
Директор ІЯД НАН України
академік НАН України
Василь СЛІСЕНКО
01 квітня 2025 р.

ПРОГРАМА
вступного іспиту в аспірантуру
за спеціальністю Е5 «Фізика та астрономія»
Інституту ядерних досліджень НАН України

I. МЕХАНІКА

1. Динаміка точки. Закони Ньютона. Принцип відносності Галілея. Інерційні системи. Відцентрові та коріолісові сили. Узагальнені координати.
2. Закони збереження. Пружні та непружні зіткнення частинок. Застосування законів збереження імпульсу та енергії до пружного зіткнення двох частинок. Перехід від лабораторної системи до системи центра мас, зведена маса. Діаграма імпульсів. Зв'язок між кутами розсіювання у системі центра мас та в лабораторній системі. Закон всесвітнього тяжіння. Рух тіл із змінною масою. Проблема космічних польотів.
3. Динаміка твердого тіла. Закон руху центра тяжіння. Рух тіла, закріпленого на осі. Фізичний маятник. Елементарна теорія гіроскопа.
4. Пружне тіло. Типи деформацій. Пружні напруги. Зв'язок між деформацією та напругою. Пружні контакти ізотропних тіл. Пружні властивості реальних тіл (границя пружності, пластичні деформації).
5. Гідродинаміка. Стаціонарний рух реальної рідини. Закон Бернуллі. Течія по трубах. Гідравлічний удар. В'язкість та методи її визначення. Ламінарна і турбулентна течії. Формула Жуковського.
6. Коливання. Гармонічні коливання. Частота, фаза, амплітуда. Власні та вимушені коливання системи з одним ступенем вільності. Коливання зв'язаних систем. Коливання у суцільному середовищі (повздовжні коливання стержня, струна). Біжучі та стоячі хвилі. Повздовжні та поперечні хвилі. Швидкість розповсюдження хвиль. Енергія. Ультразвук, його одержання та застосування. Загальні принципи механіки. Принцип ймовірних переміщень. Рівняння Лагранжа та рівняння Гамільтона для матеріальної точки.

II. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ТЕРМОДИНАМІКА

7. Основи кінетичної теорії газів. Статистичний метод у фізиці. Розподіл Максвелла для швидкостей газових молекул. Різні методи визначення числа Авогадро. Флуктуації.
8. Число співударів та середня довжина пробігу газових молекул. Явище переносу. Внутрішнє тертя та теплопровідність в газах. Методи отримання та виміру високого вакууму.

9. Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критичний стан. Кипіння та конденсація. Скраплення газів.

10. Поверхневий натяг. Вільна енергія поверхні рідини. Явище змочування. Прояв і застосування поверхневого натягу. Адсорбція. Поверхнева енергія.

11. Тверде тіло. Кристалічна гратка. Дифракція рентгенівських променів на просторовій гратці. Формула Вульфа-Брегга. Основні методи рентгеноструктурного аналізу. Плавлення та кристалізація. Поліморфізм.

12. Теплоємність. Методи визначення теплоємності газів, рідин і твердих тіл. Рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності. Класична теорія теплоємності. Квантова теорія теплоємності газів та твердих тіл (Ейнштейн, Дебай).

13. Перший закон термодинаміки. Ентропія. Термодинамічні функції. Другий закон термодинаміки. Теорема Карно. Фазові перетворення. Формула Клайперона-Клаузіуса. Правило фаз. Статистичне тлумачення другого закону термодинаміки. Зв'язки між ентропією та ймовірністю.

14. Основні уявлення квантової статистики. Розподіл Гіббса. Випромінювання абсолютно чорного тіла. Статистика Фермі і Бозе, їхній зв'язок зі спіном. Статистичне тлумачення квантової механіки.

III. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

15. Електричне і магнітне поля як об'єктивна реальність, яка не зводиться до механічних явищ. Теорема Гаусса-Остроградського. Електричний потенціал. Умови на границі провідника. Енергія електричного поля. Ємність і способи її виміру.

16. Діелектрики. Електричне поле в однорідному діелектрику. Поляризація діелектриків. Енергія поляризованого діелектрика. Механічні сили в електричному полі. Вимірювання діелектричної проникливості. Сегнетоелектрики, провідники, напівпровідники і ізолятори. Електричне поле в однорідному діелектрику. Поляризація діелектриків.

17. Електрорушійна сила. Контактна різниця потенціалів. Термоелектрика.

18. Закон взаємодії струмів. Закон Ампера. Магнітне поле струму. Дія магнітного поля на струм. Сила Лоренца. Потенціальні і вихрові поля.

