



Утвърдил:

Декан

Дата

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

Факултет: Физически факултет

Специалност:

Ф	3	Т	0	9	0	1	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---

КВАНТОВА И КОСМИЧЕСКА ТЕОРЕТИЧНА ФИЗИКА

Магистърска програма: (код и наименование)

--	--	--	--	--	--	--	--	--

УЧЕБНА ПРОГРАМА

Дисциплина:

--	--	--	--

Обща физика VIII (Субатомна физика)

Преподавател: проф. дфн Р. Ценов, доц. дфн Г. Райновски, доц. д-р Л. Литов,
проф. дфн А. Пройкова,

Асистент: преподавател от катедра „Атомна физика“

Учебна заетост	Форма	Хорариум
Аудиторна заетост	Лекции	60
	Семинарни упражнения	30
	Практически упражнения (хоспетиране)	
Обща аудиторна заетост		90
Извънаудиторна заетост	Самостоятелна работа в библиотека или с ресурси	45
	Самостоятелно решаване на задачи за домашна работа	75
Обща извънаудиторна заетост		120
ОБЩА ЗАЕТОСТ		210
Кредити аудиторна заетост		3.0
Кредити извънаудиторна заетост		4.0
ОБЩО ЕКСТ		7.0

№	Формиране на оценката по дисциплината ¹	% от оценката
1.	Текуща самостоятелна работа /контролно	40
2.	Изпит	60

Анотация на учебната дисциплина:

Курсът по **Субатомна физика** е едносеместриален. Курсът е задължителен за студентите от специалността „Квантова и теоретична космическа физика“ и е част от серията курсове по Обща физика, като целта му е да въведе студентите в субатомната физика, т.е физиката на атомното ядро и на елементарните частици. Курсът започва, малко нетрадиционно, с основни сведения за най-малките структурни частици на материята: кварките и лептоните и техните фундаментални взаимодействия. Въвеждат се адроните, в частност протонът и неутронът като съставени от кварки и атомите ядра като свързани системи от нуклеони. Разглеждат се от единна гледна точка реакциите и превръщанията (разпаданията) в субатомната физика, включително и кинематиката на реакциите с елементарни частици и атомни ядра. Кратко се дават основни понятия за фундаменталните симетрии и връзката им със законите за запазване. Разглеждат се силното, електромагнитното и слабото взаимодействия. Дава се идея за Стандартния модел на частиците и взаимодействията, включително квантовата хромодинамика и модела на Глешоу, Уайнбърг и Салам за електрослабото взаимодействие. Коментират се ограниченията на модела и посоките за по-нататъшно развитие.

След това се преминава към описанието на атомните ядра. Разглеждат се основните статични свойства на ядрата и методите за тяхното определяне, както и моделите за устройството на ядрената материя. Нужно внимание е отделено на радиоактивността, видовете разпадания и тяхното теоретично обяснение. Дават се основни понятия за най-важните от практическа гледна точка ядрени реакции, за ядреното делене и ядрения синтез, както и тяхното приложение в съвременните технологии. Кратко се разглежда съвременната експериментална техника в субатомната физика и приложенията на нейните методи и устройства в други области на човешката практика.

Съществена част от курса са семинарните занятия, които са посветени на решаването на задачи. Задачите са подбрани така, че да допълват, развиват и онагледяват преподавания на лекциите материал. Успешното справяне със задачите не изисква широко използване на целия арсенал на математическите методи на физиката, а по-скоро зависи от усвояването на физическите идеи и ориентирането в конкретния проблем.

Предвидените часове и кредити за извън аудиторна заетост са за самостоятелна работа с литературните източници, за решаването на предложените задачи за домашна работа и за подготовката за контролните работи и изпита.

Предварителни изисквания:

Студентите трябва да са усвоили материала, преподаван в задължителните

¹ В зависимост от спецификата на учебната дисциплина и изискванията на преподавателя е възможно да се добавят необходимите форми, или да се премахнат ненужните.

курсовете по Обща физика (включително Атомна физика и взаимодействие на йонизиращите лъчения с веществото) и Квантова механика. Необходими са, също така и базисни знания по интегрално и диференциално смятане, векторен и тензорен анализ, обикновени и частни диференциални уравнения, класическа механика и електродинамика. Курсът може да се слуша и от студенти в магистърски програми по преценка на Съвета на съответната програма.

