

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України
академік НАН України

В. Сіян
(підпис) **В.І. Старостенко**

« 11 » липня 2019 р.



УДК 550.31

Коболев В.П., Кутас Р.І.

Фізика Землі

(назва навчальної дисципліни)

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни для

третього (освітньо-наукового) рівня, доктор філософії (PhD)

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

Кількість кредитів Європейської кредитної трансферно-накопичувальної
системи (ЄКТС): 3 кредити - 90 годин

за спеціальністю:

103 Науки про Землю

Київ 2019

РОЗРОБЛЕНО ТА ВНЕСЕНО:

Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
(повне найменування вищого навчального закладу)

Робочу програму схвалено та затверджено на засіданні Вченої ради Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (протокол № 5 від 11.07.2019 р.)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Коболев Володимир Павлович – доктор геологічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу петромагнетизму і морської геофізики Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

Кутас Роман Іванович - доктор геолого-мінералогічних наук, професор, член-кор. НАНУ, завідувач відділу геотермії та сучасної геодинаміки Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

"Фізика Землі."

(за вимогами ECTS)

Мета: Надати можливість молодим дослідникам розширити свої знання стосовно різноманітних проблемних питань фізики Землі (ФЗ), котра є невід'ємною частиною фізики серед других її розділів, таких як сонячна-земна фізика, фізика планет, фізика Сонця, тощо. Природньо, що в ФЗ повинні працювати всі закони, притаманні таким розділам фізики, як, наприклад, механіка, електродинаміка, гідродинаміка, тощо. Наразі ФЗ практично не має загальних фундаментальних законів й закономірностей. За виключенням, наприклад, таких емпіричних законів сейсмології Гуттенберга-Рихтера и Оморі. В дійсному курсі ФЗ сформульовані окремі задачі, вирішення яких передбачає проведення теоретичних и експериментальних досліджень, а також численного моделювання.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є взаємозв'язок основних фізичних властивостей Землі, як складної і багатофункціональної системи, з її утворенням, еволюцією, будовою та речовинним складом. Пропонований курс складається з двох розділів, перший з яких присвячений фундаментальним засадам ФЗ. При цьому, увага приділяється не тільки широко відомим фактам, але окремим проблемам, які не отримали до цих пір чіткого пояснення. У другому розділі дається опис експериментальних методів і застосування результатів глобальних геофізичних спостережень і модельних геодинамічних побудов.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є: розгляд прояву відомих властивостей Землі, таких як її магнітне, гравітаційне та електричне поля, теплові потоки, термодинамічні та геодинамічні засади, тощо, які наразі потребують пошуку пояснення їх розподілу з загальних позицій.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен **знати**:

- основні параметри Землі: масу, розміри, швидкість обертання, ступінь стиснення, фрактальні властивості і скейлінг, хімічний склад;
- внутрішній устрій за даними сейсмології, поділ на оболонки та реологію їх речовини;
- еволюцію термодинамічних параметрів Землі;
- принципи мінімізації гравітаційного потенціалу;
- моделі генерації і параметри геомагнітного поля: інверсії, екскурси, західний дрейф, рух магнітних полюсів в контексті різних моделей;
- методи сейсмічної томографії та аналізу власних коливань Землі;
- причини і механізми утворення корисних копалин (металів, алмазів, вуглеводнів), протиріччя і невирішені питання;
- геодинаміку і фундаментальні характеристики Землі.

вміти:

- з використанням модулів пружності і коефіцієнтів Пуассона виконати порівняння: холодної та гарячої моделей Землі;
- визначати розподіл РТ-параметрів по глибині та їх визначення на поверхні Землі в минулому за складом бульбашок в мінералах і ізотопного методу;
- оцінювати розміри джерел генерації геомагнітного поля;

Кількість годин, відведених навчальним планом на вивчення дисципліни, становить 90 год., із них 20 год. – лекції, 15 год. – практичні заняття, 10 год. – семінари, 45 год. – самостійна робота. Вивчення аспірантами навчальної дисципліни "Фізика Землі"

завершується складанням заліку.

Форми проведення занять: лекції, практичні та семінари. Організація роботи слухачів навчальної дисципліни передбачає формування поняттєво-категоріального масиву інформації з кожної теми, контрольні питання та самостійні завдання, роботу з науково-технічною літературою, а також розв'язання проблемних наукових задач та ситуацій.

