - ціле число. Говорять, що  $f \in W^r H_k^w$ , якщо  $f$  має на  $I$  неперервну похідну  $r - \Gamma 0$  порядку,  $f^{(r)} \in C(I)$  і  $w_k(f^{(r)}; t) \leq A w(t)$ , де  $A$  – додатне число, спільне для всіх  $t > 0$ .