**Анотації навчальних курсів кафедри теоретичної фізики та астрономії**

**Бакалаврська програма**

**Методи математичної фізики (**2-3 рік навчання, обов’язковий, 6 кредитів).

Читає курс: професор Адамян В.М.

Курс охоплює початковий мінімум засобів і прийомів математичної фізики. У першій частині розглядаються задача Коші для лінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних у необмеженому просторі та поняття функції Гріна, за допомогою якої розв’язування задачі Коші зводиться до квадратур. Основна увага зосереджується на класичних і найбільш розроблених рівняннях теплопровідності, дифузії і хвильовому рівнянні.  Паралельно вивчаються необхідні елементи теорії узагальнених функцій і теорії інтегральних перетворень Фур’є.

Друга частина починається викладом елементів варіаційного обчислення для функціоналів різних типів; далі розглядаються типові методи розв’язування крайових задач математичної фізики для систем з розподіленими параметрами, зокрема метод Фур’є. Детально висвітлюються властивості власних значень і власних функції крайової задачі Штурма-Ліувілля, варіаційні методи їх аналізу, ортогональні розкладення за власними функціями цієї задачі.

**Класична механіка** **(**2-3 рік навчання, обов’язковий, 7 кредитів).

Читає курс: доцент Олєйнік В.П.

Курс знайомить студентів з основами класичної механіки.

Складається з шести частин:

– основні принципи механіки Лагранжа;

– закони збереження та властивості симетрії механічних систем;

– зіткнення і розсіювання частинок;

– малі коливання;

– рух твердого тіла;

– механіка Гамільтона.

Основна увага приділяється:

– введенню базових понять і законів класичної механіки в рамках формалізмів Лагранжа та Гамільтона, що лежать в основі сучасної теоретичної фізики;

– найважливішим методам дослідження математичних моделей, які ведуть до точних або наближених результатів обчислень;

– прикладам застосування сучасних методів дослідження до механічних явищ.

**Квантова Механіка** (3-4 рік навчання, обов’язковий, 6-7 кредитів).

Читає курс: професор Кулінський В.Л.

Курс присв'ячений основам нерелятивістської квантової механіки її фізичним основам та необхідному математичному апарату. У першій частині подаються постулати квантової механіки. Їх застосування продемонстровано на простіших квантових системах (системах із скінчено вимірним простором станів, типа q-біта) та задачах, які можуть бути точно вирішені (атом водню і гармонічний осцилятор). Головним чином застосовується операторний підхід, заснований на інтегралах руху та співвідношеннях комутації операторів. У останніх лекціях викладаються основні поняття та результати квантової інформатики та комунікації (нерівності Бела, no-clonning теорема, алгоритм Дойча). Друга частина присв'ячена наближеним методам квантової механіки, головним чином теорії збурень, та їх застосуванню до опису реальних квантових систем: атом взаємодіючий з електромагнітним полем, багатоелектронні атоми та молекули. Викладаються елементарні методи теорії симетрії, які використовуються для аналізу спектрів складних систем.

**Електродинаміка** (3 рік навчання, обов’язковий, 7 кредитів**).**

Читає курс: професор Маломуж М.П.

Знайомить студентів з основами класичної електродинаміки.

Він складається з трьох основних розділів:

1. Вакуумна Електродинаміка;
2. Спеціальна теорія відносності;
3. Електродинаміка неперервних середовищ.

Основна увага приділяється:

1. формулюванню фізичних принципів  Електродинаміки;
2. опануванню властивостей симетрії електродинамічних явищ;
3. фізичному змістові тих понять, які використовуються в Електродинаміці і

мотивації їх введення;

1. побудові рівнянь Електродинаміки у згоді з сформульованими

принципами та властивостями симетрії;

5. обговоренню зв’язку результатів дослідження електромагнітних явищ  на

основі рівнянь Максвела з експериментальними результатами.

**Механіка суцільних середовищ** (3 рік навчання, обов’язковий, 2 кредити).

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс направлений на надання студентам знань, розуміння, уміння та навичок, необхідних для фізико-математичного моделювання та кількісного аналізу фізичних процесів у макроскопічних системах у наближенні суцільного середовища. Викладаються основні поняття і положення моделі суцільного середовища; математичний апарат та методи побудови математичних моделей класичних систем з нескінченною кількістю ступенів вільності; кінематичні та динамічні характеристики суцільних середовищ; загальні закони руху суцільних середовищ; основи лінійної теорії пружності; основи гідродинаміки рідин і газів; постановка крайових задач у класичній теорії пружності та гідромеханіці; застосування теорії до задач про поширення звуку та гідродинамічні течії; особливості фізичних явищ у в’язких рідинах і газах.

**Термодинаміка і статистична фізика** (4 рік навчання за напрямами підготовки 6.040203 Фізика, 6.040206 Астрономія, обов’язковий, 7 кредитів).

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс направлений на надання студентам знань, розуміння, уміння та навичок, необхідних для кількісного аналізу природних явищ та фізичних процесів у макроскопічних системах з використанням термодинамічних та статистичних методів сучасної фізики. Викладаються основні поняття, положення і закони термодинаміки; математичний апарат та методи для розв’язання основної задачі термодинаміки; основні поняття, положення та метод канонічних ансамблів Гіббса статистичної фізики; типи і властивості класичних і квантових статистичних розподілів; їх застосування для аналізу теплових рухів у макроскопічних системах, обчислення статистичних середніх та побудови статистичної термодинаміки таких систем; елементи теорії фазових переходів та критичних явищ; елементи теорії флуктуацій та нерівноважних процесів; найпростіші статистичні моделі конденсованого середовища.

**Термодинаміка і статистична фізика** (4 рік навчання за напрямом підготовки 6.040204 Прикладна фізика, обов’язковий, 6 кредитів)

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс направлений на надання студентам знань, розуміння, уміння та навичок, необхідних для кількісного аналізу природних явищ та фізичних процесів у макроскопічних системах з використанням термодинамічних та статистичних методів сучасної фізики. Викладаються основні поняття, положення і закони термодинаміки; математичний апарат та методи для розв’язання основної задачі термодинаміки; основні поняття, положення та метод канонічних ансамблів Гіббса статистичної фізики; типи і властивості класичних і квантових статистичних розподілів; їх застосування для аналізу теплових рухів у макроскопічних системах, обчислення статистичних середніх та побудови статистичної термодинаміки таких систем; елементи теорії фазових переходів та критичних явищ; елементи теорії флуктуацій; найпростіші статистичні моделі конденсованого середовища.

**Додаткові розділи квантової механіки** (4 рік навчання, вибірковий, 4 кредити)

Читає курс: професор Адамян В.М.