Поточний контроль: здійснюється на заняттях через індивідуальне і перехресне усне опитування, блідопитування; письмові контрольні роботи; практичні, індивідуальні та самостійні завдання; робота з діаграмами, графіками, схемами; розв'язання творчих задач; самоконтроль, тестова форма оцінювання навчальних досягнень аспірантів тощо.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН
(СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ)
з навчальної дисципліни "Фізика Землі"
(II курс – 1 та 2 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні, год.	Семінари, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1	2	3	4	5	6	7

Змістовий модуль 1
Вступ у фізику Землі

1	2	3	4	5	6	7
1.1.	Тема 1. Місце Землі в Сонячній системі, основні параметри	2	2	1	5	10
1.2.	Тема 2. Устрій та моделі утворення Землі	2	2	1	5	10
1.3.	Тема 3. Термодинаміка Землі, еволюція параметрів	2	2	1	5	10
1.4.	Тема 4. Фрактальні властивості і скейлінг у фізиці Землі	2	2	1	5	10
1.5.	Тема 5. Геохімічні аспекти.	2	2	1	5	10
Разом		10	10	5	25	50

Змістовий модуль 2
Експериментальні методи і результати спостережень

1	2	3	4	5	6	7
2.1.	Тема 6. Моделі генерації геомагнітного поля	3	2	1	6	12
2.2.	Тема 7. Гравітаційне поле Землі	3	2	1	6	12
2.3.	Тема 8. Електропровідність кори і верхньої мантиї.	2	2	1	7	12
2.4.	Тема 9. Сейсмічність Землі	4	2	1	7	12
2.5.	Тема 10. Геодинаміка і фундаментальні характеристики Землі	4	2	1	7	12
Разом		10	5	5	20	40
Всього		20	15	10	45	90

Методичне забезпечення навчальної дисципліни забезпечують:

опорні конспекти лекцій, бібліотечні посібники зі списку рекомендованої літератури, електронні посібники, мультимедійні презентації, діючі нормативно-правові законодавчі акти України, довідково-інформаційні інтернет - джерела тощо.

ЗМІСТ НОРМАТИВНО-НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.

Вступ у фізику Землі

Тема 1. Місце Землі в Сонячній системі, основні параметри.

Еволюція уявлень про Землю та гіпотези її утворення. Місце Землі в Сонячній системі, спільність і відмінності від інших планет. Основні параметри Землі: маса, розміри, швидкість обертання, ступінь стиснення, тепловий потік, геомагнітне поле, термодинаміка та ін. Чинники руху осі обертання Землі у просторі, зміни швидкості обертання Землі і наслідки цих змін..

Тема 2. Устрій та моделі утворення Землі.

Внутрішній устрій за даними сейсмології, поділ на оболонки. Стандартна модель Землі. Реологія речовини оболонок Землі. Модулі пружності і коефіцієнт Пуассона. Порівняння двох моделей: холодної та гарячої. Фізика ядра (залізне або не залізне, наприклад, щільна астрофізична плазма), фізика ядра, мантії (чи можлива глобальна конвекція) і земної кори.

Тема 3. Термодинаміка Землі, еволюція параметрів

Основні параметри теплового поля Землі. Джерела глибинного тепла. Тепловий потік, методи вимірювань і результати. Розподіл температури по глибині і визначення РТ-параметрів на поверхні Землі в минулому за складом бульбашок в мінералах і ізотопного методу.

Тема 4. Фрактальні властивості і скейлінг у фізиці Землі.

Земля - відкрита система, властивості відкритих систем. Рівняння Фоккера-Планка і самоорганізована критичність. Флікер-шум і фрактальні властивості систем, фрактальна розмірність. Тимчасові ряди і показник Херста. Самоподібність і самоафінність. Фрактальні властивості: спалахів на Сонці, сейсмічності, вулканізму, геомагнітного поля, висоти гір, родовищ вуглеводнів та ін.

Тема 5. Геохімічні аспекти.

Хімічний склад Землі, материки та океани, граніти і базальти на Землі, причини і механізми утворення корисних копалин (металів, алмазів, вуглеводнів), протиріччя і невирішені питання. Водень в земних оболонках і його роль в утворенні вуглеводнів і формуванні астеносфери.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2.

Експериментальні методи і результати спостережень

Тема 6. Геомагнітне поле.

Ранні гіпотези. Моделі генерації і параметри геомагнітного поля, Супутникові спостереження, повний вектор і момент. Геомагнітні мережі. Результати спостережень. Оцінка розмірів джерела генерації. Основи палеомагнетизму, методи і прилади, результати, палеомагнітна шкала і її зв'язок з палеонтологічною. Інверсії, експурси, західний дрейф, рух магнітних полюсів і палеоекваторів в контексті розглянутих моделей структурно-тектонічної еволюції Землі.

Тема 7. Гравітаційне поле Землі.

Огляд сучасних уявлень про природу гравітації. Чому планети майже сферичні? Принцип мінімізації гравітаційного потенціалу. Гравіметрія, припливи, неприливні варіації, геоїд, ізостазія. Методи оцінки сили тяжіння в минулому, результати. Вимірювання градієнтів гравітаційного поля. Спостереження з використанням супутників, їх результати.

