



2022

**ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ НИЗЬКИХ
ТЕМПЕРАТУР
ім. Б.І. ВЄРКІНА
НАН УКРАЇНИ**





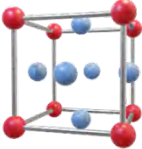
24/02/2022 -?

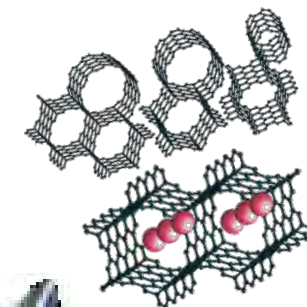




ОСНОВНІ НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

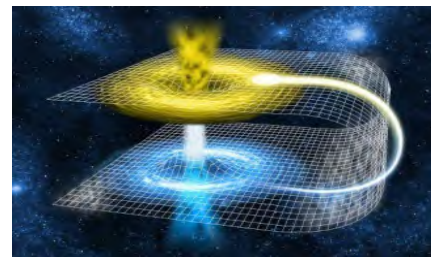
- ФІЗИКА:

- Фізика низьких і наднизьких температур
- Фізика твердого тіла 
- Нанофізика, нанотехнології, нанобіофізика
- Низькотемпературне і космічне матеріалознавство



- МАТЕМАТИКА:

- Математична фізика
- Аналіз
- Геометрія





ФІЗИЧНІ ВІДДІЛИ



Магнетизму



Магнітних і пружних
властивостей твердих тіл



Фізики реальних кристалів



Теплових властивостей і структури
твердих тіл та наносистем



Фізики квантових рідин і
кристалів



Спектроскопії молекулярних систем і
наноструктурних матеріалів



Надпровідних і мезоскопічних
структур



Молекулярної біофізики



Мікроконтактної спектроскопії



Теоретичної фізики

МАТЕМАТИЧНЕ ВІДДІЛЕННЯ



Математичної фізики



Диференціальних рівнянь та
геометрії



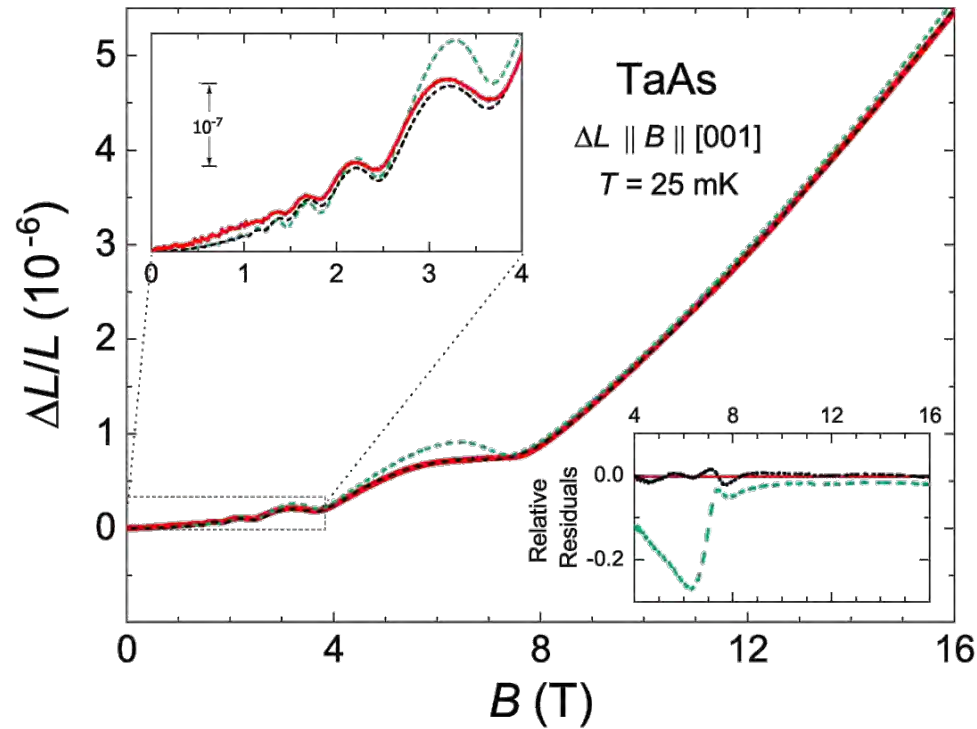
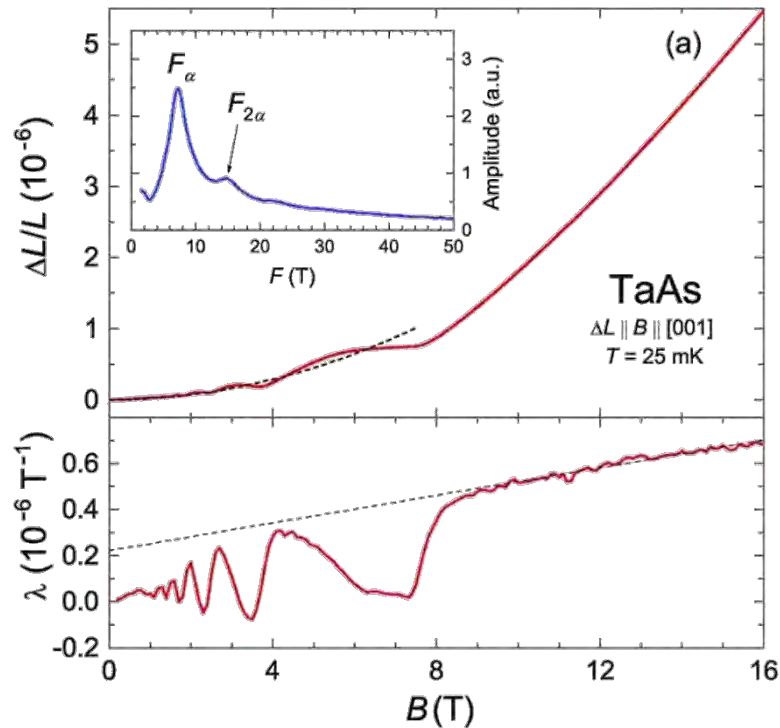
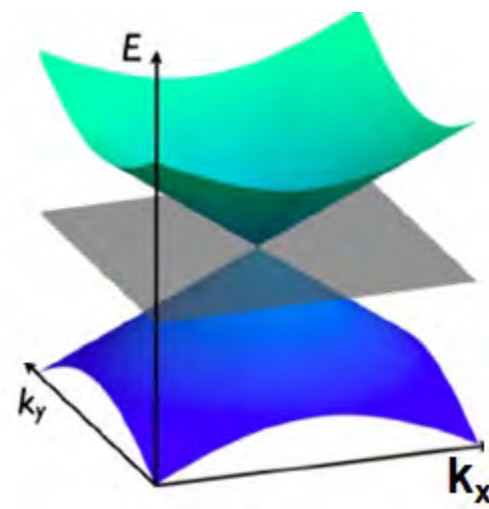
Теорії функцій



ВІЯВЛЕННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ФЕРІМОНІВ У ВЕЙЛІВСЬКИХ НАПІВМЕТАЛАХ TaAs У МАГНЕТОСТРИКЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАХ

Ю.В. Шарлай, Г.П. Микитик, *Nature Communications* 13, 3868 (2022).

