



УТВЪРДИЛ: .....  
(проф. Г. Райновски)  
Декан

Дата .....

## СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

**Факултет: Физически Факултет**

Специалност: (код и наименование)

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

.....  
**Магистърска програма:** (код и наименование)

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

**Физика на аксионите**

### УЧЕБНА ПРОГРАМА

Дисциплина: 

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

(код и наименование)

**Преподавател: гл. ас. д-р Момчил Найденов**

Асистент: гл. ас. д-р Момчил Найденов

| Учебна заетост                        | Форма                                           | Хорариум   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|
| Аудиторна заетост                     | Лекции                                          | 45         |
|                                       | Семинарни упражнения                            | 15         |
|                                       | Практически упражнения (хоспетиране)            | 0          |
| <b>Обща аудиторна заетост</b>         |                                                 |            |
| Извънаудиторна заетост                | Реферат                                         |            |
|                                       | Доклад/Презентация                              | 45         |
|                                       | Научно есе                                      |            |
|                                       | Курсов учебен проект                            |            |
|                                       | Учебна екскурзия                                |            |
|                                       | Самостоятелна работа в библиотека или с ресурси | 30         |
|                                       |                                                 |            |
|                                       |                                                 |            |
| <b>Обща извънаудиторна заетост</b>    |                                                 | <b>75</b>  |
| <b>ОБЩА ЗАЕТОСТ</b>                   |                                                 | <b>135</b> |
| <b>Кредити аудиторна заетост</b>      |                                                 | <b>2</b>   |
| <b>Кредити извънаудиторна заетост</b> |                                                 | <b>2.5</b> |
| <b>ОБЩО ЕКСТ</b>                      |                                                 | <b>4.5</b> |

| №  | Формиране на оценката по дисциплината <sup>1</sup>                             | % от оценката |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1. | Workshops (информационно търсене и колективно обсъждане на доклади и реферати) | 25%           |
| 2. | Изпит                                                                          | 75%           |

#### **Анотация на учебната дисциплина:**

Стандартния модел на елементарните частици е един от най-прецизно тестваните модели в съвременната физика. Въпреки успехът на теорията, съществуват редица фундаментални въпроси, чиито отговори се простират отвъд границите на познатия ни апарат. Пример за нерешени проблеми са ненарушаването на CP четността на силното взаимодействие, барионната асиметрия и природата на тъмната материя. Този курс е посветен на разглеждането на възможни непротиворечиви разширения на настоящата теория, които да дават обяснение за гореизброените въпроси. Ще бъдат разгледани сценарии за описание, раждане и взаимодействие между тъмната материя и познатите ни елементарни частици в космологията, астрофизиката и атомната физика. Ще разглеждаме и различни възможности за детектиране на допълнителни взаимодействия в съществуващи и бъдещи експериментални комплекси.

#### **Предварителни изисквания:**

Материалът изисква познаване на векторното и тензорното смятане, специална теория на относителността, електродинамика, квантова теория на полето, а познания във физиката на елементарните частици и астрофизиката е плюс.

#### **Очаквани резултати:**

Студентите ще придобият знания за строенето на модели извън Стандартния модел, които да включват допълнителни взаимодействия и частици. Ще се запознаят с начините за прилагането на тези модели в различен контекст – космология, астрофизика, атомна физика. Накрая ще бъдат разгледани съществуващи и бъдещи възможности за детектиране на тъмна материя.

### **Учебно съдържание**

| № | Тема:                                                                                                   | Хорариум |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | Мотивация за съществуването на аксиони. Нарушаване на CP четността в силното взаимодействие.            | 3        |
| 2 | Аксионите като псевдо-Голдстонов бозон. Лагранжиан с общо псевдо-скаларно поле. Теория на Pescei-Quinn. | 3        |

<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.

|     |                                                                                                    |   |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 3   | Магнитен момент на неутрона, теоретично изчисление и експериментални данни.                        | 3 |
| 4.  | Ограничения върху пространството на параметрите на аксионите.                                      | 3 |
| 5.  | KSVZ и DFSZ аксиони. Аксионоподобни частици.                                                       | 3 |
| 6.  | Модифицирана електродинамика, решения на уравненията на Максвел.                                   | 3 |
| 7.  | Преход аксион-фотон и фотон-аксион във външно магнитно поле. Ундулатори.                           | 3 |
| 8.  | Ефект на Герценщайн за гравитон; аналогия с аксион.                                                | 3 |
| 9.  | Принос на аксиона в аномалния магнитен момент на заредените лептони.                               | 3 |
| 10. | Астрофизични проявления на аксионите. Генериране на аксиони в неутронни звезди.                    | 3 |
| 11. | Аксиони в космологията като студена тъмна материя, генериране на мини-кълъстери в ранната Вселена. | 3 |
| 12. | Аксионоподобни частици с ефективен милизаряд. Детектиране на халоскопи.                            | 3 |
| 13. | Детекторни комплекси за аксиони – съществуващи и бъдещи проекти.                                   | 3 |
| 14. | Изчисления на Файнамнови диаграми с пакетите X Package и FeynCalc за Wolfram Mathematica.          | 3 |
| 15. | Симулация на събития, сечения на взаимодействие и Монте Карло симулации в CalcHEP.                 | 3 |

### *Конспект за изпит*

| №  | Въпрос                                                                               |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Мотивация за аксиони, аксионни модели и Лагранжиан с псевдоскаларна компонента.      |
| 2. | Пространство на параметрите на аксионите, принос на аксионите в съществуващи ефекти. |
| 3. | Модифицирани уравнения на Максвел и техните решения.                                 |
| 4. | Изчисление на вероятност за преход на аксион във фотон при външно магнитно поле.     |
| 5. | Ефект на Герценщайн.                                                                 |
| 6. | Аксиони като студена тъмна материя; образуване в ранната Вселена.                    |
| 7. | Получаване на ефективен милизаряд на аксиони и възможности за детектиране.           |
| 8. | Детектиране на аксионна тъмна материя.                                               |
| 9. | Компютърни симулации на взаимодействия с аксиони.                                    |

## ***Библиография***

### ***Основна:***

1. M. Peskin and D. Schroeder, An introduction to quantum field theory, 1<sup>st</sup> edition, Addison-Wesley 1995.
2. J. Jackson, Classical electrodynamics, 3<sup>rd</sup> edition, Wiley 1998.
3. G. G. di Corton, E. Hardy, J. Vega and G. Villadoro, The QCD axion, precisely, arXiv:1511.02867 [hep-th].
4. L. di Luzio, M. Giannotti, E. Nardi and L. Visinelli, The landscape of QCD axion models, <https://arxiv.org/pdf/2003.01100>.
5. M. Hobson, G. Efstathiou and A. Lasenby, General relativity: an introduction for physicists, CUP 2006.

### ***Допълнителна:***

1. S. Weinberg, Gravitation and cosmology, Wiley 1972.
2. A. Salvio, A. Strumia, W. Xue, Thermal axion production, <https://arxiv.org/pdf/1310.6982>.

**Дата: 19.06.2025**

**Съставил:**

**/гл. ас. д-р Момчил Найденов/**