У курсі розглядаються фундаментальні ідеї і методи  квантової теорії та їх застосування, які неповно або недостатньо повно представлені у нормативних обов’язкових дисциплінах  теоретичної фізики. Курс включає

* елементи релятивістської квантової механіки, зокрема теорія Дірака та її фізичні наслідки;
* фізичні наслідки симетрії, яка притаманна фізичним законам у формі фундаментальних рівнянь та конкретним фізичним об’єктам;
* принципи квантової статистичної механіки і метод вторинного квантування;
* основні положення мікроскопічної теорії надплинності і надпровідності та квантової теорії магнетизму.

**Фінансова кінетика** (4 рік навчання, вибірковий, 2 кредити)

Читає курс: професор Адамян В.М.

Курс присвячено дослідженню процесів на фінансових ринках на основі специфічного синтезу методів стохастичного аналізу та математичної фізики, який відомий під назвою фінансової математики. В курсі уводяться поняття  первісних та похідних фінансових активів, їх характеристики, розглядаються базові ринкові процеси та гіпотези, елементи теорії фінансового ризику. Центральне місце в цьому курсі займають проблеми визначення ціни похідних фінансових продуктів (деривативів) як функцій від часу і поточної ціни відповідних первісних активів. На основі підходу Блека-Шоулза  вивчається,  як такі проблеми можуть бути зведеними до стандартних задач математичної фізики.  Показується, як, застосовуючи аналітичні і чисельні методи, знаходити значення ціни Європейських та Американських опціонів, включаючи опціони на активи  з виплатою дивідендів, бар’єрні опціони, деякі екзотичні опціони, опціони на бонди тощо, оцінювати вплив комісійних виплат на ціну опціонів.

**Ділова англійська мова** (2 рік навчання, вибірковий, 1 кредит)

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс направлений на ознайомлення студентів із загальноприйнятими в англомовному бізнесовому середовищі термінологією, діловою документацією і процедурами, формування у них відповідних навичок правильного письмового й усного мовлення. Вивчаються такі теми: формат ділового листа; типи ділових листів; мова оголошень; персональні дані, резюме та супроводжувальний лист; купівля, продаж та супроводжувальна документація; гроші, грошові операції, позики; транспорт та вантажоперевезення; страхування; експорт та імпорт; митні процедури та документація; комерційні терміни Міжнародної торгової палати в міжнародній торгівлі.

**Вибрані задачі теоретичної фізики** (4 рік навчання, вибірковий, 4 кредити)

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс направлений на оволодіння студентами типових методів розв’язування задач із вибраних розділів теоретичної фізики, формування у студентів поглибленого розуміння цих розділів та розвиток практичних математичних навичок. Розглядаються постановка і типові методи розв’язування крайових задач електродинаміки і гідродинаміки; постановка і методи розв’язування задач дифракції електромагнітних хвиль; задачі про поширення електромагнітних хвиль в напрямних системах; гідродинамічні течії та задачі обтікання. Також вивчаються основні властивості циліндричних функцій; основні властивості поліномів Лежандра; метод інтегральних перетворень; основні властивості аналітичних функцій; метод комплексного потенціалу для плоских двовимірних задач; метод конформних перетворень.

**Квантова теорія поля** (4 рік навчання, вибірковий, 2 кредити)

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс направлений на оволодіння студентами основних положень теорії квантових полів та методів кількісного аналізу процесів взаємодії між ними. Викладаються формалізм Лагранжа та теорема Нетер для побудови рівнянь руху класичних полів та динамічних інваріантів останніх; процедура квантування електромагнітне поля, основні характеристики фотонів та системи фотонів; рівняння руху та процедура квантування скалярних полів; рівняння Дірака, його основні властивості та процедура квантування діраківського поля; проблеми опису процесів взаємодії квантових полів та поняття матриці розсіяння; методи обчислення матричних елементів матриці розсіяння та діаграмна техніка Фейнмана; елементи теорії перенормувань.

**Вибрані задачі теоретичної фізики** (4 рік навчання, вибірковий, 1 кредит)

Читає курс: професор Маломуж М.П.

       Знайомить студентів з основними методами сучасних досліджень у теоретичній фізиці.

       Він включає наступні методи «Теоретичної Механіки», «Електродинаміки» та «Квантової механіки»

* Визначеня рівноважних та метастабільних  орієнтацій двох однакових заряджених відрізків та кілець, центри яких вважаються закріпленими;
* Малі коливання відрізків навколо рівноважних орієнтацій з попередньої задачі;
* Випромінювання електромагнітних хвиль попередньою системою, яка знаходиться у коливальному стані;
* Визначення магнітного поля, утвореного підково-подібним магнітом випромінювання електромагнітних хвиль магнітним камертоном.
* Утворювання кластерів аніонами та катіонами однакового радіусу у двовимірному та тривимірному просторі;
* Частоти нормальних коливань димерів та тетраметрів у дво- та тривимірному просторі; рівноважну конфігурацію молекул води;
* Властивості димерів води;
* Розподіл заряду на поверхні деформованої сфери;
* Малі коливання зарядженої сфери та границя її стійкості.

**Теоретична фізика для математиків** (3 рік навчання, обов’язковий, 4 кредити)

Читає курс: доцент Олєйнік В.П.

Детально знайомить студентів спеціалізації «Класична математика» з

найважливішими розділами теоретичної фізики «Класична механіка»,

«Електродинаміка», а також з основними ідеями та результатами «Квантової

механіки» і «Статистичної фізики». У класичній механіці вводяться поняття

і визначення, що лежать у основі сучасної теоретичної фізики.

Електродинаміка є теорією електромагнітного поля, що дає нам більше 95%

інформації про навколишній світ. Квантова механіка знайомить з

принципами побудови моделей атомів і молекул. Статистична фізика описує

системи багатьох однакових частинок, що підпорядковуються законам

класичної або квантової фізики.

**Загальна астрономія** (1 рік навчання, обов’язковий, 2 кредити).

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс є вступним курсом астрономічного циклу дисциплін. Одночасно він дає можливість студентам, що обирають спеціалізацію «фізика», ознайомитися із базовими уявленнями по Всесвіт на різних відстанях від спостерігача: від навколоземного простору до найвіддаленіших об’єктив – квазарів; та на масштабах від елементарних частинок до скупчень галактик, войдів, тощо. Курс охоплює видимі та істинні рухи небесних тіл, планети, Сонце та сонячна система, зорі, галактики, еволюція окремих елементів та Всесвіту в цілому, а також методи дослідження астрономічних об’єктів. Для студентів, що обирають спеціалізацію «астрономія» цей курс є оглядовим, кожна з тем у подальшому навчанні детально розглядається в окремому курсі.

