

### OPIS PRZEDMIOTU/MODUŁU KSZTAŁCENIA (SYLABUS)

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 1.  | Nazwa przedmiotu/modułu w języku polskim<br>Elektrodynamika kwantowa  |   |
| 1a. | Nazwa przedmiotu/modułu w języku angielskim<br>Quantum Electrodynamics  |   |
| 2.  | Jednostka prowadząca przedmiot<br>Wydział Fizyki i Astronomii   |   |
| 3.  | Kod przedmiotu/modułu<br>24-FZ-S2-E1-KwEld  |   |
| 4.  | Rodzaj przedmiotu/modułu ( <i>obowiązkowy lub fakultatywny</i> )<br>Fakultatywny  |   |
| 5.  | Kierunek studiów<br>Fizyka  |   |
| 6.  | Poziom studiów ( <i>I lub II stopień lub jednolite studia magisterskie</i> )<br>II  |   |
| 7.  | Rok studiów ( <i>jeśli obowiązuje</i> )<br>1  |   |
| 8.  | Semestr ( <i>zimowy lub letni</i> )<br>Zimowy   |   |
| 9.  | Forma zajęć i liczba godzin<br>Wykład 30 godzin, ćwiczenia 30 godzin  |   |
| 10. | Imię, nazwisko, tytuł/stopień naukowy osoby prowadzącej zajęcia<br>Chihiro Sasaki, dr   |   |
| 11. | Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu/modułu oraz zrealizowanych przedmiotów<br>* Mechanika kwantowa<br>* Elektrodynamika<br>* Szczególna teoria względności   |   |
| 12. | Cele przedmiotu<br>* Od nierelatywistycznej do relatywistycznej mechaniki kwantowej<br>* Formalizm lagranżowski dla pól skalarnych, Diraca oraz cechowania<br>* Wstęp do elektrodynamiki kwantowej (QED)<br>* Diagramy Feynmana i ich zastosowania w rachunku zaburzeń<br>* Renormalizacja w elektrodynamice kwantowej<br>* Zastosowania QED: macierz S, przekroje czynne |   |
| 13. | Zakładane efekty kształcenia  | Symbole kierunkowych efektów kształcenia, <i>np.:</i> |

|     |  |   |
|-----|--|---|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Świadomość, że QED to jedna z najdokładniejszych teorii w nowoczesnej fizyce wysokich energii.</li> <li>* Zaznajomienie się z pojęciem renormalizacji.</li> <li>* Znajomość technik matematycznych służących do opisu układów fizycznych w obecności/nieobecności oddziaływań oraz do obliczania wartości różnorodnych wielkości mierzalnych eksperymentalnie.</li> <li>* Ogólna wiedza na temat ostatnich osiągnięć i przyszłych perspektyw w QED i dziedzinach pokrewnych.</li> <li>* Studenci zaznajomią się ze standardową terminologią QED i będą w stanie zdobywać wiedzę na temat zaawansowanej kwantowej teorii pola korzystając z popularnych podręczników i literatury.</li> <li>* Studenci będą w stanie samodzielnie rozwiązać standardowe zadania z QED oraz sprostac wymagającym problemom.</li> <li>* Studenci nabędą wyczucia i intuicji odnośnie układów złożonych.</li> </ul> | <p><i>K_W01*</i>, <i>K_U05</i>, <i>K_K03</i></p> <p><i>K2_W01</i></p><br><p><i>K2_W02</i>, <i>K2_W03</i></p><br><p><i>K2_W06</i></p><br><p><i>K2_U03</i>, <i>K2_U04</i></p><br><p><i>K2_K01</i></p> |
| 14. | <p>Treści programowe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Formalizm lagranżowski, twierdzenie Noether</li> <li>* Kwantowanie pól skalarnych, Diraca i elektromagnetycznego</li> <li>* Równanie Kleina-Gordona, równania Diraca</li> <li>* Reguły Feynmana</li> <li>* Macierz S i przekroje czynne</li> <li>* Rozwinięcie pętlowe i renormalizacja</li> <li>* Tożsamości Warda-Takahashiego, wzory redukcyjne LSZ, twierdzenie optyczne</li> </ul>  |   |
| 15. | <p>Zalecana literatura (<i>podręczniki</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Peskin, Schroeder: An introduction to quantum field theory</li> <li>* Ryder: Quantum Field Theory</li> </ul>  |   |
| 16. | <p>Forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu/modułu, sposób sprawdzenia osiągnięcia zamierzonych efektów kształcenia:</p> <p>wykład: egzamin<br/>seminarium: -<br/>laboratorium: -<br/>konwersatorium: aktywne uczestnictwo<br/>inne: -</p>   |   |
| 17. | <p>Język wykładowy</p> <p>angielski</p>  |   |
| 18. | <p>Obciążenie pracą studenta</p>   |   |
|     | <p>Forma aktywności studenta</p>   | <p>Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności</p>  |

|  |   |                          |
|--|---|--------------------------|
|  | Godziny zajęć (wg planu studiów) z nauczycielem:<br>- wykład:<br>- ćwiczenia:<br>- laboratorium:<br>- inne:   | 30<br>30<br>-<br>-       |
|  | Praca własna studenta np.:<br>- przygotowanie do zajęć:<br>- opracowanie wyników:<br>- czytanie wskazanej literatury:<br>- napisanie raportu z zajęć:<br>- przygotowanie do egzaminu: | 45<br>-<br>15<br>-<br>30 |
|  | Suma godzin   | 150                      |
|  | Liczba punktów ECTS   | 6                        |