Розвинуто теорію магнітострикції вейлівських напівметалів без центру інверсії та виявлено значення параметрів, які характеризують взаємодію вейлівських електронів із пружними ступенями свободи цього матеріалу.



Вейлівські ферміони
безмасові квазічастинки
з лінійним законом
дисперсії

$$\frac{\Delta L}{L} = a \left(1 - \frac{3B}{4F} \right)$$

for $B > F$

Лінійний вклад у магнітострикцію може служити вказівкою на існування точок Вейля в кристалі, так як звичайні носії заряду дають квадратичний внесок у магнітострикцію при $B > F$.

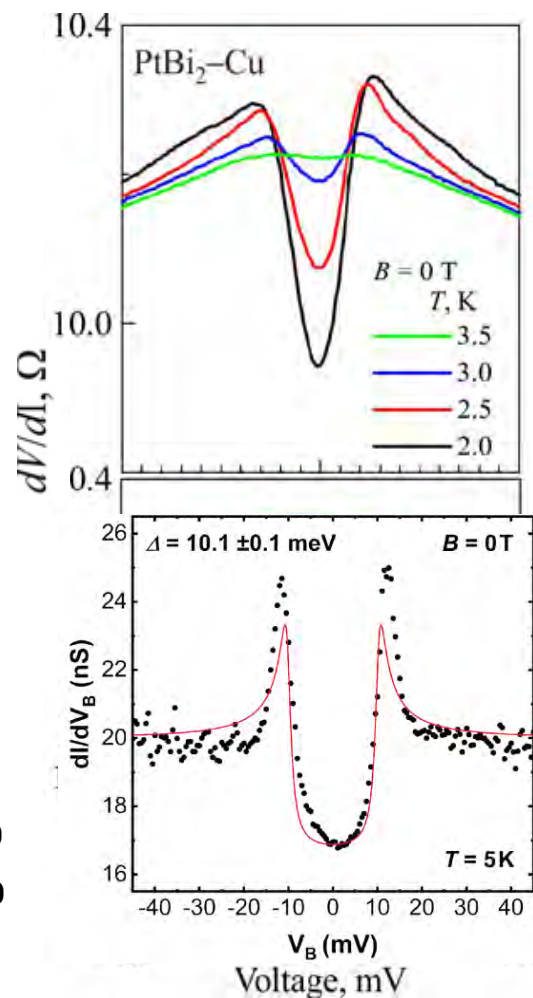
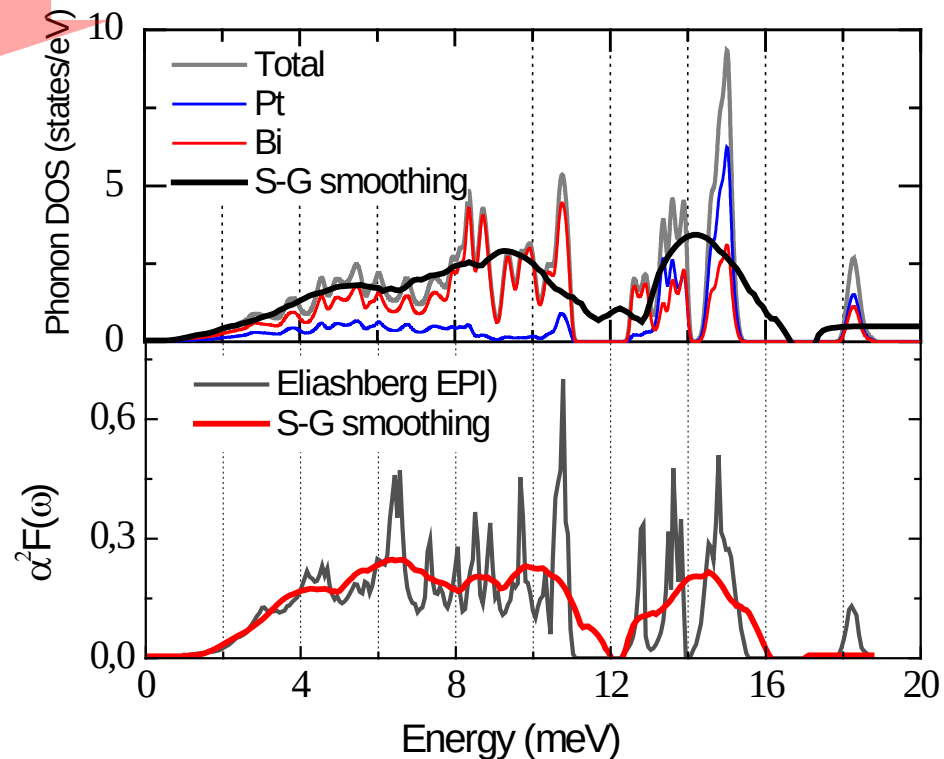
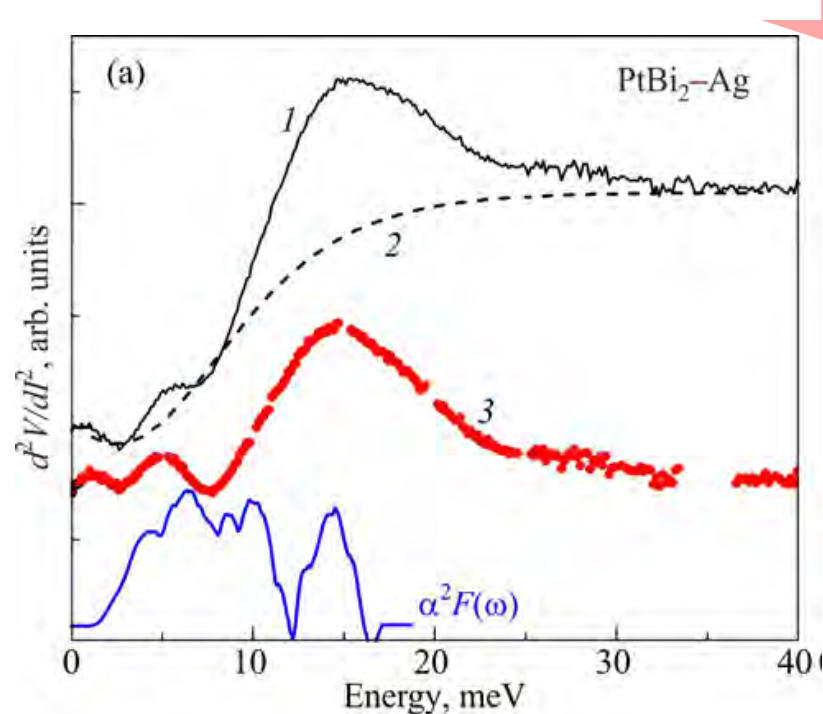
Тобто, дилатометрія може бути використана як новий метод виявлення топологічних напівметалів.