19. Магнетики. Магнітне поле в магнетиках. Поляризація магнетиків. Пара-, діа-, феромагнетики. Криві намагнічування. Теорії феромагнетизму.

20. Електромагнітна індукція. Закон індукції. Правило Ленца взаємоіндукції. Робота електрорушійної сили самоіндукції. Магнітна енергія струму. Взаємна енергія струмів.

21. Термоелектронна емісія, робота виходу. Вторинна електронна емісія (електронно-електронна і іонно-електронна). Автоелектронна емісія. Застосування різних емітерів в електроніці.

22. Іонізація і рекомбінація іонів у газах. Рухливість іонів. Самостійний і несамостійний розряди. Основні форми самостійного розряду.

23. Закон Кірхгофа для квазістаціонарних струмів. Власні коливання в простому контурі. Вимушені електричні коливання. Метод отримання електричних коливань. Ленгмюрівські коливання в плазмі.

24. Закон Ома для змінного струму. Багатофазні струми.

25. Рівняння Максвелла. Електромагнітні хвилі. Енергія електромагнітних хвиль. Вектор Умова-Пойнтінга. Осцилятор. Випромінювання електромагнітних хвиль.

26. Передача радіосигналів. Основні елементи радіоприймальних і радіопередаючих пристроїв. Принцип радіолокації.

IV. ОПТИКА

27. Електромагнітна теорія світла. Швидкість світла. Методи визначення швидкості світла. Методи одержання та дослідження електромагнітних хвиль різної довжини. Фазова і групова швидкість світла у речовині. Світіння Черенкова-Вавілова.

28. Інтерференція світла. Когерентність. Експериментальне здійснення інтерференції світла. Інтерференційні прилади та їх застосування. Інтерференційні спектральні прилади. Основи голографії.

29. Дифракція. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френеля (круглий отвір, край екрана). Дифракція в паралельних промінях. Дифракційна ґратка та її застосування. Дифракція рентгенівських променів. Дифракція просторової ґратки. Роздільна здатність мікроскопа і телескопа.

30. Поляризація світла. Поляризація при відбитті і заломленні на межі діелектрика. Подвійне променезаломлення. Розповсюдження світла в кристалах. Обертання площини поляризації. Штучне подвійне променезаломлення та його застосування. Інтерференція поляризованих променів. Поляризаційні прилади.

31. Дисперсія світла. Нормальна і аномальна дисперсія. Методи спостереження. Застосування інтерферометра для спостереження аномальної дисперсії. Зв'язок між аномальною дисперсією і поглинанням. Електронна теорія дисперсії. Розсіяння світла.

32. Штучна анізотропія. Штучна анізотропія в електричному і магнітному полях. Явище Фарадея. Ефект Керра.

33. Температурне випромінювання. Закони Кірхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон зміщення Віна. Обмеженість класичної теорії випромінювання. Гіпотеза Планка. Формула Планка. Оптична пірметрія.

34. Фотоефект. Роботи Столетова. Основні закони фотоефекта. Рівняння Ейнштейна. Дослід Йоффе-Добронравова. Фотоелементи.

35. Тиск світла. Роботи Лебедева. Явище Комптона. Імпульс фотона. Електрони віддачі та закони збереження в елементарних актах.

36. Оптика середовищ, що рухаються. Явище Допплера. Дослід Майкельсона. Спеціальна теорія відносності. Перетворення Лоренца. Закон додавання швидкостей. Маса, імпульс і енергія в теорії відносності.

V. АТОМНА ФІЗИКА І ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

37. Елементи електронної і іонної оптики. Особливості електростатичного і магнітного фокусування. Електронно- і іонно-оптичні системи, електронний мікроскоп.

38. Хвильові властивості частинок речовини. Дифракція електронів, її теоретична інтерпретація і практичне застосування. Співвідношення де Бройля. Рівняння Шредінгера та його застосування (задача про осцилятор, проходження частинок через потенціальні бар'єри). Статистична інтерпретація квантової механіки. Співвідношення невизначеностей.

39. Будова атома. Досліди Резерфорда з розсіювання альфа-частинок. Планетарна модель атомів, її недоліки. Спектральні закономірності. Експериментальне визначення потенціалу збудження та іонізації атомів.

40. Сучасне уявлення про будову атома та атомні спектри. Квантові числа та їхній фізичний зміст. Особливості будови спектрів складних атомів. Спін електрона. Векторна модель атома. Правила відбору при оптичних переходах. Атомний магнетизм. Просторове квантування. Сучасні методи визначення магнітних моментів атомів. Елементи квантової інтерпретації ефектів Зеємана, Пашена-Бака, Штарка. Магнітний резонанс (ЕПР і ЯМР).