Тема 8. Електропровідність кори і верхньої мантії.

Атмосферний електричне поле (АЕП), електропровідність кори і верхньої мантії,

електромагнітні методи. Апаратура і результати вимірювань. Унітарна варіація (крива Карнегі) АЕП. Результати спостережень та довготривалі тренди змін АЕП в різних обсерваторіях світу.

Тема 9. Сейсмічність Землі.

Природні джерела сейсмічних коливань та поширення по Землі. Землетруси, їх класифікація, магнітуда, глибини, епіцентри і гіпоцентри, сильні рухи, афтершоки. Сейсмічні хвилі і особливості їх поширення по Землі. Сейсмографи і сейсмічні мережі, методи комп'ютерного моделювання сейсмограм. Методи сейсмічної томографії, методи аналізу власних коливань Землі. Результати використання сейсмічних методів у визначенні структури внутрішнього і зовнішнього ядра, мантії, астеносфери і земної кори. Результати вивчення структури меж: внутрішнє ядро - зовнішнє ядро і ядро - мантія. Оцінка в'язкості речовини ядра і мантії і коефіцієнтів Пуассона. Фізика землетрусу: модель виходу тріщини на поверхню і ударно-хвильова модель. Закони Гуттенберга-Ріхтера і Оморі, фрактальний характер сейсмічності. Елементи фрактальної акустики в проблемі самоорганізації розкриття тріщин. Зв'язок між вулканізмом Землі, її сейсмічністю і варіаціями геомагнітного поля.

Тема 10. Геодинаміка і фундаментальні характеристики Землі.

Моделі: дрейф материків, спрединг і субдукція, плюми тощо. Тектоніка плит (переваги і недоліки). Явища геодинаміки в контексті принципу мінімізації гравітаційного потенціалу: зв'язок дрейфу материків з градієнтом геоїда, коливальний характер утворення гір і западин, плюми і суперплюми, зв'язок суперплюмів з суперхронами, плюми і дрейф гавайських вулканів. Фрактальний характер гір.

Питання до заліку

1. Еволюція уявлень про Землю та гіпотези її утворення.
2. Явища геодинаміки в контексті принципу мінімізації гравітаційного потенціалу.
3. Результати використання сейсмічних методів у визначенні структури внутрішнього і зовнішнього ядра, мантії, астеносфери і земної кори.
4. Внутрішній устрій за даними сейсмології, поділ на оболонки. Стандартна модель Землі.
5. Сейсмографи і сейсмічні мережі, методи комп'ютерного моделювання сейсмограм.
6. Результати вивчення структури меж: внутрішнє ядро - зовнішнє ядро і ядро - мантія.
7. Основні параметри теплового поля Землі. Джерела глибинного тепла.
8. Принцип мінімізації гравітаційного потенціалу.
9. Оцінка в'язкості речовини ядра і мантії і коефіцієнтів Пуассона.
10. Земля - відкрита система, властивості відкритих систем. Рівняння Фоккера-Планка і самоорганізована критичність.
11. Водень в земних оболонках і його роль в утворенні вуглеводнів і формуванні астеносфери..
12. Фізика землетрусу: модель виходу тріщини на поверхню і ударно-хвильова модель.
13. Хімічний склад Землі, материки та океани, граніти і базальти на Землі, причини і механізми утворення корисних копалин.
14. Основи палеомагнетизму, методи і прилади, результати, палеомагнітна шкала і її зв'язок з палеонтологічною.
15. . Закони Гуттенберга-Ріхтера і Оморі, фрактальний характер сейсмічності.
16. Моделі генерації і параметри геомагнітного поля.
17. Гравіметрія, припливи, неприливні варіації, геоїд, ізостазія.
18. Елементи фрактальної акустики в проблемі самоорганізації розкриття тріщин.
Зв'язок між вулканізмом Землі, її сейсмічністю і варіаціями геомагнітного поля.
19. Огляд сучасних уявлень про природу гравітації.

20. . Флікер-шум і фрактальні властивості систем, фрактальна розмірність. Тимчасові ряди і показник Херста. Самоподібність і самоафінність.
21. Інверсії, екскурси, західний дрейф, рух магнітних полюсів і палеоекваторів в контексті розглянутих моделей структурно-тектонічної еволюції Землі.
22. Атмосферний електричне поле (АЕП), електропровідність кори і верхньої мантії, електромагнітні методи.
23. Розподіл температури по глибині і визначення РТ-параметрів на поверхні Землі в минулому за складом бульбашок в мінералах і ізотопного методу.
24. Фізика ядра, мантії і земної кори.
25. Реологія речовини оболонок Землі.
26. Природні джерела сейсмічних коливань та поширення по Землі. Землетруси, їх класифікація, магнітуда, глибини, епіцентри і гіпоцентри, сильні рухи, афтершоки.
27. Чинники руху осі обертання Землі у просторі, зміни швидкості обертання Землі і наслідки цих змін.
28. Основні параметри Землі: маса, розміри, швидкість обертання, ступінь стиснення, тепловий потік, геомагнітне поле, термодинаміка та ін.
29. Моделі: дрейф материків, спрединг і субдукція, плюми тощо.
30. Апаратура і результати вимірювань електропровідності кори і верхньої мантії.

