МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії

**"ЗАТВЕРДЖУЮ"**
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
"_____" _____ 2022 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇДИСЦИПЛІНИ**

**ВБ 1.03 «Фізика м'якої речовини»**

| | |
|---|---|
| Рівень вищої освіти | **другий (магістерський )** |
| Галузь знань | **10 – Природничі науки** |
| Спеціальність | **104 - Фізика та астрономія** |
| Освітньо-професійна програма | **Фізика та астрономія** |

ОНУ
Одеса
2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика ФМР». – Одеса: ОНУ, 2022. – 15 с.

Розробник: Микола Петрович Маломуж, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія»_____Вадим АДАМЯН

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників | Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти | Характеристика навчальної дисципліни |
|---|---|---|
| | | **Денна (очна) форма навчання** |
| Загальна кількість кредитів – 4 | Галузь знань | Вибіркова дисципліна |
| годин – 120 | 10 – Природничі науки | **Рік підготовки**: |
| змістовних модулів - 2 | Спеціальність: | 1-й |
| | 104 – Фізика та астрономія | **Семестр** |
| | Рівень вищої освіти: | 1-й |
| | Другий (магістерський) | **Лекції** |
| | | 20 год. |
| | | **Практичні** |
| | | 20 год. |
| | | **Лабораторні** |
| | | 0 год. |
| | | **Самостійна робота** |
| | | 80 год. |
| | | **Форма підсумкового контролю: залік** |

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни є підготовка фахівців, спроможних аналізувати властивості рідинних систем подібних до гелія-4, які можуть переходити до надплинного стану, типу гліцерину, які можуть перебувати у звичайному та сильно-в'язкому станах, а також у склоподібному стані, типу рідких кристалів, які природно поєднують властивості рідин та кристалів з анізотропними молекулами, типу кулонівського газу, здатного перебувати в газоподібному та рідкому станах, переходити зі стану діелектрика до стану провідника.

Мета дисципліни "Фізика м'якої речовини" спрямована на те, щоб *сформувати у студентів навички якісного і кількісного* аналізу властивостей описанних систем методами сучасної фізики.

**Завдання:**

- Ознайомити студентів з основними підходами до опису властивостей м'якої речовини, принципами побудови параметрів порядку та рівняння стану речовини та опису її калоричних властивостей, статичної та в'язко-пружної поведінки, статичних та динамічних діелектричних властивостей, опису фазового переходу діелектрик-провідник та властивостей надплинного стену гклія-4;
- Розглянути найбільш важливі проблеми Фізики м'якої речовини (ФМР): особливості фазових діаграм, в першу чергу, положення границь між стабільними та метастабільними станами, метастабільними та абсолютно нестабільними станами, властивості речовини поблизу границь, розповсюдження акустичних та електромагнітних збуджень, особливості релаксаційних явищ, поведінку зсувної в'язкості та коефіцієнтів самодифузії, …
- Сформувати навички побудови гідродинамічних рівнянь для різних систем, опису частотної залежності кінетичних коефіцієнтів, встановлення їх тензорної природи, особливо в зовнішніх електричних та магнітних полях, аналізу спектрів молекулярного розсіювання світла тощо. Розвинути навички моделювання складних явищ за допомогою відносно простих прикладів.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей.**

Інтегральна компетентність

ІК. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

**Загальні компетентності**

ЗК 01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
ЗК 03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
ЗК 04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
ЗК 05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
ЗК 06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

**Спеціальні (фахові) компетентності**
СК 01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ
СК 08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

**Програмні результати навчання** згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія»:
РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.
РН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень
РН10. Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.
РН12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експерименті і спостережень.

***В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен* знати:**

- принципи побудови рівнянь гідродинаміки в залежності від типу її параметра порядку;
- як визначати швидкість розповсюдження і коефіцієнт поглинання акустичних хвиль в залежності від їх частоти;
- як знаходити поперечний переріз розсіяння молекулярного розсіяння світла в залежності від характеру поляризації падаючого і розсіяного світла та частоти розсіяння;

- як обчислювати температуру переходу системи до стану, в якому її властивості визначаються квантовими закономірностями;
- особливості фазової діаграми надплинного гелію-4;
- особливості гідродинаміки надплинного гелію;
- причини кореневої частотної дисперсії зсувної в'язкості у сильно-в'язких рідинах;
- методи опису фазового переходу типу діелектрик-провідник на прикладі двовимірного кулонівського газу;