41. Періодичний закон Менделєєва. Квантова трактовка періодичного закону Менделєєва. Принцип Паулі. Електронна оболонка атома. Рентгенівські спектри.

42. Будова і спектри молекул. Електронні, коливальні та обертальні енергетичні рівні і переходи між ними. Комбінаційне розсіювання світла. Люмінесценція та її основні закономірності. Основні уявлення про вимушене випромінювання. Лазери. Елементи теорії твердого тіла. Типи зв'язку в кристалах. Основні уявлення зонної теорії твердого тіла. Електронна та діркова провідності. Надпровідність. Модель Бардіна-Купера-Шріффера.

43. Опис фізичних величин операторами. Середні значення фізичних величин. Різні представлення в квантовій механіці. Унітарне перетворення.

44. Теорія збурень в квантовій механіці. Секулярне рівняння. Вторинне квантування.

VI. ФІЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

45. Фундаментальні взаємодії і ядерні сили. Властивості нуклонів. Нуклон-нуклонна взаємодія. Основний стан дейтрона. Розсіювання повільних нейтронів протонами. Довжина нуклон-нуклонного розсіювання й ефективний радіус нуклон-нуклонної взаємодії. Властивості нуклон-нуклонної взаємодії та їх експериментальне обґрунтування.

46. Існування ядер, їхній склад та загальні властивості. Маса та енергії зв'язку ядер. Розміри ядер та методи їх визначення. Походження ядер і джерела енергії зірок.

47. Моделі ядер. Краплинна модель. Формула Вейцеккера. Спін-орбітальна взаємодія та ядерні оболонки. Одночастинкова оболонкова модель сферичних і zdeформованих ядер. Магічні числа. Експериментальне визначення характеристик одночастинкових станів ядер. Колективні рухи нуклонів в ядрах. Обертання та коливання ядер. Експериментальне визначення характеристик колективних станів ядер. Класифікація збуджених станів ядер. Стаціонарні, квазістаціонарні стани та стани суцільного спектру. Їх характеристики: повний та парціальний час життя, відповідні ширини та густина рівнів.

48. Ядерні реакції. Визначення ядерної реакції, каналу реакції, радіусу каналу. Класифікації ядерних

реакцій за енергією та типом частинки-снаряду, за типом та механізмом реакції, за кількістю частинок у кінцевому стані реакції. Прямі та компаунд процеси. Закони збереження в ядерних реакціях. Збереження енергії. Енергетичний баланс (Q) – реакції та його визначення. Збереження імпульсу. Кінематика ядерних реакцій (системи відліку: лабораторна та центра мас, зв'язок поміж ними). Збереження моменту кількості руху та парності. Збереження ізотопічного спіну. Прояв законів збереження в експериментально спостережливих характеристиках.

49. Основні характеристики ядерних реакцій, що вимірюються. Повний, диференціальний та парціальний перерізи реакції. Функції збудження. Зв'язок між імовірністю та перерізом реакції. Проведення експерименту по визначенню перерізу реакції. Класичне та квантово-механічне визначення перерізів реакції. Пружне розсіяння: уявлення про фазовий аналіз. Зв'язок між процесами пружного розсіяння та непружними реакціями.

50. Реакції з утворенням складеного ядра. Гіпотеза Бора. Уявлення про ширини станів компаунд-ядра та час реакцій. Принцип детальної рівноваги. Визначення перерізів реакцій за допомогою перерізів реакцій утворення складеного ядра. Нерезонансна теорія реакцій. Термодинаміка ядер. Статистичні властивості ядерних рівнів. Резонансна теорія реакцій при малих енергіях. Експериментальне визначення ширини станів компаунд-ядер. Поділ ядер під дією нейтронів. Процес поділу ядра. Енергія деформації, бар'єри поділу ядер. Ізмери форми. Масові розподіли уламків поділу.

51. Прямі реакції. Дифракційна модель прямих реакцій. Оптична модель пружного розсіяння; оптичний потенціал; глобальні оптичні потенціали. Метод плоских та збурених хвиль. Визначення енергій, спінів та парностей одночастинкових та колективних збуджених станів ядер за допомогою прямих реакцій.