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Аксёнов В.В. О генерации Главного геомагнитного поля. // Геофизический журнал. – 2004. - №6, т. 26. – С. 174-178.
2. Артюшков Е.В. Геодинамика. -М.: Наука, 1979. – 327 с.
3. Баренбаум А. А. Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. – М.: ГЕОС, 2002. – 394 с.
4. Гораи М. Эволюция расширяющейся Земли. М.: Недра, 1984.
5. Гуттенберг Б. Физика земных недр. М.: ИЛ, 1963.
6. Джеффрис Г. Земля, её происхождение, история и строение. М.: ИЛ, 1960.
7. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 409 с.
8. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415 с.
9. Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. История догм в науках о Земле // Москва: Мир, 1991. – 447 с.
10. Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: КГУ им Беринга, 2008.
11. Кутас Р.И. Поле тепловых потоков и геотермическая модель земной коры. - Киев: Наук. думка, 1978. - 140 с.
12. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. 1965. М.: Наука. 379 с.
13. Оровецкий Ю.П., Коболев В.П. Горячие пояса Земли. Киев: Наукова думка, 2006. – 312 с.
14. Рингвуд А Е Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982.
15. Рудич Е.М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. М.: Недра, 1984.
16. Рудник В.А., Соботович Э.В. Ранняя история Земли. М.: Недра, 1984.
17. Семененко Н. П. Геохимия сфер Земли. – К.: Наук. думка, 1987. – 160с.
18. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли: Учебник. Под ред. акад. РАН В.А. Садовниченко. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 560 с.
19. Субботин С.И., Наумчик Г.Л., Рахимова И.Ш. Мантия Земли и тектогенез. К.: Наук. думка, 1968. – 175 с.
20. Тяпкин К.Ф. Физика Земли. – Киев: Вища шк., 1998. – 312 с.
21. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее геолого-математическое обоснование. Донецк: Ноулидж, 2009. – 342 с.
22. Хартман У.К. На пути к современной теории образования планет // В сб. Протозвездные планеты, ч. 1, 2. М.: Мир, 1982.

Додаткова

1. Анфилов В.Н., Хачай Ю.В. Мантийные плюмы: уровень генерации и механизм передачи энергии к поверхности Земли // *Фундаментальные проблемы геотектоники. Материалы XI тектонического совещания, Том I.* - М.: ГЕОС, 2007. С. 18-21.
2. Грачев А.Ф. Мантийные плюмы и проблемы геодинамики // *Физика Земли.* 2000. №4. С. 3-37.
3. Довбнич М.М. Влияние вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов на напряженное состояние тектоносферы // *Доп. НАН України,* 2007, №11. - С. 105-111.
4. Иогансон Л.И. Ротационные факторы тектогенеза — история вопроса и современное состояние // *Ротационные процессы в геологии и физике.* — Москва: КомКнига, 2007. — 528 с.
5. Кобелев В.П. Земля: виртуальность тектоники плит, конформность фиксизма и мобилизма // *Геодинамика,* 2017, №1. - С. 37-59.
6. Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. I. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // *Физическая мезомеханика,* 12, №6, 2009. - С. 87-96.
7. Милановский Е.Е., Никишин А.М. Некоторые основные закономерности строения и геологической эволюции планет земной группы в связи с их положением в солнечной системе // *Доклады АН СССР.* - 1982. - Т. 265, №2. - С. 420-424.
8. Печерский Д.М. Инверсии геомагнитного поля, плюмы и изменения органического мира в фанерозое: удивительные совпадения // *Физика Земли.* 2003. № 1. С. 53-56.
9. Duncombe J. The unsolved mystery of the Earth blobs, *Eos*, 100, (2019), <https://doi.org/10.1029/2019EO117193>.
10. Li J., Fei Y. Experimental constraints on core composition / *The mantle and core*, Ed. R. W. Carlson. Amsterdam: Elsevier. — 2005. — P. 521—546.
11. McDonough W. F. Compositional models for the Earth's core / *The mantle and core*, Ed. R. W. Carlson. Amsterdam: Elsevier. — 2005. — P. 547—568/
12. Nolet G., Karato S.-I., Montelli R. Plume fluxes from seismic tomography // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. V. 248. P. 685-699.