**вміти:**

- визначати тип параметру порядку в залежності від структури молекул та особливостей міжмолекулярної взаємодії;
- користуватись законами збереження імпульсу та енергії, а також виробництвом ентропії, для побудови рівнянь гідродинаміки;
- будувати кореляційні функції на основі гідродинамічної теорії теплових флуктуацій;
- розраховувати потенціали взаємодії між кластерами різного порядку в в системах, подібних до двовимірного кулонівського газу та водно-спиртових розчинів, будувати усереднені потенціали взаємодії між молекулами в таких системах;
- знаходити швидкість розповсюдження акустичних хвиль та їх поглинання у мікро-неоднорідних середовищах, які є спорідненими сильновязким рідинам;
- описувати діелектричні властивості мікронеоднорідних систем в їх об'ємі та поблизу поверхні:
- обчислювати діелектричну проникність та коефіцієнт електро-провідності в кулонівському газі, а також знаходити області існування та границю між ними, що розділяє стани діелектрика та провідника;
- якісно і кількісно описувати флуктуаційні явища в рідких кристалах, кулонівських системах та сильнов'язких рідинах;

## 3. Зміст навчальної дисципліни

**Змістовий модуль 1. Основні термодинамічні та кінетичні властивості води. Частина 1.**

**Тема 1. Конденсовані стани речовини:**

Рідкі і тверді стани, особливості фазових діаграм різних речовин, метастабільні та абсолютно нестійкі стани, явища надплинності та надпровідності;

**Тема 2. Функції розподілу,** як структурні характеристики конденсованих фаз:

Одночастинкова та бінарна функції розподілу, структурні фактори , структурний фактор твердих сфер;

**Тема 3**. **Особливості теплового руху молекул** в різних твердих та рідких фазах:
Об'ємні поздовжні та трансверсальні моди, поверхневі теплові збудження, вихрові збудження у надплинному гелії, процеси самодифузії;
**Тема 4**. **Перехід діелектрик-провідник на прикладі двовимірного кулонівського газу**:
Кластери та їх взаємодія, діелектрична проникність, перехід газ-рідина, перехід діелектрик-провідник;
**Змістовий модуль 21. Основні термодинамічні та кінетичні властивості води. Частина 21.**
**Тема 1. НЖК – найпростіша рідкокристалічна система:**
Мезофази, вільна енергія, теплові збудження, флуктуації скалярного і тензорного параметрів порядку в НЖК;
**Тема 2. Властивості сильно в'язких та склоподібних станів:**
Специфіка поведінки термодинамічних величин та кінетичних коефіцієнтів, мікронеоднорідна структура, метастабільні та абсолютно нестійкі стани речовини як основа формування сильно в'язких та склоподібних станів,
**Тема 3. Водно-спиртові розчини:**
Надзвичайні властивості розчинів, особливості структури і теплового руху молекул, особливі точки;
**Тема 4. Дисперсні системи:**
суспензії та емульсії, стабільність дисперсних систем, діелектричні властивості дисперсних систем, кінетичні процеси в дисперсних системах.
**Тема 5. Кров людини як складна рідинна система:**
еритроцити та інші формені утворення в плазмі крові, властивості плазми крові та її роль в організмі, оптимальна температура існування людини.