52. Радіоактивний розпад. Його закони. Радіоактивні ряди. Ядерна ізомерія. Ефект Мессбауера. Альфа-розпад та його квантово-механічна інтерпретація. Бета- та гамма- розпади. Електрони внутрішньої конверсії. Електронне поглинання. К-захоплення. Подвійний бета-розпад. Нейтрино. Осциляції нейтрино. Природна та штучна радіоактивності. Практичне використання штучної радіоактивності (метод мічених атомів, активаційний аналіз та інше).

53. Проблеми використання внутрішньоядерної енергії. Ланцюгові термоядерні реакції. Принцип роботи ядерних реакторів.

54. Джерела нейтронів. Спектрометрія нейтронів. Детектори нейтронів.

55. Принципи та методи реєстрації заряджених частинок. Проходження швидких заряджених частинок та жорстких фотонів крізь речовину. Камера Вільсона. Іонізаційні методи реєстрації. Сцинтиляційні лічильники. Реєстрація частинок в фотоемульсіях. Черенковський лічильник, бульбашкова камера. Магнітний спектрометр. Напівпровідникові детектори. Низькотемпературні болометричні детектори.

56. Прискорювачі заряджених частинок. Прямі та непрямі методи прискорення. Індукційний метод прискорення (бетатрон, мікротрон). Резонансні методи прискорення (циклотрон), лінійні прискорювачі.

57. Властивості елементарних частинок. Утворення пар електрон-позитронів та їх перетворення в фотони. Взаємодія надшвидких частинок з речовиною. Мезони, їх відкриття та властивості. Гіперони. Частинки та античастинки. Кварки, глюони. Взаємоперетворення елементарних частинок. Бозон Хіггса. Стандартна модель елементарних частинок. Осциляції нейтрино.

58. Космічні промені. Склад первинної компоненти. Загальна картина проходження космічних променів крізь атмосферу. Жорстка і м'яка компоненти. Електронно-фотонні та електронно-ядерні ливні. Гравітаційні ливні. Нейтрино космічного походження.

Література

1. Основна література

1. Д.В. Сивухин. *Общий курс физики*. Изд. 5-е, стер. Т. I. Механика (Москва: Физматлит, 2006) 560 с.
2. Д.В. Сивухин. *Общий курс физики*. Изд. 5-е, испр. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика (Москва: Физматлит, 2006) 544 с.
3. Д.В. Сивухин. *Общий курс физики*. Изд. 4-е, стер. Т. III. Электричество (Москва: Физматлит, 2004) 656 с.
4. Д.В. Сивухин. *Общий курс физики*. Изд. 3-е, стер. Т. IV. Оптика (Москва: Физматлит, 2002) 792 с.
5. Д.В. Сивухин. *Общий курс физики*. Изд. 3-е, стер. Т. V. Атомная и ядерная физика (Москва: Физматлит, 2006) 784 с.
6. А.Н. Матвеев. *Молекулярная физика* (Москва: Высш. шк., 1987).
7. А.Н. Матвеев. *Электричество и магнетизм* (Москва: Высш. шк., 1983).
8. А.Н. Матвеев. *Атомная физика* (Москва: Высш. шк., 1989).
9. А.К. Вальтер, И.И. Залюбовский. *Ядерная физика* (Харьков: Основа, 1991) 480 с.
10. О.І. Ахієзер, Ю.А. Бережной. *Теорія ядра* (К.: Вища школа, 1995) 255 с.
11. О.Ф. Немец, К.О. Теренецкий. *Ядерные реакции* (К.: Вища шк., 1977) 244 с.

2. Додаткова література

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Механика* (Москва: Наука, 1965).
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Статистическая физика. Т. 5. Ч. 1. Курс теоретической физики*. (Москва: Наука, 1979).
3. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндз. *Фейнмановские лекции по физике. Ч. 1 - 9* (Москва: Мир, 1966).
4. И.Е. Тамм. *Основы теории электричества* (Москва: Наука, 1976).
5. К.Н. Мухин. *Экспериментальная ядерная физика. Т. 1. Физика атомного ядра: Учеб. для вузов*. Изд. 3-е. (Москва: Атомиздат, 1974) 584 с.
6. К.Н. Мухин. *Экспериментальная ядерная физика. Т. 2. Физика элементарных частиц: Учеб. для вузов*. Изд. 5-е, перераб. и доп. (Москва: Энергоатомиздат, 1993) 408 с.
7. О.Г. Ситенко, В.К. Тартаковский, *Теорія ядра* (К.: Либідь, 2000) 608 с.
8. О.І. Ахієзер, Ю.А. Бережной. *Теорія ядерних реакцій* (Харків: Основа, 2001) 256 с.