**Астрофізика** (3 рік навчання, вибірковий, 2 кредити).

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс «Астрофізика» призначено для студентів, які обрали спеціалізацію «фізика». У курсі вивчаються прилади, методи та досягнення сучасної астрофізики, а також розвиток спостережної бази та способи зберігання і передачі інформації. Майбутнім фізикам цей курс дозволяє ознайомитися з різноманіттям фізичних умов, що спостерігаються у Всесвіті, в тому числі і з такими, які в земних лабораторіях створити неможливо. Окремо розглядаються фізика і еволюція планет і планетних систем, зір, галактик, релятивістських об'єктів (білих карликів, нейтронних і кваркових зірок, чорних дір) і всього Всесвіту з урахуванням впливу темної матерії і темної енергії.

**Магнітна гідродинаміка** (3 рік навчання, вибірковий, 2 кредити).

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс (за звичай назва дисципліни скорочується до абревіатури МГД) призначено для студентів, які обрали спеціалізацію «астрономія». Предметом вивчення курсу є рух провідної речовини – плазми – у магнітному полі. Студенти отримують фундаментальні знання з МГД, вчаться користуватися методами МГД в астрофізичних процесах, при вивченні зоряних атмосфер та газових потоків у космосі, розрахувати конфігурацію магнітного поля, визначати умові вмороженості магнітного поля, характер еволюції магнітогідродинамічного середовища, визначати магнітну в’язкість середовища, характерний час дифузії і швидкість дифузії магнітного поля.

**Теоретична астрофізика** (4 рік навчання, вибірковий, 3 кредити).

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс призначено для студентів, які обрали спеціалізацію «астрономія». У курсі вивчаються класичні та сучасні теорії щодо джерел зоряної енергії, фізичних процесів у фотосферах та атмосферах зір на різних стадіях еволюції, особливості формування неперервного спектру та виникнення ліній поглинання та випромінювання; методи визначення хімічного складу зір, дослідження внутрішньої будові зір, а також теоретичні методи вивчення туманностей та міжзоряного середовища. Студенти засвоюють особливості формування неперервного спектру, вид рівнянь переносу і неперервності та методи їхнього розв’язування; гіпотезу про локальну термодинамічну рівноваги ЛТР, її наслідки та використання; моделі фотосфер; особливості збудження та іонізація атомів, поглинання та випромінювання; явища, що впливають на контури спектральних ліній; методи врахування відхилень від умов локальної термодинамічної рівноваги; методи визначення температур, густини і хімічного складу зоряних атмосфер; теоретичне співвідношення маса-світність-радіус-хімічний склад зір; джерела зоряної енергії на різних стадіях еволюції; рівняння внутрішньої будови та моделі зір; методи визначення фізичних умов в газових туманностях та міжзоряному середовищі.

**Релятивістська астрофізика** (4 рік навчання, вибірковий, 2 кредити).

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс призначено для студентів які обрали спеціалізацію «астрономія». В ньому вивчаються астрономічні явища та небесні тіла в умовах, для яких неможливо застосовувати закони класичної механіки та закон тяжіння Ньютона. До таких умов відносяться: швидкість руху, що близька до швидкості світла, надзвичайно високі значення тиску і енергії, а також гравітаційного потенціалу. Студенти 4-го курсу ознайомлюються з процесами формування, спостережуваними проявами та фізикою релятивістських об'єктів зоряних мас – білих карликів, нейтронних та кваркових зір, чорних дір. Детально розглядаються питання будови всіх цих релятивістських об'єктів, обґрунтовуються значення граничних мас для білих карликів та нейтронних зір, а також особливості еволюції цих об'єктів у подвійних системах.

**Методи обчислень** (1 рік навчання, обов'язковий, 2 кредити)

Читає курс: доцент Базєй О.А.

Курс містить теми:

• Згладжування, апроксимація та лінеаризація функцій.

• Метод найменших квадратів.

• Интерполювання таблично заданих функцій:

поліном Лагранжа, поліном Ньютона, поліном Стірлінга, поліном Бесселя.

Диференціювання по таблиці.

• Чисельний розв'язок рівнянь: метод діхотомії, простих ітерацій, Ньютона.

• Пошук мінімума функції: метод золотого перетину, метод парабол.

• Чисельні методи визначення риманового інтегралу: метод Монте-Карло, трапецій, прямокутників, Сімпсона.

• Чисельний розв'язок звичайних диференціальних рівнянь: метод Ейлера, метод прогнозу та корекції, методи Рунге-Кутта.

• Розкладання функцій в ряд Фур'є.

Необхідні попередні знання та вміння: курс математичного аналізу, базові навичкі роботи на комп'ютері, використання електронної форми спілкування.

**Загальна астрометрія** (2 рік навчання, вибірковий, 6 кредитів)

Читає курс: доцент Базєй О.А.

Курс містить теми:

• Небесна сфера.

• Системи координат на небесній сфері.

• Зв'язок між системами координат.

• Координати на земній поверхні.

• Системи відліку часу.

• Вимір великих проміжків часу.

• Добове обертання небесної сфери.

• Астрономічна рефракція.

• Аберація: добова, річна, планетна.

• Паралакс: добовий та річний. Власний рух зір.

• Прецесія та нутація.

• Редукція спостережень. Приведення на видиме, істинне та середнє місце.

• Проблеми встановлення інерціальної системи координат.

• Реалізація інерціальної системи координат. Фундаментальна система небесних координат.

• Меридіанний метод визначення небесних координат. Абсолютний та відносний методи визначення координат.

• Фотографічний метод визначення небесних координат. Метод Тернера.

• Зоряні каталоги.

Необхідні попередні знання та вміння: курс загальної астрономії, курс математичного аналізу, курс загальної фізики, базові навичкі роботи на комп'ютері, використання електронної форми спілкування.

**Небесна механіка** (3 рік навчання, вибірковий, 8 кредитів).

Читає курс: доцент Базєй О.А.

Курс містить теми:

• Задача N тіл. Інтеграли збереження.

• Задача 2-х тіл. Рівняння траєкторії. Класифікація руху в задачі 2-х тіл. Уточнений закон Кеплера.

• Елементи орбіти. Обчислення положення небесного тіла на еліптичній орбіті. Рівняння Кеплера.

• Обчислення положення небесного тіла на інфінітних орбітах.

• Обмежена задача трьох тіл. Рівняння руху. Інтеграл Якобі.

• Поверхні Хілла. Особливі точки поверхонь Хілла. Точки Лагранжа. Критерій Тіссерана.

• Обчислення елементів орбіт. Метод Гауса. Метод Вяйсяля обчислення елементів колової орбіти. Метод Ольберса обчислення елементів параболічної орбіти.

• Задача про відносний рух N тіл. Рівняння Лагранжа. Збурений рух. Негравітаційні збурення.