## 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Очна форма | | | | | |
| | усього | У тому числі | | | | |
| | | Л | Пр.з. | СРС | інд | Лаб. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| **Змістовий модуль 1. Основні термодинамічні та кінетичні властивості води. Частина 1.** | | | | | | |
| Тема 1. Рідинні та тверді стани, особливості фазових діаграм різних речовин, метастабільні та абсолютно нестійкі стани, явища надплинності та надпровідності; | 8 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Тема 2. **Функції розподілу,** як | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| структурні характеристики конденсованих фаз:<br>Одночастинкова та бінарна функції розподілу, структурні фактори , структурний фактор твердих сфер; | | | | | | |
| Тема 3. **Особливості теплового руху молекул** в різних твердих та рідких фазах:<br>Об'ємні поздовжні та трансверсальні моди, поверхневі теплові збудження, вихрові збудження у надплинному гелії, процеси самодифузії; | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| Тема 4. **Перехід діелектрик-провідник на прикладі двовимірного кулонівського газу**:<br>Кластери та їх взаємодія, діелектрична проникність, перехід газ-рідина, перехід діелектрик-провідник; | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| **Змістовий модуль 2. Основні термодинамічні та кінетичні властивості води. Частина 2.** | | | | | | |
| Тема 1. **НЖК – найпростіша рідкокристалічна система:**<br>Мезофази, вільна енергія, теплові збудження, флуктуації скалярного і тензорного параметрів порядку в НРК; | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| Тема 2. **Властивості сильно в'язких та склоподібних станів:**<br>Специфіка поведінки термодинамічних величин та кінетичних коефіцієнтів, мікронеоднорідна структура, метастабільні та абсолютно нестійкі стани речовини як основа формування сильно в'язких та склоподібних станів, | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| Тема 3. **Водно-спиртові розчини:**<br>Надзвичайні властивості розчинів, особливості структури і теплового руху молекул, особливі точки; | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| Тема 4. **Дисперсні системи:**<br>суспензії та емульсії, стабільність дисперсних систем, діелектричні властивості дисперсних систем, кінетичні процеси в дисперсних системах. | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Тема 5. **Кров людини як складна рідинна система:** еритроцити та інші формені утворення в плазмі крові, властивості плазми крові та її роль в організмі, оптимальна температура існування людини. | 14 | 2 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| Усього годин | 120 | 20 | 20 | 80 | 0 | 0 |

## 5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

## 6. Теми практичних занять

| № | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|---|
| 1 | Розрахунок температури переходу гелія-4 у надплинний стан | 2 |
| 2 | Температура виродження електронного газу в металах | 2 |
| 3 | Пружна складова вільної енергії в НРК | 2 |
| 4 | Середньоквадратичні флуктуації директора в НРК | 2 |
| 5 | Розрахунок усереднених потенціалів взаємодії між кластерами кулонівського газу | 2 |
| 6 | Побудова рівняння стану 2D-кулонівського газу у віріальному наближенні | 2 |
| 7 | Розрахунок радіусу кореляції у 2D-кулонівського газу. Перехід діелектрик-провідник; | 2 |
| 8 | Вільна енергія сильнов'язких рідин як мікронеоднорідних середовищ | 2 |
| 9 | Діелектрична проникність сильнов'язких рідин | 2 |
| 10 | Розрахунок оптимальної температури життєдіяльності людини | 2 |
| | РАЗОМ | 20 |

## 7. Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи не передбачені навчальним планом.

## 8. Самостійна робота

| № | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|---|
| 1 | Температурна залежність теплоємності гліцерину | 5 |
| 2 | Поведінка контракції водного розчину альбуміну | 5 |
| 3 | Статична діелектрична проникність двовимірного кулонівського газу | 5 |
| 4 | Процес переносу кисня у плазмі крові людини | 5 |
| 5 | Особливості молекулярного розсіювання світла в НРК. | 5 |

| | | |
|---|---|---|
| 6 | Провідність двовимірного кулонівського газу. | 5 |
| 7 | Релаксаційні процеси у водно спиртових розчинах | 5 |
| 8 | Метастабільні та абсолютно нестійкі стани речовини | 5 |
| 9 | Поглинання ультразвуку поблизу особливої точки. | 5 |
| 10 | Механізми теплового руху молекул у гелії-4 | 5 |
| 11 | Особливості гідродинаміки рідкого гелію-4 | 5 |
| 12 | Структура еритроциту | 5 |
| 13 | Ефекти гідратації у взаємодії макромолекули альбуміну з водою | 5 |
| 14 | Поведінка гліцерину у його переохолоджених станах | 5 |
| 15 | Особливості міжчастинкової взаємодії у двовимірному кулонівському газі | 5 |
| 16 | Основні елементи фазової діаграми двовимірного кулонівського газу | 5 |
| | РАЗОМ | 80 |

До самостійної роботи відноситься: підготовка теоретичного матеріалу до лекцій, практичних занять.

**Критерії оцінювання виконання самостійної роботи**

Результати виконання самостійної роботи з підготовки теоретичного матеріалу оцінюються за якістю виконання поточних контрольних робіт.

Результати підготовки теоретичного матеріалу до практичних занять оцінюються за усним опитуванням та за якістю виконання поточних контрольних робіт.

