



Утвърдил: .....

Декан

Дата .....

## СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

Факултет: Физически факултет

Специалност: всички специалности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

### УЧЕБНА ПРОГРАМА

Дисциплина: 

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|

*УВОД ВЪВ ФИЗИКАТА НА ЕЛЕМЕНТАРНИТЕ ЧАСТИЦИ*

Преподавател: проф. д-р Р. Ценов, доц. д-р Л. Литов

Асистент: преподавател от катедра „Атомна физика“

| Учебна заетост                        | Форма                                              | Хорариум   |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|
| Аудиторна заетост                     | Лекции                                             | 45         |
|                                       | Семинарни упражнения                               | 30         |
|                                       | Практически упражнения (хоспетиране)               |            |
| <b>Обща аудиторна заетост</b>         |                                                    | <b>75</b>  |
| Извънаудиторна заетост                | Самостоятелна работа в библиотека или с ресурси    | 20         |
|                                       | Самостоятелно решаване на задачи за домашна работа | 30         |
|                                       | Подготовка за изпит                                | 25         |
| <b>Обща извънаудиторна заетост</b>    |                                                    | <b>75</b>  |
| <b>ОБЩА ЗАЕТОСТ</b>                   |                                                    | <b>150</b> |
| <b>Кредити аудиторна заетост</b>      |                                                    | <b>2.5</b> |
| <b>Кредити извънаудиторна заетост</b> |                                                    | <b>2.5</b> |
| <b>ОБЩО ЕКСТ</b>                      |                                                    | <b>5.0</b> |

| №                                       | Формиране на оценката по дисциплината <sup>1</sup> | % от оценката |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|
| 1.                                      | Текуща самостоятелна работа /контролно             | 40            |
| 2.                                      | Изпит                                              | 60            |
| <b>Анотация на учебната дисциплина:</b> |                                                    |               |

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

Курсът е предназначен за студентите от всички специалности на Физическия факултет. Необходима предпоставка за неговото избиране е усвояването на материала, преподаван в задължителните курсове по Обща физика (включително Атомна физика и взаимодействие на йонизиращите лъчения с веществото и Ядрена физика) и Квантова механика. Предлагаия курс е тяхно естествено продължение, тъй като се изучават фундаменталните микрообекти (лептони, кварки, глюони и пр.), от които по определени правила и закони на взаимодействие се изграждат познатите на студентите микросистеми – нуклони, ядра, атоми и т.н. Целта на курса е да запознае студентите със съвременните представи за фундаменталните съставляващи на материята и техните взаимодействия. Излагат се основите на кинематиката на елементарните частици. Разглеждат се симетриите на взаимодействията на елементарните частици (непрекъснати и дискретни, пространствени и вътрешни, глобални и локални) и следващите от тях закони за съхранение. Взаимодействията се описват с помощта на локални (калибровъчни) групи на симетрия. Специално внимание се отделя на експерименталните методи за изследване на свойствата на елементарните частици и техните взаимодействия., включително на съвременните ускорително-натрупващи комплекси и многодетекторни системи за регистрация и идентификация на частиците, като ударението при преподаването на последните се поставя върху специфичните им особености, свързани с високите енергии ( $\sim \text{GeV}$ ), малките времена на живот на изследваните обекти ( $\sim \text{ns}$ ) и огромен брой “фонови” частици. Излагат се основите на кварковия модел и се прави увод в квантовата хромодинамика, описваща силните взаимодействия. Обсъждат се експерименталните доказателства за съществуване на кварки и глюони. Разглеждат се слабите взаимодействия на елементарните частици и се излагат основите на модела на Глешоу-Уайнбърг - Салам, описващ електромагнитните и слабите взаимодействия. Обсъжда се проблема с масите на неутрината и техните осцилации. Разглеждат се опитите за построяване на модели, обединяващи електромагнитните, слабите и силните взаимодействия. Очертават се основните проблеми и направления за развитие на физиката на елементарните частици.

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 извънаудиторна заетост са за самостоятелна работа с литературните източници, за решаването на предложените задачи за домашна работа и за подготовка за изпита.

