



Міністерство освіти і науки України

Харківський національний  
педагогічний університет  
імені Г. С. Сковороди

*До 300-річчя Г.С.Сковороди*



**Матеріали**  
**XIX науково-методичної конференції**  
**здобувачів вищої освіти**  
**та молодих учених**  
**«Наумовські читання»,**  
*присвяченої року*  
*математичної освіти*  
*в Україні*

Харків – 2022

УДК 378:001.891

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

**Пономарьова Н. О.** – доктор пед. наук, професор, декан фізико-математичного факультету ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Андрієвська В. М.** – доктор пед. наук, доцент, професор кафедри інформатики ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Водолаженко О.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри математики ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Жерновникова О. А.** – доктор пед. наук, професор, зав.кафедри математики ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Боярська-Хоменко А.В.** – доктор пед. наук, доц., зав.кафедри освітології та інноваційної педагогіки ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Золотухіна С. Т.** – доктор пед. наук, професор, професор кафедр освітології та інноваційної педагогіки ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Олефіренко Н. В.** – доктор пед. наук, професор, зав.кафедри інформатики ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Масич В.В.** – доктор пед. наук, доцент, зав. каф.фізики ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Моторіна В. Г.** – доктор пед. наук, професор, професор кафедри математики ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Бабак О. М.** – здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти фізико-математичного факультету ХНПУ імені Г.С.Сковороди, голова наукового комітету фізико-математичного факультету ХНПУ імені Г.С.Сковороди;

**Сусліченко К. С.** – здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти фізико-математичного факультету ХНПУ імені Г.С.Сковороди, заступник голови наукового комітету фізико-математичного факультету ХНПУ імені Г.С.Сковороди.

Затверджено редакційно-видавничою радою  
Харківського національного педагогічного університету  
імені Г.С. Сковороди  
(Протокол №8 від 16 лютого 2022 р.)

**Наумовські читання** : збірник тез доповідей ХІХ науково-методичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених (м. Харків, 23-24 листопада 2021 року) / [укл.: Пономарьова Н. О., Андрієвська В. М., Водолаженко О.В.]. Харків, 2022. 335 с.

Збірник містить матеріали доповідей з проблем теорії та історії математичної освіти; інноваційних технологій в освітній практиці; фізики та робототехніки; освітніх, педагогічних наук. Збірник розрахований на наукових і практичних працівників у галузі освіти, докторантів, здобувачів вищої педагогічної освіти усіх рівнів.

©Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди, 2022

<i>доктор. пед. наук, доцент Масич В. В., Цигульов П. В., Пацульда В. В.</i>	
<b>ВАЖЛИВІСТЬ ВИВЧЕННЯ ТЕМИ «АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ» У КУРСІ ФІЗИКИ ЗАКЛАДІВ ЗСО .....</b>	<b>266</b>
<i>канд. фіз.-мат. наук, доцент Глейзер Н. В., Говорова Т. С., Слинченко В. І.</i>	
<b>SOFT SKILLS СУЧАСНОГО ПЕДАГОГА .....</b>	<b>269</b>
<i>канд. фіз.-мат. наук, доцент Глейзер Н. В., канд. фіз.-мат. наук, доцент Сергеев В. М., Ставицька О.В., Заніборщ Я.Є.</i>	
<b>ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПРОБЛЕМНОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ .....</b>	<b>272</b>
<i>канд. фіз.-мат. наук, доцент Глейзер Н. В., Сальниченко І. О.</i>	
<b>РОЗВИТОК ПІЗНАВАЛЬНОГО ІНТЕРЕСУ УЧНІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ОКУЛЯРІВ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ТА ЦИФРОВИХ ДОДАТКІВ «BOOKVAR» НА ФАКУЛЬТАТИВНИХ ЗАНЯТТЯХ З ФІЗИКИ .....</b>	<b>273</b>
<i>канд. фіз.-мат. наук, доц. Малець Є. Б., Пелешок Ю. А.</i>	
<b>ОСОБЛИВОСТІ МІКРОЧАСТИНОК В НЕОДНОРІДНИХ ПОЛЯХ .....</b>	<b>276</b>
<i>викладач Юрченко О. В., Мар'єнко А. О.</i>	
<b>ЯДЕРНИЙ МАГНІТНИЙ РЕЗОНАНС ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ .....</b>	<b>279</b>
<b>РОЗДІЛ 5. «ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ» .....</b>	<b>282</b>
<i>канд. пед. наук, доцент Дейниченко Г. В., канд. пед. наук, доцент Кабанська О. С., Табачник Ю. Д.</i>	
<b>РІЗНОВИДИ ГРУПОВИХ ФОРМ НАВЧАННЯ .....</b>	<b>283</b>
<i>доктор пед. наук, доцент Кабусь Н. Д., Сиротюк М. І.</i>	
<b>МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СОЦІАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ .....</b>	<b>286</b>
<i>канд. пед. наук, доцент Калашнікова Л. М., Сусліченко К. С.</i>	
<b>ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ СЕРЕДНЬОГО РІВНЯ ОСВІТИ В УМОВАХ ПРОДУКТИВНОГО НАВЧАННЯ .....</b>	<b>288</b>