\*objaśnienie symboli:

K (przed podkreśleniem) - kierunkowe efekty kształcenia

W - kategoria wiedzy

U - kategoria umiejętności

K (po podkreśleniu) - kategoria kompetencji społecznych

01, 02, 03 i kolejne - numer efektu kształcenia

## COURSE/MODULE DESCRIPTION (SYLLABUS)

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 1.  | Course/module<br>Quantum Electrodynamics  |  |
| 2.  | University department<br>Faculty of Physics and Astronomy   |  |
| 3.  | Course/module code<br>24-FZ-S2-E1-KwEId   |  |
| 4.  | Course/module type – mandatory (compulsory) or elective (optional)<br>Optional  |  |
| 5.  | University subject (programme/major)<br>Physics   |  |
| 6.  | Degree: ( <i>master, bachelor</i> )<br>Master   |  |
| 7.  | Year<br>1   |  |
| 8.  | Semester ( <i>autumn, spring</i> )<br>Autumn  |  |
| 9.  | Form of tuition and number of hours<br>Lectures 30 hours, classes 30 hours  |  |
| 10. | Name, Surname, academic title<br>Chihiro Sasaki, Dr.  |  |
| 11. | Initial requirements (knowledge, skills, social competences) regarding the course/module and its completion<br>* Quantum Mechanics<br>* Electrodynamics<br>* Special Relativity   |  |
| 12. | Objectives<br>* From non-relativistic to relativistic quantum mechanics<br>* Lagrangian formalism of scalar, Dirac and gauge fields<br>* Introduction to Quantum Electrodynamics (QED)<br>* Feynman diagrams and their application to perturbation theory<br>* Renormalization in QED<br>* Application of QED: S matrix, cross sections |  |
| 13. | Learning outcomes<br>* Knowledge of the concept of QED as one of the most precise theories in modern high-energy physics.<br>* Knowledge of the concept of renormalization.<br><br>* Mathematical techniques to describe physics systems in the presence/absence of interactions and to compute various observables to be measured in   | Outcome symbols:<br><br><i>K2_W01</i><br><br><br><br><i>K2_W02, K2_W03</i> |

|   | <p>experiments.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* General knowledge of recent developments and future perspectives in QED and related area.</li> <li>* Students will become familiar with the standard terminology in QED and will become capable in learning advanced quantum field theory using the major textbooks and literature.</li> <li>* Students will become capable for working out the standard tasks in QED unaided and for challenging advanced problems.</li> <li>* Students will have a logical feeling and intuition for complex systems.</li> </ul>  | <p><i>K2_W06</i></p> <p><i>K2_U03, K2_U04</i></p> <p><i>K2_K01</i></p> |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
|---|--|--|--|---|----|------------|----|------------|---|---------------|---|----------|---|--|
| 14.   | <p>Content</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Lagrangian formalism, Noether theorem</li> <li>* Quantization of a scalar, Dirac and electromagnetic fields</li> <li>* Klein-Gordon equation, Dirac equation</li> <li>* Feynman rules</li> <li>* S matrix and cross sections</li> <li>* Loop expansions and renormalization</li> <li>* Ward-Takahashi identity, LSZ reduction formula, optical theorem</li> </ul>  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| 15.   | <p>Recommended literature</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Peskin, Schroeder: An introduction to quantum field theory</li> <li>* Ryder: Quantum Field Theory</li> </ul>  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| 16.   | <p>Ways of earning credits for the completion of a course /particular component, methods of assessing academic progress:</p> <p>lecture: examinations</p> <p>class: active participation</p> <p>laboratory:</p> <p>seminar:</p> <p>other:</p>  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| 17.   | <p>Language of instruction</p> <p>English</p>  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| 18.   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Activity</th> <th style="text-align: center;">Average number of hours for the activity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hours of instruction (as stipulated in study programme) :</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>- lecture:</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>- classes:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>- laboratory:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>- other:</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table> | Activity   | Average number of hours for the activity | Hours of instruction (as stipulated in study programme) : | 30 | - lecture: | 30 | - classes: | - | - laboratory: | - | - other: | - |  |
| Activity  | Average number of hours for the activity   |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| Hours of instruction (as stipulated in study programme) : | 30   |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| - lecture:  | 30   |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| - classes:  | -  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| - laboratory:   | -  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |
| - other:  | -  |  |  |   |    |            |    |            |   |               |   |          |   |  |

|  |     |
|--|-----|
| student's own work, e.g.:                  | 45  |
| - preparation before class (lecture, etc.) | -   |
| - research outcomes:                       | 15  |
| - reading set literature:                  | -   |
| - writing course report:                   | 30  |
| - preparing for exam:                      |     |
| Hours                                      | 150 |
| Number of ECTS                             | 6   |

\* Key to symbols:

K (before underscore) - learning outcomes for the programme

W - knowledge

U - skills

K (after underscore) - social competences

01, 02, 03 and subsequent - consecutive number of learning outcome