КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Хімічний факультет

Кафедра органічної хімії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи

_____ Наталія УСЕНКО

«30» 06 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ГЕТЕРОАТОМНА ХІМІЯ

для здобувачів освіти

галузь знань	**10 Природничі науки**
спеціальність	**102 Хімія**
освітній рівень	**магістр**
освітня програма	**Хімія**
вид дисципліни	**вибіркова**

Форма навчання	**денна**
Навчальний рік	**2022/2023**
Семестр	III
Кількість кредитів ECTS	**3**
Мова викладання, навчання та оцінювання	**українська**
Форма заключного контролю	**іспит**

Викладачі: **Ягупольський Юрій Львович, Горічко Мар'ян Віталійович**

Пролонговано: на 2023/2024 н. р. _____(_____) «__»_____ 20__ р.
на 2024/2025 н. р. _____(_____) «__»_____ 20__ р.

КИЇВ – 2022

Розробники: **Ягупольський Юрій Львович**, проф., д.х.н., зав. відділом ІОХ НАН України
Горічко Мар'ян Віталійович, доц., к.х.н., доцент кафедри органічної хімії

ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри органічної хімії
_____ Володимир ХИЛЯ
Протокол № 14 від 3 червня 2022 року

Схвалено науково-методичною комісією хімічного факультету

Протокол №7 від 29 червня 2022 року

Голова науково-методичної комісії _____ Олександр РОЇК

« 29 » червня 2022 року

1. Мета дисципліни – сформувати цілісне уявлення про гетероатомну хімію, навчитися використовувати раніше добуті знання для вивчення, дослідження, ідентифікації гетероатомних сполук.

2. Попередні вимоги до опанування навчальної дисципліни:

1. Знати органічну хімію на рівні бакалавра за спеціальністю «Хімія».
2. Володіти навичками написання органічних реакцій.
3. Мати уявлення про стереохімію на рівні бакалавра за спеціальністю «Хімія».
4. Володіти навичками написання механізмів органічних реакцій на рівні бакалавра за спеціальністю «Хімія».

3. Анотація навчальної дисципліни. В рамках курсу «Гетероатомна хімія» вивчаються розділи органічної хімії, що стосуються сполук із атомами F, S, Si, P, B. Розглядається природа зв'язку карбон-гетероатом; номенклатура, спектроскопія та застосування гетероатомних сполук; хімія фторорганічних сполук; фосфіни, солі фосфонію; похідні фосфористої та фосфорної кислот; фосфазени та іліди фосфору; тіоли, сульфіди, солі сульфонію; сульфоксиди, сульфони; іліди сірки; сульфенові, сульфінові, сульфонові кислоти; тіокарбонільні сполуки; борани, кисеньвмісні сполуки бору; кремнійорганічні сполуки.

4. Завдання: розвиток теоретичних уявлень студентів про особливості будови та хімічних властивостей гетероатомних сполук; набуття навичок у плануванні синтезів за участю гетероатомних сполук.
Навчальна дисципліна спрямована на досягнення наступних загальних та спеціальних (фахових) компетентностей: ЗК2 (здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями), ЗК4 (здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях), ЗК14 (здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел), ФК6 (здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними), ФК8 (здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати напрями та відповідні методи для їх розв'язання на основі розуміння сучасної проблематики досліджень в галузі хімії та беручи до уваги наявні ресурси).