## ЯДЕРНИЙ МАГНІТНИЙ РЕЗОНАНС ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Харківський національний педагогічний університет ім. Г. С. Сковороди

**Анотація.** Ядерний магнітний резонанс (ЯМР) – це явище резонансного поглинання радіочастотних хвиль деякими ядрами атомів, що розміщені у зовнішньому магнітному полі. Завдяки тому, що ЯМР-спектри для відомих простих речовин мають сталі характеристики, це дозволяє з великою точністю розрізняти ядра елементів у складних органічних сполуках за їхніми властивостями та різному оточенні в молекулах. Технології на основі ЯМР обумовили широкі можливості у дослідних, пошукових, діагностичних роботах та інших сферах людської діяльності.

**Ключові слова.** Ядерний магнітний резонанс, резонансне поглинання, радіочастотні хвилі, ЯМР-спектроскопія.

Все навколо нас складається з матерії, від живих організмів до повітря, яким ми дихаємо, і вся ця матерія складається з атомів. Коли ці атоми зв'язуються один з одним, вони утворюють молекули. Розуміння цих молекул та їхньої поведінки є ключем до розуміння фізичного світу навколо нас.

Якщо молекули помістити в сильне магнітне поле, ядра деяких атомів почнуть вести себе як маленькі магніти. Якщо на зразок застосувати широкий спектр радіочастотних хвиль, ядра будуть резонувати на своїх власних специфічних частотах. Використовуючи технологію ЯМР-спектроскопії вчені можуть бачити ці молекули та збільшувати навіть їх найменші деталі, спостерігаючи, як вони поведуться в усіх типах матерії.

Явище ядерного магнітного резонансу [1] полягає в тому, що коли на речовину яка знаходиться у сильному постійному магнітному полі, діють слабким змінним радіочастотним магнітним полем, то на частотах, які співпадають з частотами переходів між ядерними підрівнями, виникає різкий (резонансний) максимум поглинання енергії діючого поля. Ядерний магнітний резонанс обумовлений квантовими переходами між ядерними підрівнями, що відбуваються під впливом змінного магнітного поля [2].

Ядро атома, виходячи з класичної теорії, представлено у вигляді позитивно зарядженої сфери, що обертається навколо осі з кутовим моментом кількості руху

$$P = \sqrt{I(I+1)}\hbar,$$

де  $\hbar$  – стала Планка,  $I$  – ядерний спіні.

Відсутність або наявність спіна ядра і його значення визначається числом протонів і нейтронів тобто пов'язані з такою характеристикою ядра, як його заряд, що дорівнює сумі зарядів протонів, і масове число.

Рух електронів навколо ядра в умовах зовнішнього магнітного поля  $B$  створює на ядрі додаткове магнітне поле  $B'$ , яке пропорційне і направлене протилежно прикладеному поляризуючому полю  $B' = -\sigma B$ .

Таким чином, реально на ядро діє деяке ефективне поле

$$B_n = B' + B = (1 - \sigma)B,$$

де  $\sigma = \frac{B - B_n}{B}$  – безрозмірна величина, що називається сталою екранування.