Електрон-фононна взаємодія та посилення надпровідності в точковому контакті на основі тригонального PtBi_2

Д. Л. Башлаков, О.Є. Квітницька, Ю. Г. Найдюк et al. *Low Temperature Physics* 48, 747 (2022)

У вейлівському напівметалі PtBi_2 за допомогою мікроконтактної спектроскопії Янсона вперше отримано спектри ЕФВ (d^2V/dI^2) гетероконтактів на основі PtBi_2 та розраховано фононну густину станів і функцію ЕФВ Еліашберга $\alpha^2F(\omega)$, яка вказує на традиційний електрон-фононний механізм куперівського спарювання в PtBi_2 .



В мікроконтактах також виявили підвищення критичної температури надпровідного переходу T_K до **3-3,5 K**, що майже на порядок вище $T_K \approx 0.4\text{K}$ для масивних зразків, що надає перспективу PtBi_2 як платформи для дослідження топологічної надпровідності

КВАНТОВА vs КЛАСИЧНА ПРИРОДА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ В $\text{TbAl}_3(\text{VO}_3)_4$



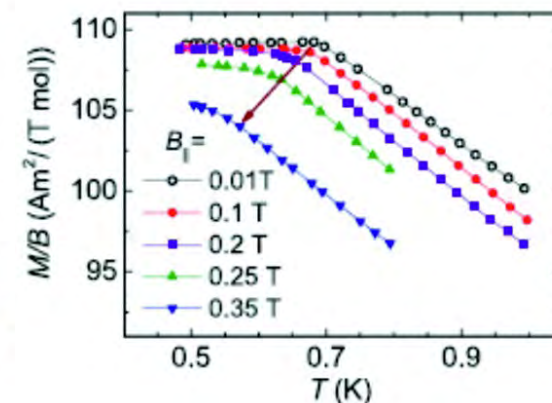
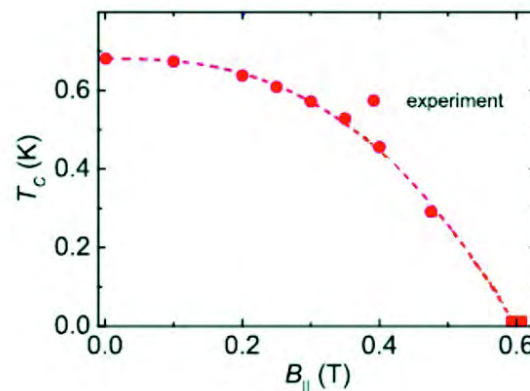
В.А. Бєдарєв et al. (Phys. Rev. B, 105, 094418 (2022))

Тригональний монокристал $\text{TbAl}_3(\text{VO}_3)_4$ -
магнітне упорядкування при $T_c = 0.68 \text{ K}$.

Ідея: спостереження ефекту квантової критичності
шляхом безперервного зміщення T_c убік 0 К під
впливом зовнішнього магнітного поля.

Експеримент:

- 1) температурні залежності
теплоємності ($T = 50 \text{ мК} - 4 \text{ К}$, $B = 0 - 3 \text{ Тл}$) та
намагніченості
($T = 0.5 - 1 \text{ К}$, $B = 0.01 - 0.35 \text{ Тл}$)
- 2) польова залежність
намагніченості ($T = 0.5 \text{ К}$, $B = 0 - 6 \text{ Тл}$)



Скейлінгова теорія: параметр Грюнайзена

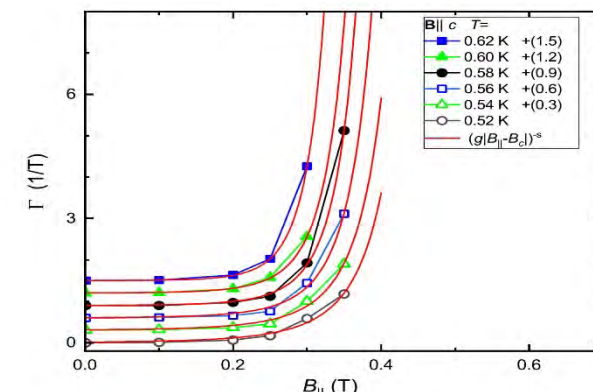
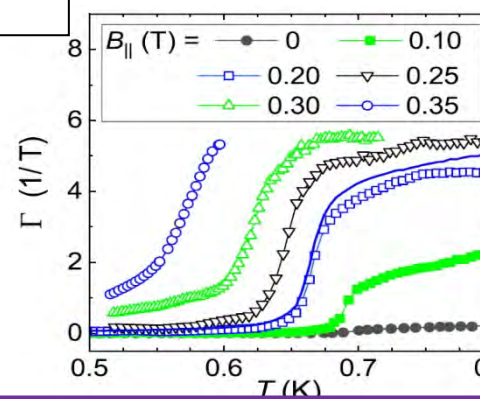
$$\Gamma = -\frac{1}{T} \frac{(\partial S / \partial B)_T}{(\partial S / \partial T)_B} = -\frac{(\partial M / \partial T)_B}{C_B(T)} = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial B} \right)_S$$

Квантовий ФП: при $T \rightarrow 0$

$$\Gamma \sim T^{-\beta}, \text{ де } \beta = 1/\nu z$$

ν - критичний показник кореляційної довжини

z - динамічний критичний показник



Ознаки квантового ФП :

- 1) $\Gamma(T) \sim T^{-\beta}$, $0.82 \leq z \leq 0.96$
- 2) статична розбіжність $\Gamma(B)$ при $T \downarrow$