Результати виконання СРС представляються у вигляді доповіді (7-10 хв), що супроводжується презентацією (5-7 слайдів). Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді та презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

## 9. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод.

## 10. Форми контролю та методи оцінювання

**Критерії оцінювання підсумкового контролю**

Поточний контроль складається з 1) **урахування активності** студента в процесі занять (глибини відповідей на питання, що підводять підсумок

попередних лекцій і передують викладенню нового матеріалу на поточній лекції, вміння зробити необхідні оцінки порядків величин, за обговорення результатів виконання та обговорення **2-х контрольних робіт**)

Контрольна робота складається:

1) з 2-х якісних питань стосовно властивостей води,
2) з 2-х задач, де треба оцінити порядок величини чи порівняти внески різної фізичної природи.

Таку ж саму структуру матиме залікова контрольна робота.

Одне з якісних питань є простим, друге – суттєво складнішим. Такі ж самі є і задачі.

При виставлені балів за відповідь особлива увага звертається на

- повноту і чіткість відповіді;
- знання смислу слів і понять;
- ступінь довершеності української мови при викладенні відповідей.

## Запитання та завдання поточного контролю

1. Дайте означення критичної точки.
2. Дайте означення потрійної точки,
3. Дайте означення бінодалі,
4. Дайте означення спінодалі.
5. Знайти положення критичної точки за допомогою рівняння Ван-дер-Ваальса,
6. Знайти положення бінодалі за допомогою рівняння Ван-дер-Ваальса,
7. Знайти положення спінодалі за допомогою рівняння Ван-дер-Ваальса,
8. Знайдіть хімічний потенціал з розрахунку на одну молекулу для пари;
9. Знайдіть хімічний потенціал з розрахунку на одну молекулу для рідини;
10. Як визначається лінія переходу діелектрик провідник у дво-вимірному кулонівському газу;
11. Нарисуйте з якісних міркувань хід лінії переходу діелектрик-провідник у 2D-кулонівському газу;
12. Який смисл має Де Бройлівська температурна довжина хвилі, чому вона дорівнює?
13. Скільки різних фаз є властивим аргону, а скільки воді?
14. Що таке поріг перколяції? За якої густини сферичних частинок він утворюється?
15. Аморфні та кристалічні стани системи, чим вони відрізняються між собою?
16. Які кластери визначають паровий і рідкий стани 2D-кулонівського газу?
17. Нарисуйте потенціали взаємодії між елементарними зарядами 2D-кулонівського газу?
18. Як взаємодіють між собою дипольні пари в 2D-кулонівському газі?
19. Що відрізняє поведінку води і аргону біля їх критичних точок?

20. Як виникають сильнов'язкі стани в гліцерині та о-терфінілі?
21. Охарактеризуйте елементарні теплові збудження в гелії-4.
22. Фононні та ротонні внески до теплоємності гелія-4;
23. Якою є температурна залежність теплоємності електронного газу за кімнатних температур?
24. Як утворюється оболонка еритроциту?
25. Якими факторами визначається зсувна в'язкість плазми крові та самої крові людини?
26. Ячеєчні моделі для визначення в'язкості крові.
27. Як формується дзета-потенціал макромолекул альбуміну, від чого він залежить?
28. Як змінюється з температурою густина гліцерину при переході до сильно-в'язких станів?
29. Який порядок параметру визначає розсіювання світла в ізотропній фазі РК;
30. Який порядок параметру визначає розсіювання світла в нематичній фазі РК;
31. Чому інтенсивність розсіяння світла НРК набагато перевищує інтенсивність розсіяння світла аргоном чи водою далеко від критичної точки;
32. Яку структуру має діелектрична проникніть НРК? .
33. Як відбувається транспорт кисню та вуглекислого газу в організмі людини?
34. Які основні механізми саморегуляції кровотоку у людини та ссавців?
35. Механізми формування зсувної в'язкості в нормальному та переохолодженому гліцерині;
36. Чому переохолоджений гліцерин не кристалізується?
37. Дайте означення особливих точок у водно-спиртових розчинах.
38. Опишіть поведінку інтенсивності молекулярного розсіяння світла поблизу особливих точок розчинів.
39. Поведінка звідних і незвідних складових ентальпії розчинення у водному розчині етанолу.
40. Чим відрізняється особлива точка водно-спиртових розчинів від критичних точок тих же розчинів?
41. Опишіть поведінку контракції водно-спиртових розчинів.
42. Як положення особливих точок водно-спиртових розчинів залежить від параметрів молекул спиртової складової?
43. Чим відрізняються між собою суспензії та емульсії?
44. Як оцінити відносні розміри молекул води, метанолу та етанолу?
45. Чим відрізняються між собою гідродинамічні рівняння для аргону та НРК?
46. Для описання в'язкості спиртів, зокрема гліцерину, часто застосовують активаційні формули. Чому це є некоректним підходом?
47. Назвіть необхідні умови виникнення сильнов'язких станів рідин?
48. Який характер еволюції є властивим тепловим збудженням в гелії-4?