#### **Предварителни изисквания:**

Студентите трябва да са усвоили материала преподаван в задължителните курсове по Обща физика (включително Атомна физика и взаимодействие на йонизиращите лъчения с веществото, Физика на атомното ядро и елементарните частици) и Квантова механика. Студентите трябва да имат записан **седми** семестър

в някои от бакалавърските специалности на Физическия факултет. 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 детайлни знания за фундаменталните съставляващи на материята и техните взаимодействия. Ще владеят основите на кинематиката на елементарните частици. Ще се ориентират в симетриите на взаимодействията на елементарните частици и следващите от тях закони за съхранение. Ще са запознати с идеята за описване на фундаменталните взаимодействия се с помощта на локални калибровъчни групи на симетрия. Добре ще се ориентират в съвременните експериментални методи във физиката на елементарните частици, включително и тези, използвани на съвременните ускорително-натрупващи комплекси и в многодетекторните системи за регистрация и идентификация на частиците. Ще могат да решават прости задачи, свързани с ежедневието на физика-експериментатор в тази област.

*Учебно съдържание*

| №  | Тема:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Хорариум |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | Йерархия и структурата на материята: вещество, атоми, ядра, кварки. Фундаментални взаимодействия и техните преносители. Интензивност и радиус на действие.                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1        |
| 2  | Основи на кинематиката на елементарните частици. Пространство на Минковски, преобразования на Лоренц, релативистки инварианти, ефективна маса. Основни типове експерименти, лабораторна система, Система на центъра на масите. Преходи между различни отправни системи. Запазване на енергията и импулса. Степени на свобода. Естествена система мерни единици, в която $\hbar = c = 1$ .                                                             | 3        |
| 3  | S-матрица в представяне на взаимодействието. Представяния на Шрьодингер и на Дирак. S – матрица: дефиниция, физически смисъл. Разложение на S-матрицата по степените на константата на взаимодействие. Графично представяне – диаграми на Файман.                                                                                                                                                                                                     | 3        |
| 4. | Фазов обем, Вероятност за разпад, Сечение за взаимодействие                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2        |
| 5. | Симетрии, инвариантност и закони за запазване. Симетрии в квантовата физика, запазване на енергията и импулса. Елементи на теория на групите: група, алгебра, групи на Ли, представяния на групи, Оператори на Казамир. Представяния на групата SU(2), изоспин. Пространствени симетрии: непрекъснати и дискретни, Група на Лоренц, Група на Поанкаре, пространствено отражение, обръщане на времето, зарядово спрягане. Глобални и локални симетрии. | 4        |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 6.  | Основни свойства на елементарните частици. Пространствени и вътрешни квантови числа. Лептони и адрони, мезони и бариони, хиперони, бозони и фермиони. Ширина и време на живот на нестабилни частици: средно време на живот, класификация, резонанси, разпределение на Брейт-Вигнер. Фундаментални частици.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2 |
| 7.  | Взаимодействия на елементарните частици. Основни видове взаимодействия. Електромагнитни взаимодействия: локална калибровъчна инвариантност, електромагнитно поле. Неабелева калибровъчна инвариантност. Калибровъчни бозони.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2 |
| 8.  | Експериментална техника във физика на елементарните частици. Източници на високоенергетични частици. Космически лъчи. Ускорители. Циклотрон, синхротрон, синхрофазотрон. Ускорители на насрещни снопове. Ускорителни комплекси. Процеси на взаимодействие на високоенергетични частици с веществото. Регистрация на заредени частици: йонизация, ефект на Черенков, преходно излъчване. Регистрация на електромагнитно излъчване: физически процеси, радиационна дължина. Детектори на елементарни частици. Типове и основни характеристики. Трекови детектори – многонишкова пропорционална камера, дрейфови камери, време-проекционни камери, полупроводникови детектори. Сцинтилационни броячи. Черенковски броячи: прагови, диференциални, RICH-технология. Електромагнитни и адронни калориметри. Измерване на импулса на заредени частици. Детекторни комплекси. | 8 |
| 9.  | Силни взаимодействия. Изоспин. Странни частици, връзка между изоспин, странност и електрически заряд. SU(3)-симетрия. Кварков модел. Експериментални указания за съществуване на кварки. Лептон – нуклонно разсейване. Формфактори, кварк-партонен модел, структурни функции. Квантово число – цвят, безцветност на адроните, конфаймънт. Експериментални указания за съществуване на цвят. Квантова хромодинамика: локална SU(3) симетрия, глюони, асимптотична свобода. Експериментални указания за съществуване на глюони.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6 |
| 10. | Слаби взаимодействия. Слаби разпади и реакции. Лептонни и кваркови токове, V-A модел. Ъгъл на Кабибо, смесване на кварките. CP-нарушение: CPT теорема, CP-нарушение в K- и B-мезонни разпади. Неутрални токове, експериментални наблюдения. Маси на неутрината. Осцилации на неутрината                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5 |
| 11. | Обединение на слабите и електромагнитните взаимодействия. Взаимодействия между заредени токове. Преносители на слабото взаимодействие. Спонтанно нарушение на симетрията. Механизъм на Хигс. Модел на Глешоу-Уайнбърг-Салам. W- и Z-бозони. Ъгъл на Уайнбърг. Хигс-бозон. Матрица на Кабибо-Кобаяши-Маскава.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 5 |
| 12. | Идея за Велико обединение. Бягаща константа на взаимодействието. Теории извън Стандартния модел: Разпад на протона                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1 |