Необхідні попередні знання та вміння: курс загальної астрономії, курс математичного аналізу, курс методів обчислень, курс диференціальних рівнянь, курс класичної механіки, базові навичкі роботи на комп'ютері, використання електронної форми спілкування.

**Радіоастрономія та зоряна астрономія** (4 рік навчання, вибірковий, 3 та 3.5 кредити).

Читає курс: доцент Марсакова В.І. та старший викладач Мурніков Б.О.

У навчальній дисципліні поєднані питання, що стосуються, перш за все, великомасштабних космічних процесів та явищ. Студенти опановують радіоастрономічні та зоряно-статистичні методи вивчення Всесвіту. Теми першої частини курсу присвячені методам і результатам радіоастрономічних досліджень. Це виникнення та роль радіоастрономії в астрофізиці; основні поняття радіоастрономії; температура та густина потоку випромінювання; поляризація радіовипромінювання; типи радіотелескопів та антен; апертурний синтез; механізми радіовипромінювання; спектри радіоджерел; радіоастрономія Сонячної системи; галактична та позагалактична радіоастрономія.

Друга частина курсу присвячена вивченню структури та еволюції нашої Галактики, шляхом досліджень характеристик її типових об’єктів – зір, зоряних скупчень та міжзоряного газу. Розглядаються методи визначення відстаней до цих об’єктів, кінематичних характеристик, мас та інш, а також методи фізичного моделювання структури та руху зоряних систем.

**Фізичні змінні та подвійні зорі** (4 рік навчання, вибірковий, 2 кредити).

Читає курс: доцент Марсакова В.І.

Курс знайомить студентів з проблематикою вивчення фізичних змінних та подвійних зір. Обговорюється зв’язок досліджень змінних зір з проблемами визначення відстаней у Всесвіті, визначення фізичних характеристик зір та розвитку теорій зоряної еволюції, дослідженнями екзопланет, зоряних скупчень та галактик. Також розглядаються сучасні методи досліджень, спостережень та їх обробки, принципи та методи класифікації фізичних змінних та подвійних зір. Студенти отримують практичні навички у: спостереженнях змінних зір та їх обробці, використанні спостережень даних автоматичних оглядів неба та міжнародних баз даних; вчаться розрізняти найпоширеніші типи змінних зір за кривою блиску; знаходити деякі фізичні параметри пульсуючих зір та подвійних зоряних систем; оцінювати деякі еволюційні характеристики тісних взаємодіючих подвійних зір.

**Багатокольорова фотометрія** (4 рік навчання, вибірковий, 1.5 кредити).

Читає курс: доцент Марсакова В.І.

Курс присвячений дослідженням космічних об’єктів, що базуються на спостереженнях у різних спектральних смугах та отримані за допомогою різних приймачів випромінювання. Головною метою курсу є навчитись відтворювати розподіл енергії в спектрі зорі (або іншого випромінюючого космічного об’єкту) за багатокольоровими фотометричними спостереженнями. Розглядаються криві спектральної чутливості різних фотометричних приладів, види фотометричних систем та їх характеристики, спотворення розподілу енергії в спектрі внаслідок міжзоряного поглинання, атмосферних ефектів, впливу оптичної системи та методи врахування цих ефектів. Також вивчаються криві розподілу енергії в спектрі абсолютно чорного тіла та причини відхилення від цього розподілу у спектрах реальних зір та інших космічних об’єктів. Студенти навчаються користуватися фотометричними величинами, що описують випромінювання небесних тіл; визначати температури та інші характеристики зір за багатокольоровими фотометричними спостереженнями, приводити спостереження до однієї зі стандартних фотометричних систем.

**Спеціальні функції** (3 рік навчання, вибірковий, 3 кредити).

Читає курс: доцент Марсакова В.І.

У курсі розглядаються різні види спеціальних функцій, що знаходить застосування в різних розділах астрономії та фізики. Особлива увага приділяється гамма-функціям, що часто фігурують в різних задачах статистики, та сферичним функціям, які знаходять широке застосування у розрахунках руху навколоземних космічних об’єктів, а також в багатьох розділах астрофізики, та деяким іншим. Для всіх спеціальних функцій розглядаються їх властивості, особливості розкладення в ряди за ними, приклади їх застосування.

**Планування екстремальних експериментів** (3 рік навчання, вибірковий, 1 кредит).

Читає курс: доцент Марсакова В.І.

Цей курс сприяє поглибленню студентами знань з математичної статистики та обробки результатів експериментів (спостережень). Студенти знайомляться з методами планування експериментів для найскорішого досягнення бажаних результатів, відпрацьовують навички у статистичній обробці даних та настанові експериментів (спостережень).

**Загальна астрофізика** (3 рік навчання, вибірковий, 9 кредитів).

Читає курс: старший викладач Мурніков Б.О.

Астрофізика – найбільший розділ сучасної астрономії. Великий обсяг матеріалу вимушує теоретичним проблемам присвячувати окремий курс «Теоретична астрофізика». Всі інші питання розглядаються в курсі «Загальна астрофізика». В ньому студенти вивчають фізичні основи та головні методи астрофізичних досліджень, будову та призначення телескопів, призначення та будову приймачів випромінювання, устрій спектральних приладів, радіоастрономічні прилади, загальні відомості про Сонце, устрій та еволюцію тіл Сонячної системи, фізичні параметри та еволюцію зір, устрій та еволюцію міжзоряного середовища, зоряних систем та Всесвіту в цілому.

Студенти також мають навчитися ототожнювати ділянки зоряного неба на астрономічних негативах, проводити візуальні фотометричні спостереження зір на астронегативах, переходити від однієї фотометричної системи до іншої, визначати довжини хвиль в спектрах небесних тіл, визначати спектральний клас зір, пояснити сутність основних фізичних процесів у небесних тілах, розв’язувати інші астрофізичні задачі.

**Астропрактикум** (4 рік навчання, вибірковий, в 7-му семестрі – 6 кредитів, в 8-му семестрі – 5 кредитів).

Читає курс: старший викладач Мурніков Б.О.

На Астропрактикумі студенти здобувають практичні навички обробки астрономічних спостережень. Зокрема, вони вчаться: визначати динамічні паралакси зір, визначати елементи орбіти візуально- та спектрально-подвійних зір, враховувати поглинання світла в земній атмосфері та визначати коефіцієнт екстинкції, обчислювати променеві швидкості зір, враховувати рух Землі при цих обчисленнях, визначати розподіл енергії в спектрах зір, обробляти радіоастрономічні спостереження, використовувати ПЗЗ-приймачі для проведення спостережень, виконувати первинну обробку ПЗЗ спостережень, визначати зоряні величини та будувати криві блиску змінних зір за допомогою стандартних пакетів програм, проводити аналіз спектрів зір різних спектральних класів, визначати точність даних, отриманих зі спостережень, користуватися програмами, що відтворюють вигляд неба.