5. Результати навчання за дисципліною:

Код	**Результат навчання (1 – знати; 2 – вміти; 3 – комунікація; 4 – автономність та відповідальність)**	**Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання**	**Методи оцінювання** поточний контроль (активність під час занять та виконання дом. роботи **ПтК1**, написання КР **ПтК-2**), підсумковий контроль **ПсК**	**Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни**
1.1	Знати основні засади гетероатомної хімії	лекції, самостійні	ПтК-2, ПсК	10
1.2	Знати методи синтезу гетероатомних сполук	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	20
1.3	Знати способи застосування гетероатомних сполук в сучасному органічному синтезі	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	20
2.1	Уміти планувати синтез гетероатомних сполук	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	5
2.2	Уміти реалізовувати синтез гетероатомних сполук	лекції, самостійні	ПтК-1	10
2.3	Уміти передбачати та інтерпретувати результати реакцій гетероатомних сполук	лекції, самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	10

3.1	Бути здатним використовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології при спілкуванні, а також для збору, аналізу, обробки, інтерпретації інформації, що стосується гетероатомної хімії	самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	5
3.2	Бути здатним виконувати передбачені навчальною програмою завдання у співпраці з іншими виконавцями	самостійні	ПтК-1, ПтК-2, ПсК	5
4.1	Уміти самостійно зафіксувати, проаналізувати та інтерпретувати дані, що стосуються гетероатомної хімії	самостійні	ПтК-1, ПтК-2	10
4.2	Дотримуватися правил наукової етики та доброчесності в процесі критичної обробки наявної та створенні нової інформації у галузі гетероатомної хімії	самостійні	ПтК-1	5

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни (РНД) із програмними результатами навчання (ПРН):

Результати навчання дисципліни **Програмні результати навчання**	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2
Р3. Застосовувати отримані знання і розуміння для вирішення нових якісних та кількісних задач хімії.	+	+	+	+			+	+		
Р4. Синтезувати хімічні сполуки із заданими властивостями, аналізувати їх і оцінювати відповідність заданим вимогам.	+	+	+	+		+				
Р14. Інтерпретувати експериментально отримані дані та співвідносити їх з відповідними теоріями в хімії.				+	+	+			+	+

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів:

Семестрове оцінювання:

Максимальна/мінімальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом: **60 балів / 36 балів,** а саме:

1. Активність під час занять – реферат (або доповідь) та виконання самостійної домашньої роботи: РН 2.2, 3.2, 4.2 (повністю), РН 1.1, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1, 4.1 (частково) – **30 / 18 балів**

2. Контрольна робота: РН 1.1 (повністю), 1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1, 4.1 (частково) – **30 / 18 балів**.

Підсумкове оцінювання (у формі іспиту):

Максимальна/мінімальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом: **40 балів / 24 бали**.

Результати навчання які будуть оцінюватись: РН 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1.

Форма проведення: письмова робота.

Види завдань: 2 теоретичні питання, 1 задача (планування синтетичної схеми).

Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит не може бути меншою 24 балів.

Студент допускається до іспиту, якщо протягом семестру він:

набрав не менше, ніж **36 балів**;

виконав і вчасно здав реферат (доповідь);

написав контрольну роботу.

7.2. Організація оцінювання:

Терміни проведення оцінювання:

Персональні завдання для написання реферату студенти отримують не пізніше 3 тижня семестру;

Здавання реферату: не пізніше, ніж за тиждень до початку сесії;

Контрольна робота: не раніше 8 тижня семестру;

Оцінювання самостійної роботи: впродовж семестру.

Студенти мають право на одне перескладання контрольної роботи у визначений викладачем термін.

7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень / Marks
Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни.