В ізольованих атомах причина появи поля  $B'$  є діамагнітні струми, й ефективне поле  $B_n$  завжди менше прикладеного  $B$ , тобто  $\sigma > 0$ . Таке екранування називають діамагнітним, як і сталу екранування  $\sigma$ . В молекулах при накладанні зовнішнього поляризуючого поля виникає слабкий парамагнетизм, тобто константу екранування можна подати як суму двох вкладів  $\sigma = \sigma_\Delta + \sigma_n$ , причому парамагнітний вклад  $\sigma_n < 0$ . Це означає, що в молекулах  $\sigma$  ядер може бути як позитивна так і негативна.

При позитивному значенні константи екранування, наприклад ядер в атомі або молекулі водню для отримання сигналу ЯМР напруженість зовнішнього поля повинна бути вищою порівняно з напруженістю поля для неекранованого ядра. Константи екранування для атомів найпростіших, наприклад, двоатомних молекул, розраховуються методом та визначаються експериментально. Якщо константа екранування  $\sigma$  визначена, тобто включає атомний та молекулярний вклади, а також складову, обумовлену міжмолекулярними взаємодіями, то вона представляє абсолютний хімічний зсув сигналу даного ядра. Різницю в таких констант або зсув сигналу ЯМР зразка щодо обраного еталона називають відносним або просто хімічним здвигом. Зсув обумовлений насамперед діамагнітним екрануванням ядра.

Атомні ядра оточені електронною оболонкою. Під впливом зовнішнього магнітного поля електрони починають індукувати власні, вторинні магнітні поля. Вторинне магнітне поле, індуковане круговим рухом електронів, завжди спрямоване протилежно прикладеному. Між ядерними спінами в молекулах існує взаємодія, що призводить до розщеплення, тобто мультиплетності, зсув сигналів ЯМР. Хімічний сигнал, що передає мультиплет, визначається центром мультиплета. Два ядра будь-якої спінової системи, що дають сигнали з різними значеннями хімічних зрушень, називають хімічно нееквівалентними, при однакових хімічних зворушеннях ядра – еквівалентними [3].

Якби не магнітні взаємодії ядер один з одним і з електронною оболонкою молекули. Ці взаємодії впливають на параметри резонансу, і з

їх допомогою методом ЯМР можна отримувати різноманітну інформацію про властивості молекул – їх орієнтацію, просторову структуру (конформацію), міжмолекулярні взаємодії, хімічний обмін, обертальну та трансляційну динаміку. Завдяки цьому ЯМР перетворився на дуже потужний інструмент дослідження на молекулярному рівні, який широко застосовується не тільки у фізиці, але головним чином у хімії та молекулярній біології. Проте властивості електронної оболонки у різних частинах молекули різні, і хімічний зсув теж різний. Відповідно, умови резонансу для ядер у різних частинах молекули теж відрізнятимуться [2].

Ядерний магнітний резонанс знайшов широке застосування в фізиці, біології, медицині, неруйнівному контролі та індустрії. Аналіз ЯМР-спектрів використовується для визначення структури і складу хімічних сполук. Технологія ЯМР-спектроскопії спричинила революцію в методах ідентифікації складних органічних молекул [4]. Поряд з методом дифракції рентгенівських променів ЯМР використовують для встановлення структури біологічних макромолекул. Побудована на базі ЯМР магнітно-резонансна томографія широко використовується в медицині для дослідження внутрішніх органів і біологічних тканин. За допомогою сучасної ЯМР техніки, що працює в магнітних полях розсіяння, проводяться підповерхневі пошуки шарів води [5]. Також технологія ЯМР в магнітних полях розсіяння використовується для дослідження геологічних порід, пошуку нафти та природного газу [6].

### Список використаних джерел

1. Глосарій термінів з хімії // Й. Опейда, О. Швайка. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет – Донецьк: «Вебер», 2008. – 758 с. ISBN 978-966-335-206-0
2. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса. – М.: Мир.-1981. – 448 с.
3. Пентин Ю. А., Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. – М.: Мир, 2003. с. 417 – 468.
4. Драго Р. Физические методы в химии. – М.: Мир, 1981. Т.1. 422 с.
5. <https://trv-science.ru/2020/03/yamr-groundwater/>
6. <https://trv-science.ru/2019/07/yamr-spectrometer-arctic-oil/>