**Астроспектроскопія** (4 рік навчання, вибірковий, 2.5 кредити).

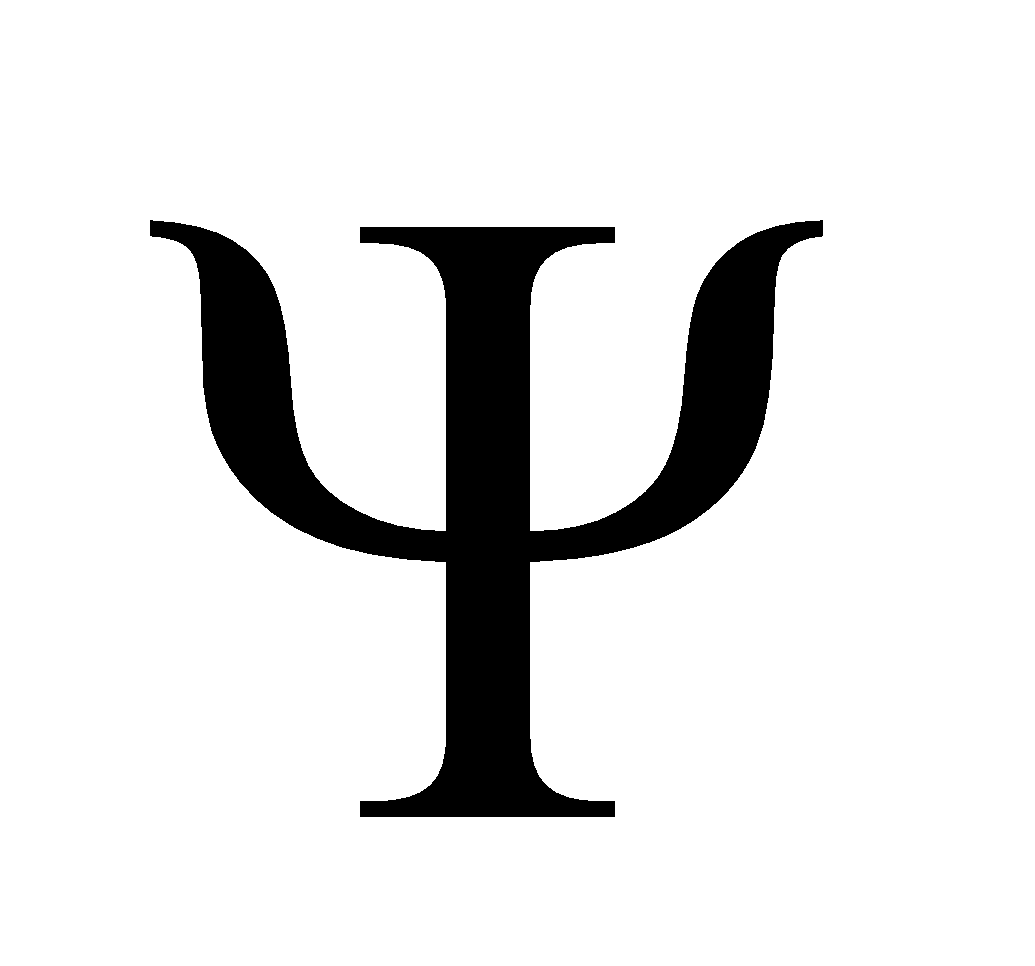
Читає курс: старший викладач Мурніков Б.О.

Курс присвячений принципам роботи спектральних приладів, котрі використовуються в астрофізиці. Він читається у восьмому семестрі підготовки бакалаврів. Розглядаються такі питання: утворення спектра; основні характеристики спектральних приладів, у тому числі фотометричні характеристики; заломлення світла в призмі; типи призмових приладів; принципи дії дифракційних грат та устрій дифракційних приладів; призначення та принципи дії приладів високої роздільної сили. Студенти навчаються: розраховувати хід променів у призмовому приладі; розраховувати дифракційну картину від однієї щілини та багатьох щілин; розраховувати профіль дифракційних грат із концентрацією світла у заданому порядку.

**Магістерська програма**

**Основи фізики надпровідності** ( вибірковий, 1 кредит)

Читає курс: професор Кулінський В.Л.

Курс присв'ячений викладеню основ теорії низькотемпературної надпровідності. Показаний розвиток ідей у історичній перспективі. Акцент зроблено на прогресі теорії завдяки відкриттю нових експериментальних фактів (ефект Мейснера-Оксенфельда, поведінка термодинамічних характеристик таких як ентропія та теплоємність, явище квантування магнітного потоку, ізотопічний ефект та інш.), починаючи з електродинамічної теорій Лондонів та термодинамічної - теорії Гінзбурга-Ландау. Наприкінці курсу розглядаються основи мікроскопічного підходу (елементи теорії Бардіна-Купера-Шріфера). Курс побудовано з тим, щоб показати як основні закони відомі студентам з курсів електродинаміки, термодинаміки та квантової механіки працюють у реальному феномені надпровідності.

**Комп’ютерне моделювання фізичних процесів (в середовищі Wolfram Mathematica)** (обов’язковий, 4 кредити).

Читає курс: професор Кулінський В.Л.

Курс націлений на здобуття студентами навичок аналізу фізичних явищ за допомогою комп’ютерного моделювання. Основним інструментом є середовище Wolfram Mathematica яке використовується для вивчення основних алгоритмів та чисельних методів (метод скінчених різниць, метод Бубнова-Гальоркіна, метод скінченних елементів та інш), та дає багатофункціональний інтерфейс для представлення результатів (генерація звітів, статей та презентацій). Студенти мають змогу відтворити задачі з попередніх курсів ММФ, Електродинаміки, Квантової Механіки та інш за допомогою засобів чисельного експерименту та візуалізації результатів.

**Нерівноважна статистична термодинаміка** (вибірковий, 4 кредити).

Читає курс: професор Кулінський В.Л.

Курс містить елементи теорiї випадкових процесiв та її застосуванню у нерiвноважнiй стат. фiзицi. Основна увага приділяється побудовi та основним методам рiшення кiнетичного рiвняння. Демонструється iєрархiя та взаємозв’язок мiж основними марковськими процесами (вiнеровський процес, процес Орнштейна-Уленбека, бiлий шум) на прикладi випадкового блукання. Викладаються: теорiя лiнiйної реакцiї Кубо (класичний i квантовий випадки), флуктуацiйно-дисипативна теорема, основні властивості та застосування двочасових функцiй Грiна для опису кінетичних характеристик систем.