№	Назва лекції	лекції	самост. робота
	Частина 1		
1	Фторування елементним фтором. Фтористий водень в реакціях одержання фторовмісних молекул.	2	
	Фториди лужних та лужноземельних металів в реакціях заміщення для одержання фторовмісних молекул.		4
2	FAR (поліфторалкілвмісні аміни) – реагенти заміщення гідроксильної групи на атом фтора.	2	
	N-Фторреагенти в реакціях фторування.		4
3	Трифторметилтриметилсилан як трифтометилюючий агент.	2	
	Практичне значення реакцій трифлуорометилювання.		4
4	Фториди стибію як реагенти одержання фторовмісних молекул.	2	
	Реакція Свартса.		4
5	Чотирифториста сірка в реакціях з альдегідами, кетонами та карбоновими кислотами.	2	
	Аналоги чотирифтористої сірки в реакціях з альдегідами, кетонами та карбоновими кислотами.		4
6	Реакція Бальца-Шимана.	2	
	Електрохімічне фторування.		4
7	Фторовмісні алкани.	2	
	Фторовмісні алкени.		4
	Частина 2		
8	Природа зв'язку карбон-гетероатом. Перехідні метали в органічній хімії. Утворення ковалентних СС зв'язків. Утворення зв'язків карбону з іншими атомами (N, O, S).	2	
	Практичне застосування гетероатомних сполук. Особливості методів дослідження гетероатомних сполук.		4
9	Металоорганічні сполуки: методи одержання металоорганічних сполук: пряме металювання, обмін галогену на метал, реакції переметалювання.	2	
	Органічні сполуки металів I та II груп. Використання в органічному синтезі.		4
10	Використання сполук бору в органічному синтезі, асиметричні перетворення. Реакція гідроборування. Механізм, межі застосування. Асиметричне гідроборування.	2	
	Сполуки зі зв'язком бор-галоген. Кисеньвмісні сполуки бору.		4

11	Основні правила хімії кремнію. Сполуки зі зв'язками кремній-кремній та кремній-метал.	2	
	Використання сполук кремнію в органічному синтезі.		4
12	Сполуки фосфору III: похідні фосфористої, фосфонистої та фосфінистої кислот – синтез та хімічні властивості. Спектроскопія сполук фосфору III.	2	
	Сполуки фосфору III: фосфіни (хіральність фосфінів, їх застосування в асиметричному синтезі), солі фосфонію, галогенофосфіни.		4
13	Сполуки фосфору V. Спектроскопія сполук фосфору V.	2	
	Похідні фосфорної, фосфонової та фосфінової кислот. Фосфазени та іліди фосфору.		4
14	Сульфоксиди та сульфони. Іліди сірки. Використання сполук сірки для створення СС зв'язків. Сіркоорганічні сполуки: сульфенові, сульфінові, сульфонові кислоти та їх похідні.	2	
	Органічні сульфіти та сульфати. Тіокарбонільні сполуки.		4
15	Використання гетероатомних похідних в якості захисних і допоміжних груп в органічному синтезі.	2	
	Гетероатомні похідні в якості захисних груп: методи зняття		4

Загальний обсяг ***90*** *год.,* в тому числі:
Лекцій – ***30*** *год.*
Самостійна робота **- *60*** *год.*

9. Рекомендовані джерела

Основні:

1. Sheppard W.A., Sharts C.M. Organic Fluorine Chemistry. – W.A. Benjamin, 1969. – 602 p.
2. Page P.C.B. Organosulfur Chemistry II. – Springer, 2003. – 198 p.
3. Fieser L.F., Fieser M., Ho T.-L. Fieser and Fieser's Reagents for Organic Synthesis. – John Wiley & Sons, 2007.
4. Горічко М.В. Металоорганічні похідні гетероциклічних сполук : Посіб. для студентів хімічного факультету. − К.: ВПЦ "Київський університет", 2008. – 33 с.
5. Лозинський М., Ковтуненко В. Карбаніони: синтез та алкілування. – К., 2008. – 626 с.

Додаткові:

1. Григоренко О.О., Шабликіна О.В. Сучасні методи органічного синтезу, підручник для студентів хімічного факультету (2-е видання). – К.: Наш формат, 2021. – 568 с.
2. March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms and Structure, 5th ed by M. B. Smith and J. March. – Wiley Interscience: New York. 2001. – 2112 p.
3. Горічко М.В., Пивоваренко В.Г. Органічна хімія. Реакції карбонільних сполук. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2012. – 352 с.
4. Smith W.A., Bochkov A.F., Caple R. Organic Synthesis – the Science behind the Art. – Cambridge, 1998. – 477 p.
5. Smith M.B. Organic synthesis. – McGRAW-HILL, inc. New York, Sydney, Tokyo, Toronto. International editions, 1994. – 1595 p.
6. Laszlo P. Organic Reactions: Simplicity and Logic. – Wiley, 1995. – 696 p.
7. Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P. Organic Chemistry, 2nd ed. – Oxford University Press, New York, 2012. – 1265 p.