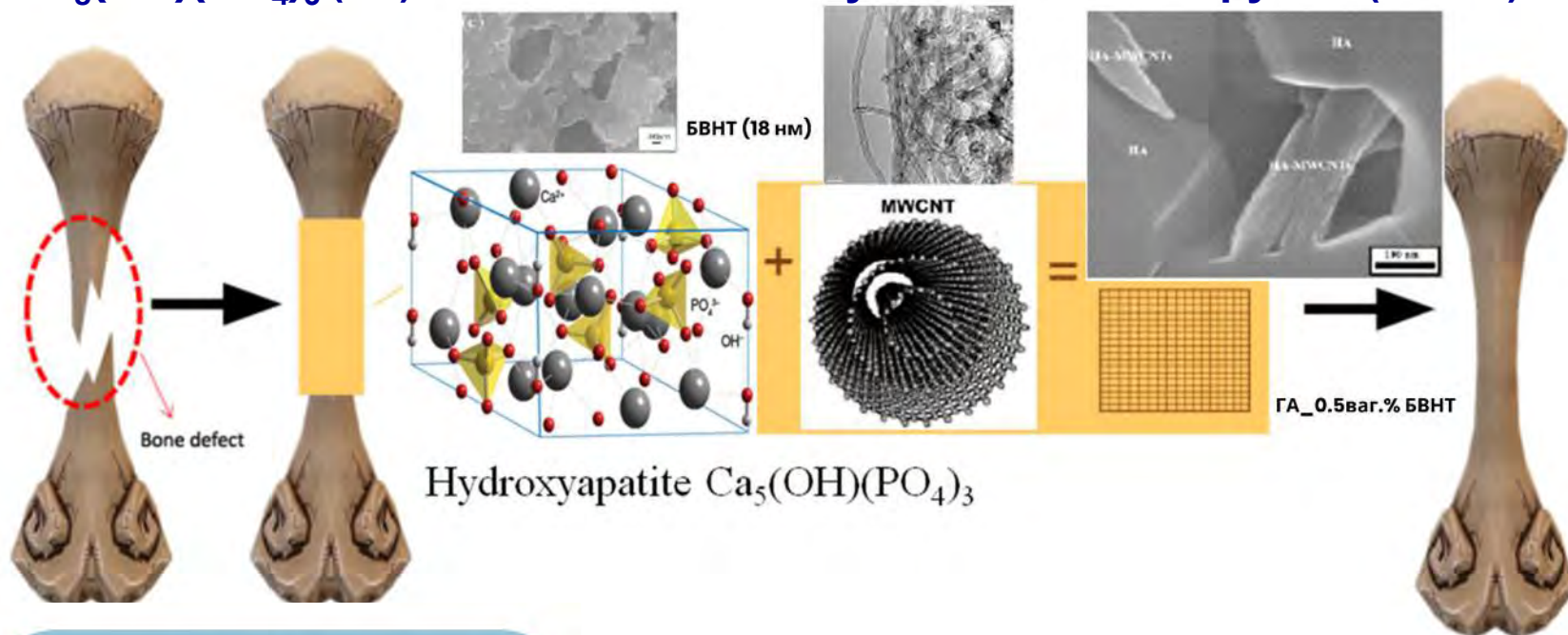
Встановлено вплив квантових флуктуацій на термодинамічні
властивості монокристала $\text{TbAl}_3(\text{VO}_3)_4$ у зовнішньому
магнітному полі при $T < 1 \text{ К}$.



ВПЛИВ ДОМІШОК БАГАТОСТІННИХ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК НА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ БІОАКТИВНОГО КОМПЗИТУ ГІДРОКСИПАТИТУ

М.С. Барабашко, Р.М. Баснукаєва, О.В. Долбин et al, Low Temperature Physics

Створені та досліджені нанобіокомпозити на основі гідроксиапатита $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$ (ГА) та багатостінних вуглецевих нанотрубок (БВНТ).

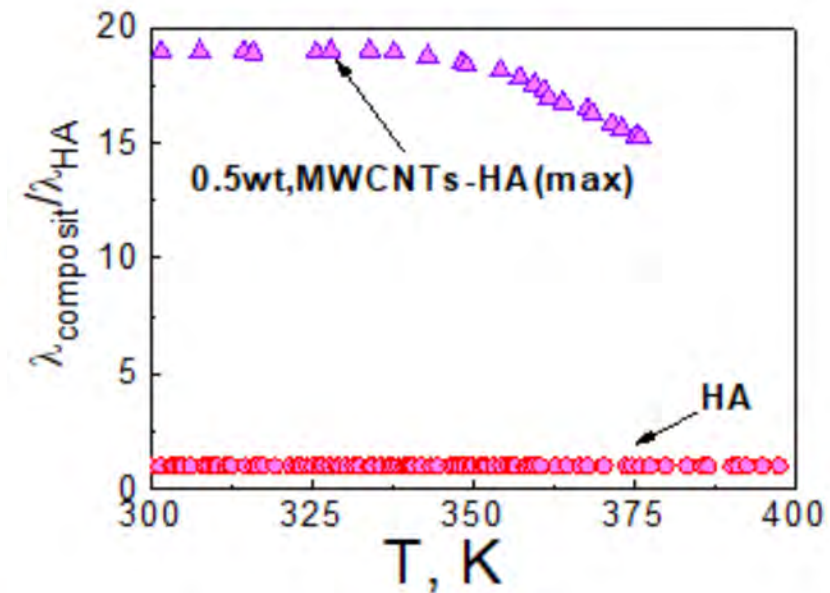


$$\lambda_{c, \max} = \lambda_a \cdot \Phi_a + \lambda_m \cdot \Phi_m$$

$\Phi_m = 0,9927$ – вміст матриці ГА в композиті.

$\Phi_a = 0,0073$ - вміст об'ємних часток добавок БВНТ

Запропонована та розроблена методика суттєвого покращення механічних властивостей композитних біоматеріалів на основі фосфатів кальцію, які використовуються для регенерації кісткової тканини.



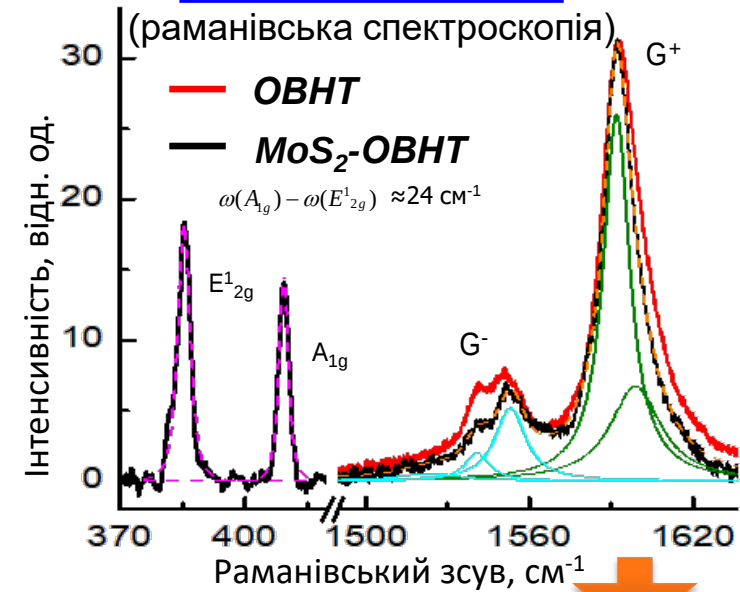
Встановлено, що **висока теплопровідність нанотрубок** сприяє вирівнюванню механічних напружень в композиті під час спікання, що **покращує його тріщиностійкість, твердість та інші характеристики**, які є важливими для кісткових імплантів.



НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНА ЕЛЕКТРОПОВІДНІСТЬ КОМПОЗИТНИХ ПЛІВОК З ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК та MoS₂ ПЛАСТІВЦІВ

В.О. Карачевцев, М.В. Курносов, О.М. Плехотниченко (Low Temp. Phys. 48, 364 (2022))

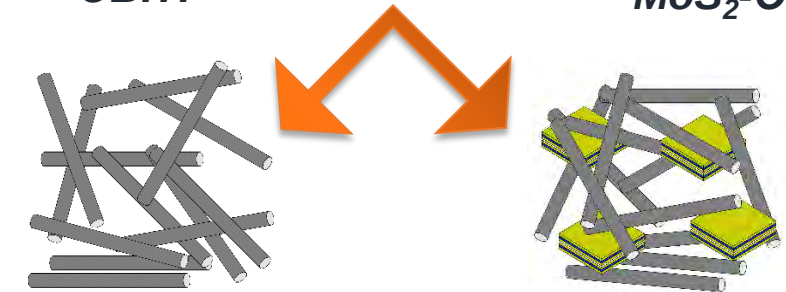
ХАРАКТЕРИЗАЦІЯ



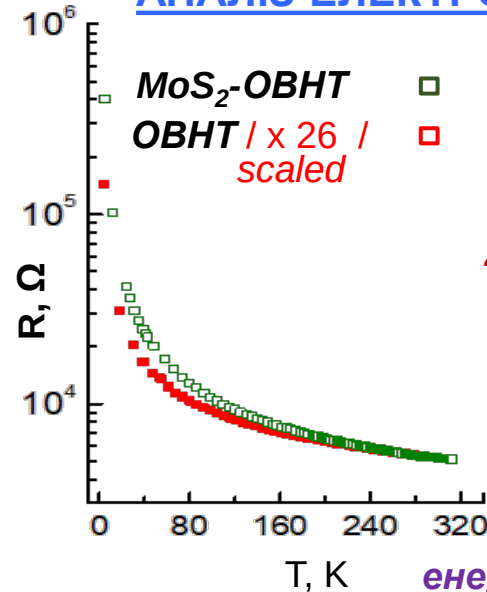
в плівці **MoS₂-OBNT** менша агрегація
нанотрубок у джгути:
пластівці **MoS₂** цьому заважають

OBNT

MoS₂-OBNT



АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТУ



поведінка, як у **невпорядкованих напівпровідників**.

5K ≤ T ≤ 230K - стрибковий, зі змінною довжиною стрибка:

$$R \sim \exp[(T_0/T)^{1/(1+d)}], \quad T_0 \sim [N(\epsilon_F) \xi^d]^{-1}$$

230K ≤ T - надбар'єрна активація: $R \sim \exp(T_a/T)$, $kT_a \approx E_b$

показано: **d = 3** (≡ тривимірній моделі Мотта)

OBNT:

MoS₂-OBNT:

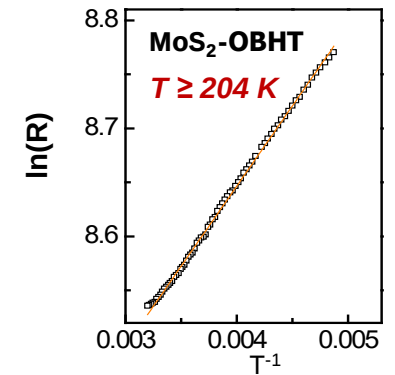
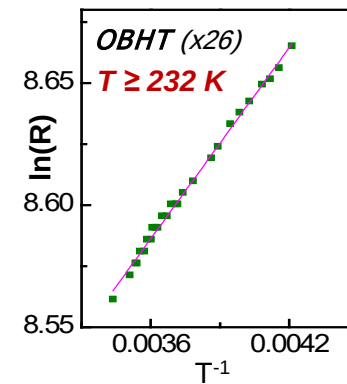
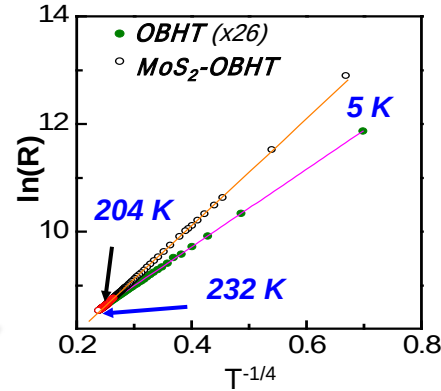
довжина локалізації носіїв $\xi \approx 9 \text{ нм}$