Очаквани резултати:

След успешно завършване на курса студентите ще имат общи познания за фундаменталните съставляващи на материята и техните взаимодействия. Ще владеят основите на кинематиката на елементарните частици и ядрените реакции. Ще познават симетриите на взаимодействията и следващите от тях закони за запазване. Добре ще се ориентират в съвременните теоретични и експериментални методи в ядрената физика и физиката на елементарните частици, включително и тези, използвани на съвременните ускорители на тежки йони, ускорително-натрупващи комплекси и в многодетекторните системи за регистрация и идентификация на частиците. Ще имат представа за основните физични модели, представляващи същността на нашето съвременно знание за микрообектите в субатомния свят. Ще могат да решават прости задачи, свързани с ежедневието на физика-експериментатор в тези области.

Учебно съдържание

№	Тема:	Хорариум
1	Йерархия и структурата на материята: вещество, атоми, ядра, нуклеони, кварки и лептони. Квантова структура на микросвета. Основни свойства на обектите на субатомната физика (елементарните частици и атомните ядра): маса, електрически и други заряди, спин, други квантови числа. Фундаментални частици – лептони и кварки. Съставни частици: адрони. Атомни ядра. Обозначения.	2
2	Релативистка кинематика. Пространство на Минковски, преобразования на Лоренц, релативистки инварианти. Нерелативистка кинематика. Основни типове експерименти по разсейване. Лабораторна система и система на центъра на масите. Преходи между различни отправни системи и запазващи се величини. Интеграли на движението. Степени на свобода. Естествена система мерни единици, в която $\hbar = c = 1$.	4
3	Фундаментални взаимодействия и техните преносители. Интензивност и радиус на действие. Гравитационно, слабо, електромагнитно и силно взаимодействия. Специфика на отделните взаимодействия.	2
4	Матрични елементи за преход. Графично представяне – диаграми на	4

	Файнман. Фазов обем, вероятност за разпад, сечение за взаимодействие.	
5	Реакции и превръщания в микросвета. Реакции между елементарни частици. Ядрени реакции. Разпадане. Закон за радиоактивното разпадане. Константа на разпадане, период на полуразпадане и ширина на енергетичните състояния. Резонансни състояния, разпределение на Брейт-Вигнер. Примери.	5
6	Симетрии, инвариантност и закони за запазване. Симетрии в квантовата физика. Пространствени симетрии: непрекъснати и дискретни. Запазване на енергията и импулса. Пространствено отражение, обръщане на времето, зарядово спрягане. Глобални и локални симетрии, калибровъчни симетрии. Вътрешни симетрии.	5
7	Силни взаимодействия. SU(N)-симетрия и кварков модел на адроните и. Експериментални указания за съществуване на кварки. Лептон – нуклонно разсейване, формфактори и структурни функции. Квантово число цвят, безцветност на адроните, конфаймънт. Квантова хромодинамика: локална SU(3)-симетрия, глюони, асимптотична свобода.	4
8	Слаби взаимодействия. Слаби разпади и реакции. Лептонни и кваркови токове, V-A модел. Обединение на слабите и електромагнитните взаимодействия, модел на Глешоу-Уайнбърг-Салам. W- и Z-бозони. Спонтанно нарушение на симетрията. Механизъм на Хигс и Хигс-бозон. Смесване на кварките. Матрица на Кабибо-Кобаяши-Маскава. CP-нарушение, CPT-теорема. Маса на неутрината, осцилации на неутрината	4
9	Статични свойства на атомните ядра. Маса и радиус на ядрото в основно състояние, методи за определянето им. Енергия на свързване, формула на Вайцекер. Масова парабола за изобарни ядра. Линии на стабилност. Разпределение на ядрения заряд и ядрената материя. Методи за изучаването му. Ядрени моменти и методи за измерването им. Спин на ядрото. Електромагнитни моменти: магнитен диполен момент, електричен квадруполен момент. Ядрен магнитен резонанс.	6
10	α -разпадане: основни факти; емпиричен закон на Гайгер-Нътъл; теория на α -разпадането. β -разпадане: видове; теория на Ферми за β -разпадането; сравнителен период на полуразпадане; графика на Кюри; подборни правила по спин и четност при β -разпадането. γ -преходи: подборни правила при γ -преходите; вътрешна конверсия.	6
11	Последователни (свързани) разпадания и радиоактивни семейства. Естествена радиоактивност. Радиоактивно датиране.	2
12	Ядрени сили между нуклеоните: свойства, спинова зависимост, зарядова независимост и изоспин, обменен характер, потенциали на силното ядрено взаимодействие. Експериментални потвърждения.	2
13	Ядрени модели. Едночастичен слоест модел: магически числа; силно спин-орбитално взаимодействие; експериментални потвърждения.	5