10. Додаткові ресурси:

1. Organoborates in New Synthetic Reactions, Suzuki, A. *Acc. Chem. Res*. **1982**, *15*, 178; *Top. in Current Chem.* **1983**, 112.
2. Carbon-Carbon Formation Involving Boron Reagents, A. Pelter *Chem. Soc. Rev.* **1982**, *11*, 191.
3. Formation of Carbon-Carbon and Carbon-Heteroatom Bonds via Organoboranes and Organoborates, E.-I. Negishi, M. J. Idacavage *Org. React.* **1985**, *33*, 1.
4. Organoboron Compounds in Organic Synthesis, R. M. Mikhailov, Harwood Academic, 1984.
5. Reactions of Group 13 Alkyls with Dioxygen and Elemental Chalcogens: from Carelessness to Chemistry, Barron, A. R. *Chem. Soc. Rev.* **1993**, *22*, 93.
6. Stereodirected Synthesis with Organoboranes, Trost, B.M. Ed., Springer: Berlin, Germany, 1995.
7. Contemporary Boron Chemistry, Davidson, M.; Hughes, A. K.; Marder, T. B.; Wade, K. Royal Society of Chemistry: Cambridge, U.K., 2000.
8. Rhodium-Catalyzed Asymmetric 1,4-Addition of Organoboronic Acids and Their Derivatives to Electron Deficient Olefins. Hayashi, T. *Synlett* 2001, 879-87.
9. Pure Enantiomers via Chiral Organoboranes. H. C. Brown, B. Singram *Accounts Chem. Res.* **1988**, *21*, 287.
10. Boronic Esters in Stereodirected Synthesis. D. S. Matteson *Tetrahedron* **1989**, *45*, 1859.
11. Stereodirected Synthesis with Organoboranes. D. S. Matteson, Springer, 1995.
12. Asymmetric Syntheses via Chiral Organoboranes Based on α-Pinene. Brown, H.C. *Adv. in Asymm. Synth. Vol. 1,* Hassner, A., Ed. JAI: Greenwich, CT, 1995.
13. *α*-Halo Boronic Esters in Asymmetric Synthesis. Matteson, D. S. *Tetrahedron* 1998, *54*, 10555-607.
14. Haloboration of 1-Alkynes and Its Synthetic Application [Vinyl Boranes]. Suzuki, A. *Rev. Heteroatom Chem.* **1997,** *17*, 271-314.
15. Recent Developments in the Chemistry of Amine- and Phosphine-Boranes. Carboni, B.; Monnier, L. *Tetrahedron* **1999**, *55*, 1197-248.
16. Useful Synthetic Transformations Via Organoboranes. 1. Amination Reactions. Carboni, B.; Vaultier, M. *Bull. Soc. Chim. Fr.* **1995**, *132*, 1003-8.
17. Electrophilic Substitution Reactions of Organosilicon Compounds - Applications to Organic Synthesis. Chan, T. H.; Fleming, I. *Synthesis* **1979**, 761.
18. Organosilicon Reagents for Carbon-Carbon Bond Forming Reactions. Magnus, P. *Aldrichim. Acta* **1980**, *13*, 43.
19. Applications of Silicon Chemistry in the Corticosteroid Field. Livingston, D.A. *Adv. Med. Chem.* JAI Press: Greenwich, CT, **1992**.
20. Chiral Organosilicon Compounds in Asymmetric Synthesis. Chan, T.H.; Wang, D. *Chem. Rev.* **1992**, *92*, 995.
21. Balancing Leaving Group Ability and the ß-Effect: Exploring the Synthetic Utility of Chlorosilyl Groups. Brook, M. A.; Henry, C.; Jueschkke, R.; Modi, P. *Synlett* **1993**, 97-104.
22. Organosilicon and Organotin Compounds in the Synthesis and Transformation of ß-Lactams. Veinberg, G. A.; Lukevics, E. *Heterocycles*, **1994**, *38*, 2309.
23. Stereochemical Control in Organic Synthesis Using Silicon-Containing Compounds. Fleming, I.; Barbero, A.; Walter, D. *Chem. Rev.* **1997,** *97*, 2063-92.
24. Silicon in Organic, Organometallic, and Polymer Chemistry. Brook, M. A. Wiley-Interscience: New York, 1999.
25. Applications of Allyl Silanes in Organic Synthesis. Hosomi, A. *Acc. Chem. Res*. **1988**, *21*, 200. Diastereoselective Reactions of Chiral Allyl- and Allenylsilanes with Activated C=X p-bonds. Masse, C. E.; Panek, J. S. *Chem. Rev.* **1995**, *95*, 1293-316.
26. Enantioselective Addition of Allylic Silanes and Stannanes to Aldehydes Mediated by Chiral Lewis Acids. Cozzi, P. G.; Tagliavini, E.; Umani-Ronchi, A. *Gazz. Chim. Ital.* **1997,** *127*, 247-54.
27. Methods for the Synthesis of Allylsilanes, Part 1. Sarkar, T. K. *Synthesis* **1990**, *11*, 969, 1101.