**Вибрані задачі статфізики та квантової теорії поля** ( вибірковий, 2 кредити).

Читає курс: професор Кулінський В.Л.

В курсі викладається елементи діаграмної техніки на прикладі моделі Ізинга, точне рішення Онзагера моделі Ізинга методом трансфер-матриці та її ферміоне представлення. Розглядаються питання пов’язані із конформною симетрією критичних флуктуацій, симетрією кореляційних функцій. Продемонстровано тісний зв’язок проблем статистичної механіки із задачами теорії поля.

**Теорія елементарних частинок** ( вибірковий, 4.5 кредити).

Читає курс: доцент Сушко М.Я.

Курс напрямлений на формування у студентів системи компетентностей, що включають знання, розуміння, уміння та навички кількісного опису фундаментальних структурних елементів матерії і взаємодій між ними в рамках калібрувальних теорій та спонтанного порушення локальної калібрувальної інваріантності. Викладаються основні результати раннього періоду розвитку фізики елементарних частинок; сучасні уявлення про фундаментальні структурні елементи матерії, їх характеристики та організацію; основні характеристики та властивості симетрії сильної взаємодії; складові моделі адронів; поняття локальної калібрувальної інваріантності та калібрувальних полів Янга–Міллса; основні положення квантової хромодинаміки; основні характеристики та властивості симетрії слабкої взаємодії; принцип спонтанного порушення симетрії та механізм Хіггса генерації мас частинок; основні положення стандартної моделі електрослабкої взаємодії Вайнберга–Салама.

**Фізика води та водних розчинів біомолекул** (обов’язковий, 3 кредити).

Читає курс: професор Маломуж М.П.

      Знайомить студентів з основними результатами сучасних досліджень з фізики води, а також з тією роллю, яка відіграє вода у виникненні і підтримці життя теплокровних.

       Він включає: основні термодинамічні та кінетичні властивості води, а також характер поведінки води в електричному та магнітному полях, фізичну природу міжмолекулярної взаємодії у воді, зокрема, сучасний погляд на природу водневих зв’язків, особливості мікроструктури води, які породжуються процесами кластеризації молекул, специфіку зміни властивостей води з температурою;

які властивості води відіграють ключову роль у виникненні житті на Землі, а також у його підтримці та розвитку, розуміти фізичне походження границь існування живої матерії, уявляти у який спосіб відбувається саморегуляція робочої температури різних органів та ступеня кислотності робочого середовища.

**Фізична гідродинаміка** (вибірковий, 3 кредити).

Читає курс: професор Маломуж М.П.

      Знайомить студентів з основними результатами теорії теплових гідродинамічних флуктуацій, а також з її застосуваннями до проблем молекулярної динаміки.

      Він включає рівняння гідродинаміки, методи побудови кореляційних функцій ейлерових та лагранжевих змінних гідродинаміки, властивості авто кореляційної швидкості молекул води, особливості складових коефіцієнту самодифузії молекул води – хаотичного локального перемішування молекул та колективного переносу, специфіку самодифузії молекул аргону та води, зокрема, характер їх температурної залежності на лінії співіснування, прояв двох найважливіших складових транспорту молекул рідини у поведінці середньоквадратичного зміщення молекул води у комп’ютерних експериментах, некогерентному розсіюванні повільних нейтронів, діелектричній релаксації тощо.

**Додаткові розділи квантової теорії твердого тіла** (обов’язковий, 2 кредити).

Курс читає: професор Адамян В.М.

Предметом вивчення цієї навчальної дисципліни є питання і спеціальні моделі квантової теорії твердого тіла,  які складають теоретичну основу  наноелектроніки і спінтроніки.

Її інформаційний обсяг включає

* особливості електронного транспорту у нанопристроях, зокрема, балістичні і дифузійні режими провідності,  квантові інтерференційні, теплові і термоелектричні ефекти у нанопровідниках і наносхемах,
* обчислення транспортних характеристик нанопровідників і квантових інтерференційних польових нанотранзисторів;
* густини електронних і фононних станів нанопровідників і півпровідників, зокрема графену і вуглецевих нанотрубок;
* гігантський магнетоопір у нанорозмірних гетероструктурах,
* поняття спінової дифузії  і спінового струму,
* спінові клапани, спінові транзистори на основі ефекту електро-спінової модуляції.

**Квантова інформатика** (обов’язковий, 4 кредити).

Курс читає: професор Адамян В.М.

В курсі розглядаються основні принципи квантової інформатики та квантові алгоритми, які на протязі останніх двадцяти років тривко вкоренилися у інформатиці і зараз становлять фундамент для подальшого розвитку інформаційних технологій на основі квантових логічних схем і алгоритмів. В ньому вивчаються

* особливості станів квантового  аналогу класичного біту – кубіту і стани системи з декількох і багатьох кубітів;
* специфіка вимірів станів системи кубітів;
* особливості операторів, що здійснюють перетворення станів кубітів і обмеження квантових маніпуляцій, зокрема теорема про неклонування;
* ефективні квантові алгоритми, включаючи алгоритми Дойча-Йожи, Гровера, Саймона, Шора;
* елементи квантової криптографії і протоколи безпечної передачі інформації по квантовим каналам зв’язку;
* суміжні питання: парадокс Ейнштейна-Подольского-Розена, нерівність Белла;
* шляхи фізичної імплементації квантових алгоритмів.

**Статистична термодинаміка незворотних процесів** (вибірковий, 4.5 кредити)

Читає курс: професор Маломуж М.П.

       Знайомить студентів з основами нерівноважної термодинаміки.

        Він включає: формування основних уявлень термодинаміки незворотних процесів, локальну структуру законів збереження і принципи побудови рівнянь гідродинаміки, означення термодинамічних сил та потоків, виробництво ентропії, введення кінетичних коефіцієнтів та формулювання принципу симетрії Онсагера для кінетичних коефіцієнтів, основи теорії лінійної реакції Кубо, зв'язок кінетичних коефіцієнтів з кореляційними функціями потоків, рівняння гідродинаміки неідеальної рідини, вимогу симетрії тензору натягу, лінеаризовану форму рівнянь гідродинаміки, поздовжні та вихрові збудження, розповсюдження звуку в рідинах і газах, декремент його затухання, поверхневі хвилі: гравітаційні, капілярні і хвилі Релея, гідродинаміку бінарних розчинів та особливості розповсюдження в них звуку та тепла, врахування внутрішніх степенів свободи, гідродинаміку рідких кристалів та суспензій.

**Теорія фазових переходів** (вибірковий, 2 кредити)

Читає курс: професор Маломуж М.П.

    Знайомить студентів з основами фізики фазових переходів першого і другого роду.