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 13.                       | Модерни експерименти по изследване на Стандартния модел. $e^+e^-$ насрещни снопове. $\tau$ , $B$ и $Z$ фабрики. Протон-протонни и протон-антипротонни ускорители. Експериментални резултати.                                                                                                                                                                                                  | 2 |
| 14.                       | Проблеми и въпроси във физиката на елементарните частици. Основни насоки за развитие – теория и експеримент                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1 |
| <b>Семинарни занятия:</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
| 1.                        | Увод. 4-вектор на енергията-импулса. Маса на покой на частица. Естествена система единици $c = \hbar = 1$ . Единици за енергия, маса, импулс, време, разстояние, площ. Преминаване в "нормална" система единици. Константи на Ферми и Нютон в естествената система.                                                                                                                           | 2 |
| 2.                        | Релативистка кинематика. Преобразувания на Лоренц. Лабораторна отправна система и система на центъра на масите. Релативистки инварианти. Динамични инварианти. Променливи $s$ , $t$ , $u$ . Ефективна (инвариантна) маса на система от $n$ частици. Праг на реакция. Разсейване $a + b \rightarrow c + d$ : ъгли и енергетични зависимости. Елипса на импулсите. Максимален ъгъл на излитане. | 6 |
| 3.                        | Изследване на кинематиката на разпадането на масивна частица на две (почти) безмасови ( $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ , $\eta \rightarrow 2\gamma$ , $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ ). Разпределения на продуктите по енергии и ъгъл на разлитане. Самостоятелна работа: разпадане на масивна частица на две масивни частици с еднакви или различни маси.                                             | 3 |
| 4.                        | Ускорители на частици. Линеен ускорител. Циклотрон. Синхроциклотрон и синхрофазотрон (протонен синхротрон). Ускорители на електрони. Формиране на снопове високоенергетични фотони чрез разсейване на лазерен лъч върху сноп релативистски електрони - кинематика                                                                                                                             | 3 |
| 5.                        | Напечно 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 |
| 6.                        | Връзка между елементите на матрицата на разсейване и сеченията или константите на разпадане. Лоренц-инвариантен фазов обем. Оптична теорема. Разпадане $a \rightarrow b + c$ и разсейване $a + b \rightarrow c + d$ .                                                                                                                                                                         | 3 |
| 7.                        | Изотопичен спин. Изотопична инвариантност на силното взаимодействие. $\pi N$ - разсейване и връзка между сеченията за различните процеси. Коефициенти на Клебш - Гордън.                                                                                                                                                                                                                      | 2 |
| 8.                        | Правило $\Delta I = 1/2$ при слаби нелептонни разпади. Адитивни квантови числа и закони за запазването им. Диаграми за слаби лептонни, полулептонни и нелептонни процеси.                                                                                                                                                                                                                     | 1 |
| 9.                        | Структура на адроните. Статични магнитни моменти на нуклоните. Електромагнитни формфактори. Формула на Розенблат. Диполна формула. Дълбоконееластично лептон-адронно разсейване. Партони. Валентни и морски кварки. Кварков състав на мезонните и барионни мултиплети. Мултиплети с тежки кварки.                                                                                             | 3 |
| 10.                       | Детектори на релативистки частици. Йонизационни и радиационни                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3 |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | загуби. $dE/dx$ за релативистки частици. Критична енергия. Радиационна дължина. Електромагнитни и адронни каскади. Калориметри. Идентификация на релативистки частици. Разделяне по скорости. Прагови и диференциални черенковски детектори. Детектори с многократно измерване на $dE/dx$ . |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