$\xi \approx 6 \text{ нм}$

енергія потенціальних бар'єрів $E_b \approx 11 \text{ меВ}$

$E_b \approx 13 \text{ меВ}$

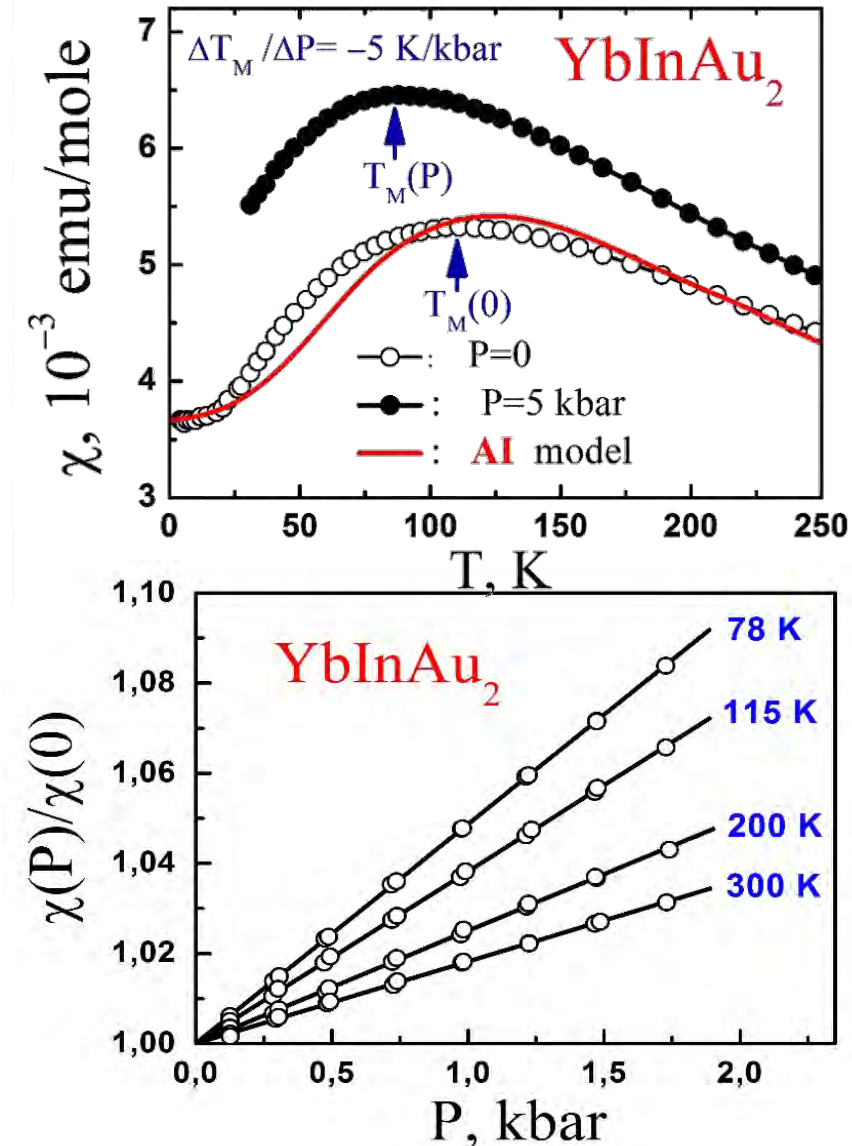


Електронний транспорт у **MoS₂-OBNT**, в основному, визначається **OBNT**, а додавання **MoS₂** дозволяє керувати транспортними властивостями композитів. Результати можуть бути використані при розробці чутливих газових сенсорів та літєвих батарей



ВПЛИВ ВСЕБІЧНОГО ТИСКУ НА МАГНІТНУ СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ СПОЛУКИ З ПРОМІЖНОЮ ВАЛЕНТНІСТЮ YbInAu_2

А.С. Панфілов, Г.Є. Гречнєв, *Low Temp. Phys.* 48, 249 (2022)



ЕКСПЕРИМЕНТ: значне зростання магнітної сприйнятливості при підвищенні тиску і зниженні температури.

АНАЛІЗ: в рамках домішкової моделі Андерсона (AI), основними параметрами якої є положення f -рівня іона Yb відносно енергії Фермі та його гібридизаційна ширина.

ДОВЕДЕНО: домінуючий механізм ефекту тиску – залежність положення f -рівня від атомного об'єму.

ВИСНОВОК: Досліджену сполуку можна віднести до матеріалів з високими магнітострикційними параметрами і вона є перспективною для в технічних застосувань.



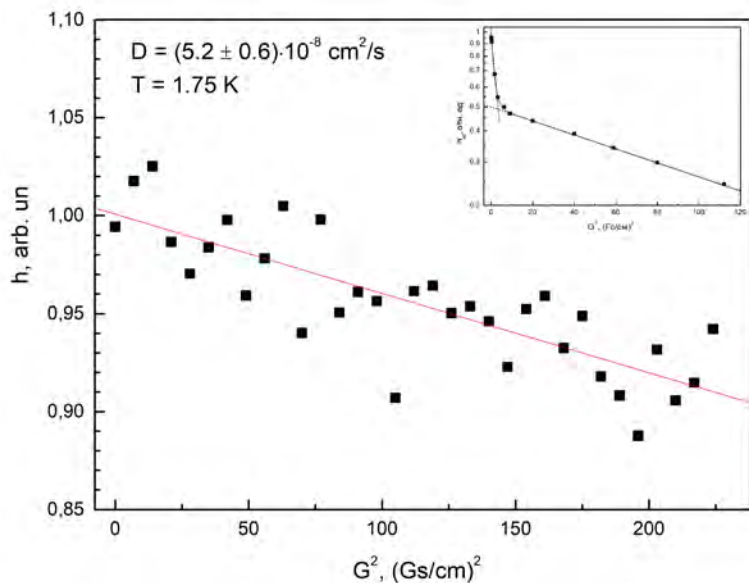
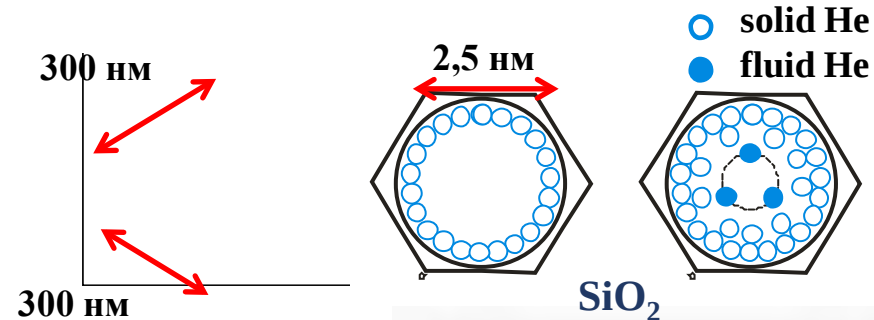
СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТВЕРДОЇ ФАЗИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ КОЕФІЦІЄНТА ДИФУЗІЇ ^3He В НАНОПОРАХ АДСОРБЕНТУ МСМ-41 (SiO_2)

О.П. Бірченко В.А. Майданов, М.П. Міхін, С.С. Соколов, Я.Ю. Сопельник

Low Temperature Physics 48, 668 (2022)

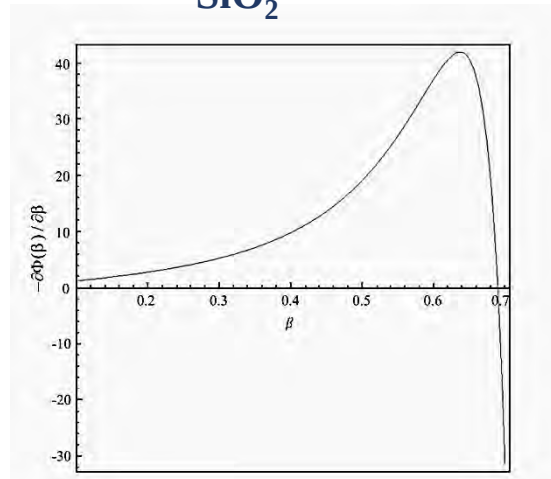
Адсорбент МСМ-41 мезопористий матеріалом із ієрархічною структурою

Досліджено дифузійні процеси у першому моноатомному шарі ^3He , адсорбованому на внутрішній поверхні трубок МСМ-41 і, при визначенні значення коефіцієнта дифузії, з'ясовано, якому типу фази відповідає дифузія в цьому шарі. Раніше було спостережено сигнал від рідкої та газової фаз ^3He (вставка). Використовується ^3He , який має ядерний магнітний момент і може бути тестованим у ЯМР



Теоретичний розрахунок тиску, що діє в циліндричних нанопорах за рахунок Ван дер Вальсових.

Тиск перевищує значення затвердіння вже на відстані одного шару атомів гелію від стінок пор.



Величина коефіцієнта дифузії D в моноатомній фазі по порядку близька до D в твердій об'ємній фазі ^3He .