       Основна увага в спецкурсі приділяється:

1. формулюванню основних понять теорії фазових переходів;
2. ознайомленню з основами термодинамічної теорії фазових переходів;
3. теорії Ландау фазових переходів другого роду;
4. побудові основ флуктуаційної  теорії фазових переходів, гамільтоніан Гінзбурга-Ландау;
5. ознайомленню з  масштабною і конформною симетрією флуктуцій;
6. побудові основ методу ренормгрупи;
7. розрахунку критичних показників за допомогою теорії збурень;
8. рівняння стану системи в околі критичної точки, канонічний параметр порядку і канонічний формалізм опису критичних явищ.

**Форми представлення наукових досліджень** (обов’язковий, 5 кредити)

Читає курс: доцент Олєйнік В.П.

Складається з чотирьох розділів:

1. Загальна характеристика наукового дослідження, особливості

прикладних та фундаментальних досліджень з фізики.

2. Етика наукового дослідження: академічна доброчесність, повага до

авторського права та боротьба з проявами академічної нечесності

(плагіатом), заходи попередження випадків плагіату.

3. Підготовка матеріалів наукового дослідження до представлення

(методика роботи з документальними джерелами інформації, підготовка

списку бібліографічних джерел, робота над рукописом матеріалів власного

наукового дослідження, оформлення ілюстративного матеріалу).

4. Особливості представлення наукового дослідження у формі

презентації та тексту доповіді за темою власного дослідження на науковій

конференції, статті або короткого повідомлення (листа) у науковому

журналі, науково-популярної статті, запиту до Міністерства освіти України

про виконання науково-дослідної роботи. Також розглядаються особливості

підготовки до захисту магістерської роботи, особливості підготовки

дисертації на ступінь кандидата фізико-математичних наук та дисертації на

ступінь доктора фізико-математичних наук.

**Теорія гравітації** (вибірковий, 5 кредити)

Читає курс: доцент Олєйнік В.П.

Знайомить студентів з основами сучасної теорії гравітації.

Включає розділи:

– математичні основи теорії гравітації (алгебраїчні і диференціальні

властивості тензорних величин, тензор кривини Кристофеля-Рімана і його

властивості, задача на власні значення для тензора Вейля, класифікація за

Петровим-Пенроузом);

– основні принципи теорії гравітації Ейнштейна (Загальної теорії відносності

– ЗТВ), рівняння гравітаційного поля у ЗТВ, нерелятивістська межа у ЗТВ;

– сферично симетричне гравітаційне поле у вакуумі (задача Шварцшильда),

теорема Біркгофа і наслідки з неї, чорні діри;

– космологічні моделі Ейнштейна і де-Ситтера, моделі Фрідмана,

Стандартна модель гарячого Всесвіту Гамова, інфляційні моделі, проблеми

еволюції раннього Всесвіту;

– тести спостереження в теорії гравітації, гравітаційні хвилі, найважливіші

астрофізичні об’єкти спостережуваного Всесвіту, темна матерія в галактиках

і скупченнях галактик, темна енергія в космології;

– властивості простору-часу і гравітаційні теорії, теорія гравітації і

елементарні частинки, проблеми об’єднаної теорії поля (теорії всього).

**Релятивістська астрофізика** (вибірковий, 3 кредити)

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс призначено для студентів які обрали спеціалізацію «астрономія». В ньому вивчаються астрономічні явища та небесні тіла в умовах, для яких неможливо застосовувати закони класичної механіки та закон тяжіння Ньютона. До таких умов відносяться: швидкість руху, що близька до швидкості світла, космологічні відстані, надзвичайно високі значення тиску і енергії, а також гравітаційного потенціалу. Магістри засвоюють астрономічні методи перевірки загальної теорії відносності та застосування методів ОТО у дослідженнях унікального релятивістського об'єкту - Всесвіту, його формуванню та подальшої еволюції з урахуванням впливу темної матерії і темної енергії (Λ*CDM* модель).

**Позагалактична астрономія** (вибірковий, 2.5 кредити)

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс призначений для магістрів, які обрали спеціалізацію «астрономія». В ньому вивчаються найбільші елементи Всесвіту, спостережний стан яких є експериментальною базою сучасної космології. Курс складається з двох пов'язаних частин. У першій частині вивчаються галактики, їхня будова, особливості морфології, еволюція морфологічних типів у космологічній шкалі часу. У другій частині вивчаються більш великі структури від Місцевої Групи Галактик до елементів великомасштабної структури Всесвіту – скупчення та надскупчення галактик, їхні основні елементи та морфологія, а також філаменти, галактичні стіни та порожнечі (войди).

**Фізика міжзоряного середовища** (вибірковий, 3 кредити)

Читає курс: професор Панько О.О.

Курс призначено для студентів які обрали спеціалізацію «астрономія». В ньому вивчаються астрономічні прояви та властивості міжзоряного середовища (МЗС) – речовини та полів, що заповнюють простір між зорями та зоряними системами всередині галактик. МЗС та процесу у ньому вкрай важливі на початкових та кінцевих стадіях еволюції зір. До програми курсу входять будова Галактики і загальна характеристика МЗС; його склад (атомарна, молекулярна та пилова складові МЗС, а також електромагніті поля) та взаємодія окремих компонентів, електромагнітне випромінювання МЗС, теплове та нетеплове, фізичні процеси, які відбуваються в умовах наднизьких температур та густин; взаємодія зір та їхніх оболонок із МЗС, газопилові комплекси, області зореутворення, початкові стадії зоряної еволюції.

**Динаміка Сонячної системи** (вибірковий, 3 кредити)

Читає курс: доцент Базєй О.А.

Курс містить теми:

• Закони Кеплера як наслідок законів Ньютона. «Закон» Тіциуса-Боде.

• Будова систем супутників планет-гігантів.

• Система супутників Юпітера. Система супутників Сатурна. Системи супутників Урана та Нептуна.

• Будова Головного поясу астероїдів. Люки Кірквуда. Рух у резонансі.

• Загальна задача 2-х та 3-х тіл. Оптимізація обчислень.

• Розкладення в еліптичному русі. Барицентричні орбіти.

• Планетоїдна задача 3-х тіл. Рівняння руху. Точки лібрації та їх стійкість. Астероїди та супутники-троянці.

• Теорія потенціалу. Приливна деформація. Внутрішня будова супутників планет. Зона Роша. Приливні моменти сил. Приливна еволюція.

Необхідні попередні знання та вміння: курс математичного аналізу, курс диференціальних рівнянь, курс небесної механіки, базові навичкі роботи на комп'ютері.

**Астродинаміка** (вибірковий, 3 кредити)

Читає курс: доцент Базєй О.А.