**49.** Як узагальнюються рівняння гідродинаміки за введення до рідини частинок суспензії?
50. Поведінка радіусу кореляції при наближенні до спінодалі.
51. Які типи РК існують в природі?

## 11. Розподіл балів поточного контролю.

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів є поточний контроль: конспект з лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; домашні завдання, контрольні роботи.

Бали для оцінки знань студентів за поточний контроль розраховуються таким чином:

| № | Вид роботи | Форма контролю | Число балів |
|---|---|---|---|
| 1. | Лекції | Контрольна робота за модулем | 40х2 |
| 2. | Практичні заняття | Поточний контроль (усний). | 20 |
| 3. | Сума | | 100 |

## 12. Загальна схема нарахування балів

| Форма поточного контролю | | | |
|---|---|---|---|
| Практичні заняття | Лекції* | | Разом |
| Поточний контроль (усний) | КР_1 | КР_21 | |
| 20 | 40 | 40 | 100 |

## Шкала оцінювання: національна та ECTS

| **Сума балів за всі види навчальної діяльності** | | **Оцінка за національною шкалою** | |
|---|---|---|---|
| | Оцінка ЄКТС | для для екзамену, курсового проекту (роботу), практики | для заліку |
| 90 – 100 | A | відмінно | зараховано |
| 85-89 | B | добре | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 75-84 | C | | |
| 70-74 | D | задовільно | |
| 60-69 | E | | |
| 35-59 | FX | незадовільно | не зараховано |
| 1-34 | F | | |

## 13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, курси лекцій; методичні вказівки до розв'язку задач.

## 14. Рекомендована література

### Основна література


1. Маломуж М.П. Електронний курс лекцій зі с/к Фізика м'якої речовини: http://theorphys.onu.edu.ua/ru/main.php.
2. L.A.Bulavin, T.V.Lokotosh, N.P.Malomuzh. Role of the collective self-
3. diffusion in water and other liquids// J.Mol.Liq. (Review) - 137 (2008) 1-24.
4. Н.П.Маломуж, К.С.Шакун. Коллективные составляющие процесса самодиффузии в жидкостях // **УФН - 191**, №2 (2021) 163 – 181. , https://doi.org/10.3367/UFNr.2020.05.038759 , https://doi.org/10.3367/UFNe.2020.05.038759
5. L.A. Bulavin, N. P. Malomuzh, K.S. Shakun. Current problems in the quasi-elastic incoherent neutron scattering and the collective drift of molecules // In book "Selected problems in physics of liquids", Springer – **223**, 41-72 (2019).


### Додаткова література


1. V. Blazhnov, N. P. Malomuzh, S. V. Lishchuk. Temperature dependence of density, thermal expansion coefficient and shear viscosity of supercooled glycerol as a reflection of its structure// J. Chem. Phys. - 2004, v. 121, № 13, pp. 6435-6441
2. Oleksii V. Khorolskyi, Nikolay P.Malomuzh. Macromolecular Sizes of Serum Albumins in its Aqueous Solutions - **AIMS Biophysics**, **7** (4), 2020, 219 - 235.
3. А.А.Гуслістий, М.П.Маломуж, А.І.Фісенко. Оптимальна температура життєвої активності людини // УФЖ – **63**,.№9 (2018) 809 – 815.

## 15. Електронні інформаційні ресурси

1. Офіційний сайт кафедри теоретичної фізики: http://theorphys.onu.edu.ua/ru/main.php.
2. Wikipedia: http://en.wikipedia.org/