	Колективни модели: вибрации на ядрената материя; ротации на деформирани ядра.	
14	Механизми на ядрените реакции: съставно ядро и преки реакции; резонансни реакции. Ядрени реакции с неутрони, получаване на изкуствени радиоактивни ядра, приложения. Реакции с тежки йони. Делене на ядрата: факти и елементарна теория; делене от бавни и от бързи неутрони. Верижна реакция. Ядрен синтез: енергия на активация; термоядрени реакции в звездите. Неуправляеми и управляеми реакции на делене и синтез. Бомби и реактори.	5
15	Експериментална техника в субатомната физика. Ускорители: линейни и циклични; циклотрон, синхротрон, синхрофазотрон. Ускорители на насрещни снопове. Ускорителни комплекси. Газови, сцинтилационни и полупроводникови детектори. Многодетекторни комплекси. Модерни експерименти по изследване на свойствата на елементарните частици и атомните ядра. Примери.	3
16	Проблемни въпроси в субатомната физика. Основни насоки за развитие на теорията и експеримента.	1
Семинарни занятия:		
1	Квантови микрообекти. Елементарни частици и атомни ядра. Фундаментални взаимодействия. 4-вектор на енергията-импулса. Маса на покой на частица. Естествена система единици $c = \hbar = 1$. Преминаване в естествената система единици. Константи на Ферми и Нютон в естествената система.	2
2	Реакции и разпадания. Класически и релативистки кинематични зависимости. Лабораторна отправна система и система на центъра на масите. Релативистки инварианти. Динамични инварианти. Ефективна (инвариантна) маса на система от няколко частици. Праг на реакция в нерелативисткия и релативисткия случай. Разсейване $a + b \rightarrow c + d$: ъгли и енергетични зависимости. Елипса на импулсите.	6
3	Ускорители на частици. Линеен ускорител. Циклотрон. Синхроциклотрон и синхрофазотрон (протонен синхротрон). Ускорители на електрони. Ускорители на тежки йони.	2
4	Напречно ефективно сечение. Фиксирана мишена. Задачи за пресмятане добива на частици в различни процеси на разсейване и разпадане. Снопове частици, пресичащи се под произволен ъгъл. Светимост. Ускорители с насрещни снопове. Еквивалентна енергия.	4
5	Връзка между елементите на матрицата на разсейване и сеченията или константите на разпадане. Лоренц-инвариантен фазов обем. Разпадане $a \rightarrow b + c$ и разсейване $a + b \rightarrow c + d$.	2
6	Структура на микрообектите. Електромагнитни формфактори за атомни ядра и нуклеони. Дълбоконееластично лептон-нуклонно разсейване. Кварк-партонен модел за нуклеоните.	3
7	Статични свойства на ядрата. Ядрени маса и радиус. Ядрени моменти.	2

8	Закон за радиоактивното разпадане. Последователни (свързани) разпадания и радиоактивно датиране.	2
9	α -разпадане, β -разпадане, γ -преходи и вътрешна конверсия.	5
10	Експериментални методи на субатомната физика.	2

Конспект за изпит

№	Въпрос
1	Релативистка и нерелативистка кинематика. Преобразувания на Галилей и Лоренц. Релативистки и динамични инварианти. Лабораторна система и система център на масите. Естествена система единици.
2	Матрични елементи на прехода. Фазов обем. Вероятност за преход в единица време. Двучастични разпадания; сечения на взаимодействие.
3	Преобразувания на симетрия, инвариантност и закони за запазване. Непрекъснати преобразувания и запазващи се величини. Адитивни квантови числа.
4	Дискретни преобразувания и запазващи се величини. Мултипликативни квантови числа. СР-преобразование, СР-нарушение и СРТ-теорема.
5	Основни свойства на микрообектите: маса, електрически и други заряди, спин, други квантови числа. Фундаментални частици – лептони и кварки. Съставни частици: адрони. Атомни ядра. Обозначения.
6	Ускорители: линейни и циклични; циклотрон, синхротрон, синхрофазотрон. Ускорители на тежки йони. Ускорители на насрещни снопове. Ускорителни комплекси.
8	Методи и детектори за регистрация и идентификация на заредени частици, неутрони и гама-кванти. Газови, сцинтилационни и полупроводникови детектори. Многодетекторни комплекси.
9	Реакции и превръщания в микросвета. Реакции между елементарни частици. Ядрени реакции. Разпадане. Закон за радиоактивното разпадане. Константа на разпадане, период на полуразпадане и ширина на енергетичните състояния.
10	Сили и фундаментални взаимодействия. Интензивност и радиус на действие. Изобразяване на процеси чрез Файнманови диаграми. Общи характеристики на четирите типа взаимодействия.
11	Адрони. Кварков модел на адроните. SU(3) адронни мултиплети. Тежки кварки. Кварконий
12	Цветово квантово число. Експериментални доказателства за съществуването на цвят. Квантова хромодинамика. Кваркови диаграми за процеси, обусловени от силното взаимодействие.
13	Формфактори. Дълбоко-нееластично разсейване на лептони от нуклони. Кварк-партонен модел.
14	Слаби взаимодействия. Лептонни, полулептонни и безлептонни слаби процеси, Файнманови диаграми. Неутрина и техните свойства. Модел на Глешоу, Уайнбърг, Салам. Стандартен модел на фундаменталните частици и взаимодействия.