**Конспект за изпит**

| №  | Въпрос                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Релативистка кинематика. Преобразувания на Лоренц. Релативистки и динамични инварианти. Лабораторна система и система център на масите. Естествена система единици.                                                                                                                 |
| 2  | S-матрица в представяне на взаимодействието. Фазов обем. Вероятност за преход в единица време. Дву- и тричастични 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. CP-преобразование и системата $K^0$ – анти- $K^0$ .                                                                                                                                               |
| 5  | Основни свойства на елементарните частици. Обща класификация на частиците.                                                                                                                                                                                                          |
| 6  | Източници на високоенергетични частици. Общи изисквания. Ускорители с пряко действие. Резонансни ускорители: линейни и циклични. Ускорители с насрещни снопове (колайдъри).                                                                                                         |
| 7  | Особености на взаимодействието на високоенергетични частици с веществото. Многократно разсейване, йонизационни загуби, спирачно, черенковско и преходно излъчване, ядрени взаимодействия. Взаимодействия на гама-кванти и електрони с веществото. Електромагнитни лавини (каскади). |
| 8  | Методи и детектори за идентификация на частици с висока енергия.                                                                                                                                                                                                                    |
| 9  | Координатни (трекови) детектори: газове, сцинтилационни, полупроводникови. Електромагнитни и адронни калориметри. Детекторни комплекси.                                                                                                                                             |
| 10 | Сили и фундаментални взаимодействия. Интензивност и радиус на действие. Изобразяване на процеси чрез Фейнманови диаграми. Общи характеристики на четирите типа взаимодействия.                                                                                                      |
| 11 | Адрони. Кварков модел на адроните. Кваркови диаграми за процеси, обусловени от силното взаимодействие. SU(3) адронни мултиплети. Тежки кварки. Кварконий.                                                                                                                           |
| 12 | Цветово квантово число. Експериментални доказателства за съществуването на цвят. Квантова хромодинамика.                                                                                                                                                                            |
| 13 | Електромагнитни взаимодействия и структура на елементарните частици. Формфактори. Дълбоко-нееластично разсейване на лептони от нуклони. Кварк-партонен модел.                                                                                                                       |

|     |                                                                                                                                                                                                                              |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14. | Слаби взаимодействия. Лептонни, полуплептонни и безлептонни слаби процеси, файнманови диаграми. Неутрина и техните свойства. Модел на Глешоу, Уайнбърг, Салам. Стандартен модел на фундаменталните частици и взаимодействия. |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### **Библиография**

**Основна:**

1. У. Уилямс , “Физика на ядрото и елементарните частици”, Унив. изд. “Св. Кл. Охридски”, 2000 г.
2. E. M. Henley, A. Garcia, Subatomic Physics , 3<sup>rd</sup> edition, Marston Book Services Ltd., 2007
3. Д. Динев, Ускорители на частици, Акад. изд. “Марин Дринов”, София, 2006 г.;
4. D. Perkins, Introduction to High Energy Physics, 4<sup>th</sup> edition, Cambridge University Press, 2000.
5. Konrad Kleinknecht, Detectors for Particle Radiation, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge Univ. Press, 1999 (Превод на руски на първото издание: К. Клайнкнехт, Детектори корпускулярных излучений, изд. “Мир”, Москва, 1990 г.).

**Допълнителна:**

6. A. Bettini, Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge University Press, 2008;
7. A. Das, T. Ferbel , Introduction to Nuclear and Particle Physics , 2<sup>nd</sup> edition, Marston Book Services Ltd., 2003;
8. L. Ryder, Elementary Particles and Symmetries, Gordon and Breach Science Publishers, 1984
9. F. Halzen, A. Martin, Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics, John Wiley&Sons, 1984 (Превод на руски: Ф. Хелзен, А.Мартин, Кварки и лептони, изд. “Мир”, Москва, 1987).
10. Л. Гольдин, Физика ускорителей, изд. “Наука”, Москва, 1983 г.
11. Физика микромира. Маленькая энциклопедия. изд. “Сов. энцикл.”, Москва, 1980

**Дата:** 11 февруари 2013 г.

**Съставил:** проф. дфн Румен Ценов  
[tsenov@phys.uni-sofia.bg](mailto:tsenov@phys.uni-sofia.bg)  
<http://atomic.phys.uni-sofia.bg/Members/tsenov>