ВИСНОВОК: в порах МСМ-41 реалізується тверда фаза гелію як атомний моношар на внутрішній поверхні пори

Важливо для розуміння процесів адсорбції інертних газів та при створенні фільтрів та ізоляції в області криогенних температур



ТЕОРІЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ЕЛАСТИЧНОСТІ АМОРФНИХ ПОЛІМЕРІВ: ОПИС ДІАГРАМ РОЗТЯГУ З ПОСТІЙНОЮ ШВИДКІСТЮ

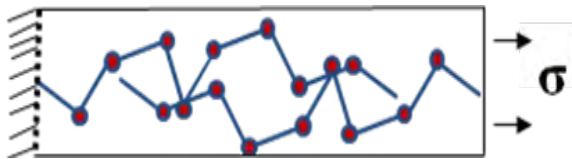
V.D. Natsik and H.V. Rusakova, Low Temp. Phys. 49, 246 (2023)

Одержано точний розв'язок нелінійного диференціального реологічного рівняння, яке описує кінетику вимушеної високоеластичної деформації аморфних полімерів в умовах помірного та глибокого охолодження

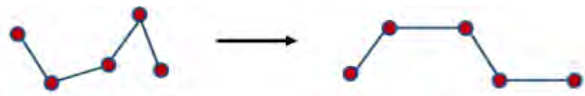
$$\frac{d}{d\varepsilon} \sigma = M_e - (M_e - M_{he}) \beta \operatorname{sh} \left[\frac{\sigma - M_{he} \varepsilon}{(M_e - M_{he}) \varepsilon_T \sqrt{1 + \beta^2}} \right]$$

$$\sigma = M_{he} \varepsilon + \sigma_T \ln \frac{\sqrt{1 + \beta^2} + \beta + 1 + (\sqrt{1 + \beta^2} - \beta - 1) \delta(\varepsilon)}{\sqrt{1 + \beta^2} + \beta - 1 + (\sqrt{1 + \beta^2} - \beta + 1) \delta(\varepsilon)}; \quad \delta(\varepsilon) = \exp \left(-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_T} \right)$$

M_e, M_{he} – ізоермічні модулі швидкої адіабатичної та повільної високоеластичної деформації;
 β, ε_T – кінетичні коефіцієнти.

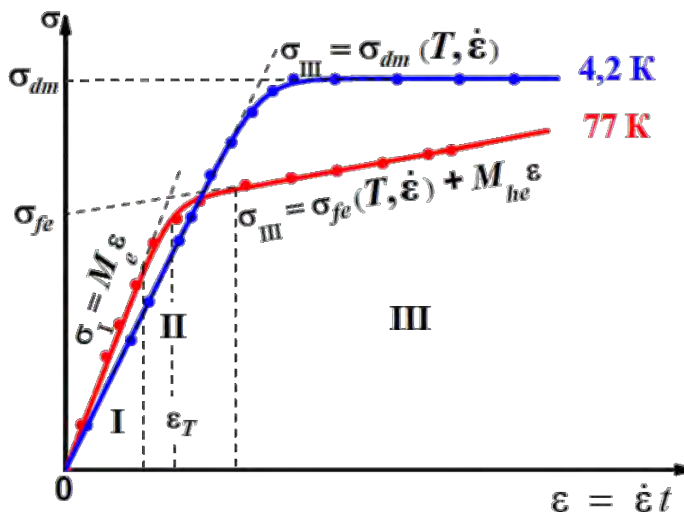


Запропонована теорія використовує модель стохастично пакованих молекулярних ланцюгів, утворених шарнірно пов'язаними мономерами.



Елементарний акт деформації – термічно активоване випрямлення нанометрових сегментів ланцюга.

Реологічні рівняння є математичними моделями, що відображають поведінку реальних тіл і мають істотне значення для опису загальних закономірностей процесів деформації структур.



Теорія vs низькотемпературний експеримент

Теорія передбачає тристадійну діаграму деформації :

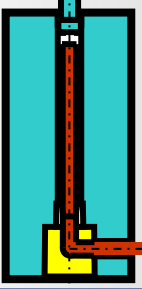
- I - **лінійна пружна** деформація,
- II - проміжна **релаксційна** стадія,
- III - **лінійна високоеластична** деформація з умовною границею еластичності σ_{fe}

Сформульовані уявлення про мономірні ланки, молекулярні сегменти та еластони дозволяють розробити єдину мікроскопічну інтерпретацію процесів високоеластичної деформації аморфних полімерів в широкому інтервалі температур

Динамічне повернення в ультрадрібнозернистій міді

Т.В. Григорова, П.А. Забродін, С.Е. Шумілін

Кутова
гідроекструзія



Ультрадрібнозерниста (УДЗ) мідь

Розмір зерна ~ 500 нм
Щільність дислокацій ~ 10^{15} м^{-2}

Розтягування
з постійною
швидкістю

Відпал
600 °C

Грубозерниста (ГЗ)
мідь

Розмір зерна ~ 20 мкм
Щільність дислокацій ~ 10^{13} м^{-2}

T = 295 K

T = 77 K

410 МПа

510 МПа

Межа текучості

T = 295 K

T = 77 K

80 МПа

100 МПа

450 МПа

610 МПа

Межа міцності

210 МПа

570 МПа

~ 2-3 %

~ 8-10 %

Однорідна деформація

~ 20 %

~ 40-45 %

300 МПа

900 МПа

Коефіцієнт зміцнення

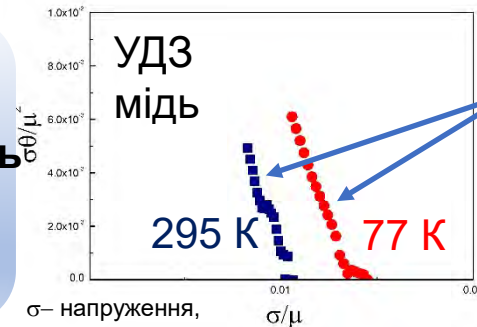
750 МПа

1500 МПа

Деформаційне зміцнення в координатах Кокса-Мекінга

Менший розмір
зерна
+
велика щільність
дислокацій

Менша відстань
між дислокаціями,
їх джерелами та
стоками

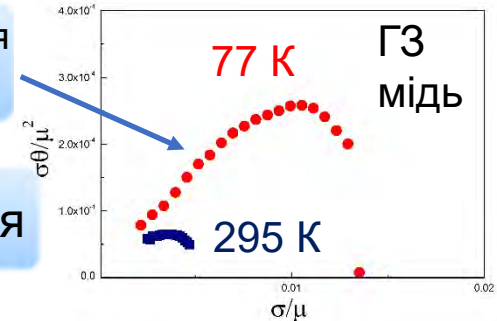


Анігіляція
дислокацій

Динамічне
повернення

Накопичення
дислокацій

Зміцнення



Більша
швидкість
динамічного
повернення

Це істотно впливає на зміцнення та релаксацію напруження вже при криогенних температурах 77 К, що суттєво відрізняється від поведінки грубозернистої міді, де цей ефект стає помітним лише при температурах вище кімнатної.