15	Статични свойства на атомните ядра. Маса и радиус на ядрото в основно състояние, методи за определянето им. Енергия на свързване, формула на Вайцзекер. Масова парабола за изобарни ядра. Линии на стабилност. Разпределение на ядрения заряд и ядрената материя. Методи за изучаването му.
16	Ядрени моменти и методи за измерването им. Спин на ядрото. Електромагнитни моменти: магнитен диполен момент, електричен квадруполен момент. Ядрен магнитен резонанс.
17	Последователни (свързани) разпадания и радиоактивни семейства. Естествена радиоактивност. Радиоактивно датиране. Методи за определяне на времената на живот на ядрени състояния.
18	Алфа- разпадане – закон на Geiger-Nuttall, елементарна теория на алфа – разпадането.
19	Алфа - разпадане – вероятности за преход и правила за отбор при алфа – разпадане.
20	Бета - разпадане – общи закономерности, теория на Ферми, забранени преходи, график на Кюри, маса на неутриното.
21	Гама - разпадане– класификация и правила на отбор за гама-преходи
22	Гама - разпадане – мултиполност, вероятности за преход, правила за отбор, изомери. Вътрешна конверсия.
23	Деутрон. Зарядова независимост/симетрия – изоспин. Обобщен принцип на Паули. Изотопични мултиплети.
24	Експерименти по N-N (p-n) разсейване. Характеристики на ядрените сили. Обменни сили.
25	Ядрено делене. Верижна реакция. Ядрени реактори и ядрени експлозиви. Термоядрен синтез.
26	Ядрени модели – средно поле, експериментални доказателства за съществуване на слоеста структура в атомното ядро. Слоест модел.
27	Ядрени модели – колективни състояния, ядрени вибрации в сферични ядра.
28	Ядрени модели – ядрена деформация, ротационен спектър, ротации и вибрации в деформирани ядра.

Библиография

Основна:

1. У. Уилямс , Физика на ядрото и елементарните частици, Унив. изд. “Св. Кл. Охридски”, 2000 г.
2. A. Bettini, Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge University Press, 2008.
3. D. Perkins, Introduction to High Energy Physics, 4th edition, Cambridge University Press, 2000.
4. Kenneth S. Krane, Introductory Nuclear Physics, John Wiley&Sons, Inc. New York, 1988.
5. K. Heyde, Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics, IoP publishing, Bristol&Philadelphia, 2004.
6. А. Минкова, Ядрена физика, изд. „Тита Консулт”, София, 2008 г.

7. К. Клайнкнехт, Детекторы корпускулярных излучений, изд. “Мир”, Москва, 1990 г.

Допълнителна:

8. A. Das, T. Ferbel , Introduction to Nuclear and Particle Physics , 2nd edition, Marston Book Services Ltd., 2003;
9. E. M. Henley, A. Garcia, Subatomic Physics , 3rd edition, Marston Book Services Ltd., 2007
10. Д. Динев, Ускорители на частици, Акад. изд. “Марин Дринов”, София, 2006 г.;
11. Л. Гольдин, Физика ускорителей, изд. “Наука”, Москва, 1983 г.
12. Fayyazuddin, Riazuddin, A Modern introduction to Particle Physics, World Scientific, 2000.
13. R.F. Casten, Nuclear structure from a simple perspective, Oxford University Press, 2000.
14. Б. Славов, Увод в теоретичната ядрена физика, Университетско издателство “Св. Кл. Охридски”, София 2002,1992

Дата: 01.07.2013 г

Съставили:

проф. дфн Румен Ценов
доц. дфн Георги Райновски
проф. дфн Ана Пройкова
доц. д-р Леандър Литов