Курс містить теми:

• Реактивний рух. Рівняння Мещерського. Перша формула Циолковського. Будова ракети. Характеристична швидкість.

• Вихід на траєкторію вільного польоту. Друга формула Циолковського. Гравітаційні втрати. Аеродинамічні втрати. Втрати на керування. Сприятливі фактори ракетного старту.

• Рух у навколоземному просторі. Визначення та вибір орбіти. Використання основних результатів розв’язання задачі двох тіл для визначення руху у навколоземному просторі. Геоцентричний рух. Виведення на орбіту. Невагомість. Поверхневі сили.

• Рух супутника відносно земної поверхні. Форма поверхні Землі. Траса супутника. Траси низьких, полярних та екваторіальних супутників. Траси геосинхронних та геостаціонарних супутників. Збурення руху супутника. Спуск з орбіти.

• Рух у навколосонячному просторі. Сфера впливу планет та наближений метод обчислення траєкторії міжпланетного перельоту.

• Відносні гравітаційні збурення. Сфера дії планети. Сфера Хілла. Сфера тяжіння планети.

• Особливості міжпланетного перельоту. Рух у сфері дії Землі. Геліоцентричній рух поза сферою дії Землі. Гоманівська траєкторія. Рух у сфері дії планети-цілі.

• Гравітаційний маневр у полі тяжіння великих планет. Умови наближення космічного апарату до зовнішніх та внутрішніх планет. Зміна механічних величин під час гравітаційного маневру. Кут розвороту швидкості. Пасивний та активний гравітаційний маневр.

Необхідні попередні знання та вміння: курс математичного аналізу, курс диференціальних рівнянь, курс небесної механіки, базові навичкі роботи на комп'ютері.

**Методика викладання астрономії** (обов'язковий, 1 кредит)

Читає курс: доцент Базєй О.А.

Курс містить теми:

• Загальноосвітнє значення астрономії. Природно-наукове; світоглядне; культурологічне; історичне; загальнолюдське і практичне значення астрономії.

• Засоби викладання астрономії і розподіл годин.

а) Лекції; семінари; практичні роботи; лабораторні; навчальні та виробничі практики.

б) Навчальний план; конспект лекцій; наочні демонстрації; домашні завдання; підготовка до семінарів, навчальних і виробничих практик.

• Лекція як основний засіб отримання знань студентом. Загальна підготовка викладача до лекції; логічна стрункість лекції; історія теми лекції; введення основних понять; структурування лекції.

Різноманіття лекцій.

а) Лекція для студентів різних курсів. Курс загальної астрономії (КЗА) - лекція на 1-му курсі (структура, поняття, формули); перевірка розуміння матеріалу попередніх лекцій (на лекції); лекція в залежності від характеру навчального предмета (загальні курси); лекція на старших курсах (спецкурси та взаємодія з аудиторією); виведення формул та їх аналіз із застосуванням математичної підготовки.

б) Інші властивості лекції у вищих навчальних закладах. Організуючі навички лекції; міждисциплінарні зв'язки; виховні навички; прищеплення методичних навичок; наочний приклад підготовки лекції.

• Практичні заняття, як основа засвоєння лекційного матеріалу. Мета практичних занять і відмінність від лекційних курсів; особливості практичних занять; методи підготовки до практичних занять; структура виконання завдань та звітність; контроль виконання завдань.

Необхідні попередні знання та вміння: курс загальної астрономії, курс математичного аналізу, курс загальної фізики, базові навичкі роботи на комп'ютері.

**Кратні зоряні та планетні системи** (вибірковий, 4 кредити)

Читає курс: доцент Марсакова В.І.

Курс є розширенням і поглибленням проблематики бакалаврського ознайомчого курсу «Фізичні змінні та подвійні зорі» в області багатократних зоряних систем та зір (систем зір) з планетами. У курсі розглядаються аналогії та відмінності методів дослідження у випадках зоряних систем та планетних систем навколо інших зір; методи моделювання з ціллю отримання геометричних та фізичних характеристик цих систем; особливості еволюції кратних зоряних и планетних систем, їх зв’язок з проблемами теорій еволюції поодиноких зір, зокрема хімічно-пекулярних зір; розвиток космогонії планетних систем у зв’язку з сучасними відкриттями екзопланет. Основна увага приділяється практичним навичкам оцінки параметрів кратних систем за даними, отриманих різними астрофізичними методами, в тому числі за допомогою сучасних програмних кодів.

**Теорія подібності** (вибірковий, 4 кредити)

Читає курс: доцент Марсакова В.І.

У курсі розглядається методологія теорії подібності та аналізу розмірності та застосування цих методів в різних розділах астрофізики, таких як планетна астрофізика, визначення основних характеристик зір, астрофізика високих енергій, космології.

**Ядерна астрофізика** (вибірковий, 2.5 кредити)

Читає курс: старший викладач Мурніков Б.О.

Ядерна астрофізика – один із наймолодших розділів сучасної астрономії – досягла великих успіхів у поясненні фізичної природи та еволюції зір та інших об’єктів. Курс знайомить студентів із термоядерними реакціями, що відбуваються у зорях різних типів; реакціями захвату теплових нейтронів, а також з хімічною еволюцією нашої Галактики зокрема і Всесвіту в цілому. Докладно розглядаються: реакції протон-протонного циклу, реакції CNO-циклу, реакції гарячих циклів (Ne-Na, Mg-Al), термоядерний синтез у наднових зорях, процеси захвату повільних нейтронів, особливості хімічного складу зір різних типів, а також особливості хімічної еволюції нашої Галактики і Всесвіту в цілому.

**Геофізика та фізика космічного простору** (вибірковий, 5 кредитів)

Читає курс: старший викладач Мурніков Б.О.

Геофізика вивчає Землю як об’єкт фізичних досліджень. Оскільки наша планета не ізольована у Всесвіті, з геофізикою тісно пов’язані питання, що стосуються космічного оточення Землі. Студенти вивчають методи геофізичних досліджень, фізичні характеристики Землі, її внутрішній устрій та зовнішні оболонки і фізичні поля, а також її зв’язок з іншими тілами і полями Сонячної системи. У навчальну програму входять питання, що стосуються системи Земля – Місяць,гравіметрії,сейсмології,геохронології,геомагнетизму, метеорології, океанології, фізики Місяця, фізики планет Сонячної системи та міжпланетного простору, фізики сонячно-земних зв’язків. Студенти навчаються визначати розташування епіцентра та фокуса землетрусу, визначати енергію поштовхів при землетрусі, обчислювати вік гірських порід за співвідношенням радіоактивних ізотопів, визначати складові магнітного поля Землі за напруженістю, схиленням і нахиленням, обчислювати температуру на різних глибинах за геотермічним градієнтом та розв’язувати інші задачі.