Збільшення щільності дислокацій, яке відбувається внаслідок фрагментації зерна при формуванні ультрадрібнозернистої структури в міді, веде до активації механізму динамічного повернення (часткового розміцнення)

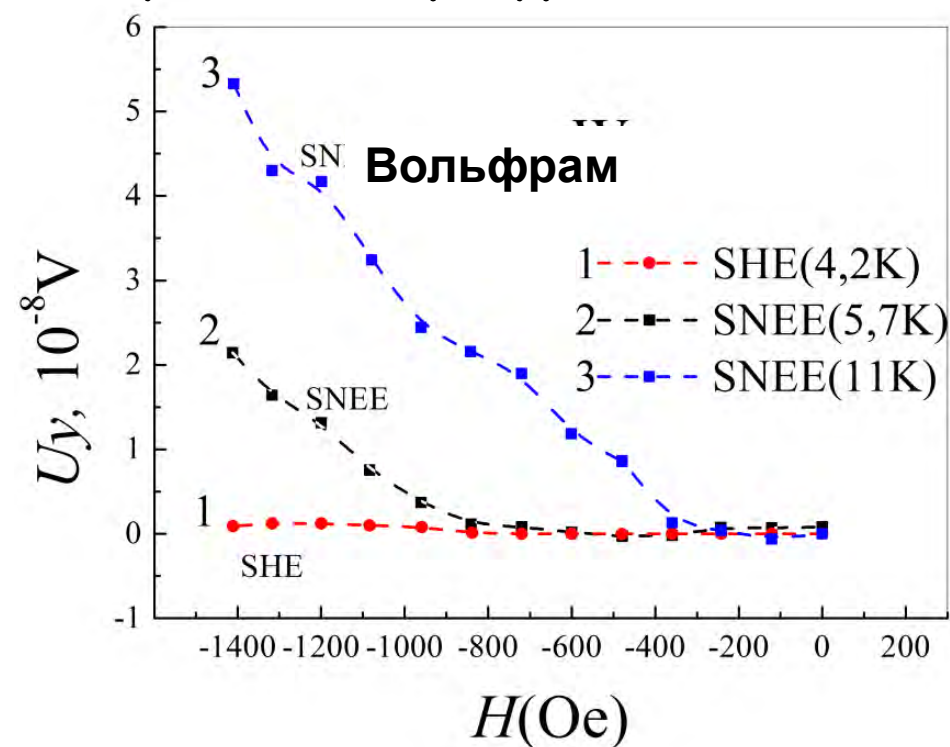
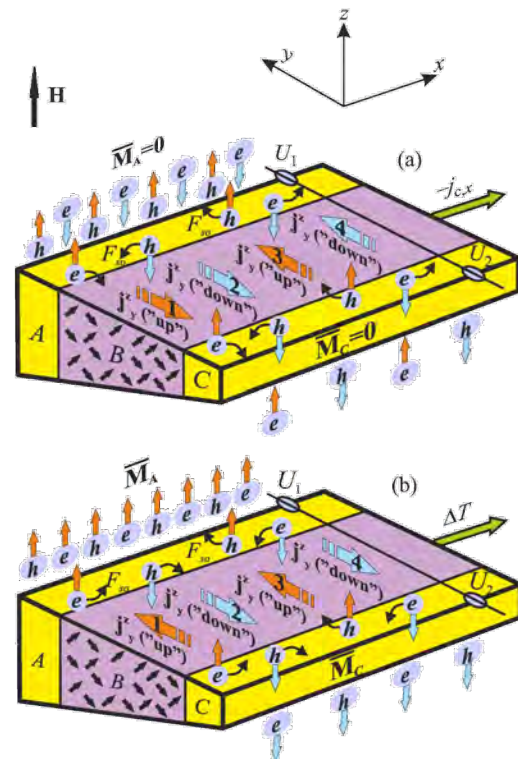
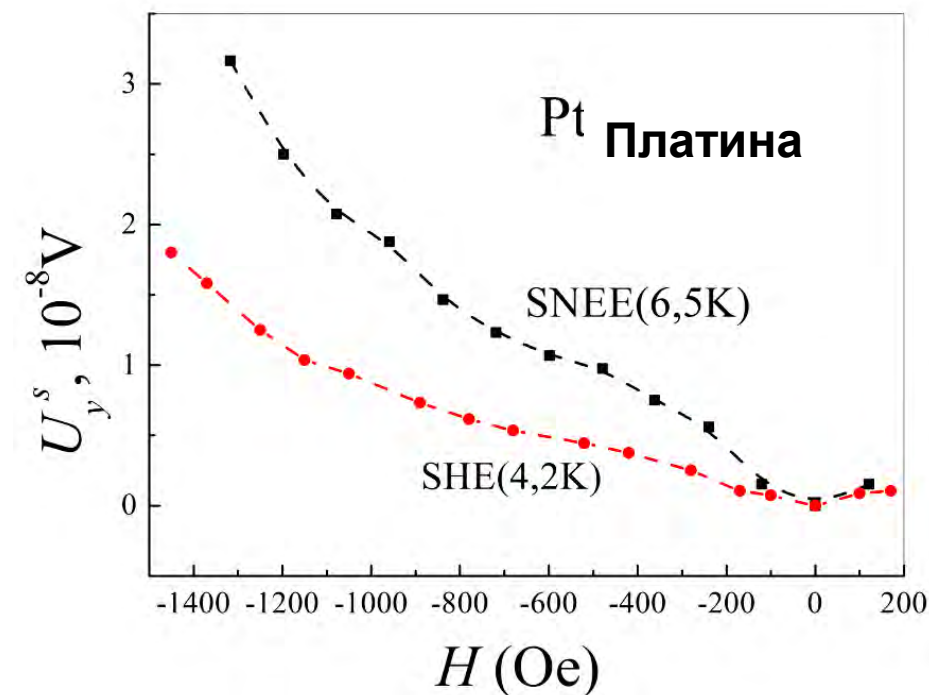


Спіновий ефект Нернста у металах з різною зонною структурою (Pt і W)

Ю.М. Дзян, М.О. Дзюба

Low Temperature Physics 48, 142 (2022)

Прямим виміром вивчено спіновий внесок спін-орбітальної взаємодії в ефект Нернста-Еттінсгаузена в немагнітних металах з різною зонною структурою (Pt і W) в умовах співіснування градієнтів спінового хімпотенціалу та температури.



Спінові внески до ефектів Нернста-Еттінсгаузена (SNEE) та Холла (SHE)

Порівняння спінових ефектів термодифузійної (спіновий ефект Нернста-Еттінсгаузена) та електричної (спіновий ефект Холла) природи свідчить про залежність їхнього прояву від зонної структури металу.