28. Synthetic Aspects of the use of Organosilicon Compounds under Nucleophilic Catalysis Conditions. G. G. Furin et al. *Tetrahedron* **1988**, *44*, 2675.
29. Reactivity of Penta- and Hexacoordinate Silicon Compounds and Their Role as Reaction Intermediates. Chuit, C.; Corriu, R. J. P.; Reye, C.; Young, J. C. *Chem. Rev.* **1993**, *93*, 1371-448.
30. Silicon Reagents in Chemical Transformations: the Concept of 'Counterattack Reagent. *Pure Appl. Chem.* **1999**, *71*, 445.
31. Zwitterionic Pentacoordinate Silicon Compounds. Tacke, R.; Pulm, M.; Wagner, B. *Adv. Organometal. Chem.* **1999**, *44*, 221-73.
32. Perfluoroalkylation with Organosilicon Reagents. Prakash, G.K.S.; Yudin, A.K. *Chem. Rev.* **1997**, *97*, 757-86.
33. Nucleophilic Trifluoromethylation Reactions of Organic Compounds with (Trifluoromethyl)trimethylsilane. Singh, R. P.; Shreeve, J. M. *Tetrahedron* **2000**, *56*, 7613-32.
34. Silyl-Substituted Conjugated Dienes: Versatile Building Blocks of Organic Synthesis. Luh, T.-Y.; Wong, K.-T. *Synthesis* **1993**, 349-70.
35. Tandem Transformations Initiated by the Migration of a Silyl Group. Some New Synthetic Applications of Silyloxiranes. Jankowski, P.; Raubo, P.; Wicha, J. *Synlett*, **1994**, 985-92.
36. Use of Organosilicon Reagents as Protective Groups in Organic Synthesis. Lalonde, M.; Chan, T. H. *Synthesis* **1985**, 817.
37. Silyl Ethers as Protective Groups for Alcohols: Oxidative Deprotection and Stability Under Alcohol Oxidation Conditions. Muzart, J. *Synthesis* **1993**, 11.
38. Reductions with Samarium(II) Iodide. *Molander, G.A.* (2004).
39. Divalent lanthanide derivatives in organic synthesis. 1. Mild preparation of samarium iodide and ytterbium iodide and their use as reducing or coupling agents. Girard, P.; Namy, J. L.; Kagan, H. B. *J. Am. Chem. Soc.* **1980** *102* (8) 2693.

а також інтернет-ресурси.