**Nazwa przedmiotu:**

Elektrodynamika kwantowa

**Koordynator przedmiotu:**

dr hab. Jerzy Jasiński

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Fizyka Techniczna

**Grupa przedmiotów:**

Obowiązkowe

**Kod przedmiotu:**

1050-FT000-MSP-3EKW

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2020/2021

**Liczba punktów ECTS:**

4

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

1. godziny kontaktowe – 52 h; w tym
 a) obecność na wykładach – 45 h
 c) obecność na egzaminie – 2 h
 d) uczestniczenie w konsultacjach – 5 h
2. praca własna studenta – 45 h; w tym
 a) przygotowanie do kolokwiów – 10 h
 b) zapoznanie się z literaturą – 10 h
 c) przygotowanie do egzaminu – 15 h
 d) rozwiązywanie zadań domowych - 10 h
Razem w semestrze 97 h, co odpowiada 4 pkt. ECTS

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

1. obecność na wykładach – 45 h
2. obecność na egzaminie – 2 h
3. uczestniczenie w konsulatacjach – 5 h
Razem w semestrze 52 h, co odpowiada 2 pkt. ECTS

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

1. rozwiązywanie zadań domowych –5 h
Razem w semestrze 5 h, co odpowiada 0 pkt. ECTS

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 45h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Przedmioty poprzedzające: Elektrodynamika, Mechanika, Fizyka kwantowa, Podstawy optyki.
Znajomość Elektrodynamiki w zakresie:
 - równania Maxwella – pola elektryczne i magnetyczne
 - równanie falowe – potencjały pól
Znajomość Mechaniki klasycznej w zakresie:
 - formalizm Lagrange'a
 - równania Hamiltona
Znajomość Fizyki kwantowej w zakresie
 - równanie Schrödingera, funkcja falowa, stany i operatory
 - obraz Schrödingera i Heisenberga, druga kwantyzacja
 - budowa atomu
 - własności bozonów i fermionów
Znajomość Podstaw optyki w zakresie
 - własności fal elektromagnetycznych – fale płaskie i ich superpozycja
 - energia i strumień energii fali
 - emisja i absorpcja światła

**Limit liczby studentów:**

**Cel przedmiotu:**

Poszerzenie wiedzy studenta w zakresie kwantowego opisu fal elektromagnetycznych i ich oddziaływań z atomami. Student nabywa umiejętności interpretacji światła jako strumienia fotonów.

**Treści kształcenia:**

Wykład:
1. Kwantowy oscylator harmoniczny. Stany własne i poziomy energetyczne kwantowego oscylatora harmonicznego. Stany koherentne i niekoherentne. Statystyka stanów. Ewolucja stanów w czasie.
2. Pole elektromagnetyczne w opisie kwantowym. Hamiltonian swobodnego pola elektromagnetycznego. Stany pola i ich swobodna ewolucja. Fotony. Hamiltonian oddziaływania pola z atomami. Ewolucja pola pod wpływem oddziaływania w obrazie Heisenberga.
3. Słabe oddziaływanie pola z atomami. Oddziaływanie jako zaburzenie. Diagramy energii. Przybliżenie Borna w opisie oddziaływania. Złota reguła Fermiego. Oddziaływania 1-fotonowe. Zjawiska absorpcji, emisji spontanicznej i wymuszonej. Rozkład Plancka i Bosego-Einsteina.
4. Oddziaływanie pola z atomami w pobliżu rezonansu. Hamiltonian oddziaływania rezonansowego atomu i pola w przybliżeniu dipolowym. Przybliżenie atomu 2-poziomowego i wirującej fali. Atom 2-poziomowy we wnęce rezonansowej. Oscylacje Rabiego.
5. Klasyczny opis drgań w pobliżu rezonansu. Drgania własne i wymuszone. Klasyczne równania Blocha. Propagacja amplitudy i fazy pola.
6. Pola niestacjonarne. Oddziaływanie atomu 2-poziomowego z zadanym polem. Równania Blocha bez tłumienia. Soliton kwantowy. Twierdzenie o polu.
7. Laser. Tłumienie w równaniach Blocha. Szum. Stacjonarne i niestacjonarne pole w laserze.
8. Kwantowa teoria koherencji. Klasyczna koherencja pierwszego i wyższych rzędów. Korelacja kwantowa. Stany klasyczne i kwantowe. Statystyka fotonów w świetle i jej związek z koherencją drugiego rzędu.
9. Nieklasyczne stany pola elektromagnetycznego. Stany ściśnięte. Stany kota Schrödingera.
10. Wybrane układy optyczne w opisie kwantowym. Dzielnik wiązki

**Metody oceny:**

Egzamin pisemny. Studenci opisują 2 spośród 15 zagadnień egzaminacyjnych, na jakie został podzielony program wykładu. Lista zagadnień podawana jest na 2 tygodnie przed egzaminem. Zagadnienia do opracowania są przydzielane są indywidualnie na egzaminie. Ocena z egzaminu określa umiejętność interpretacji przez studenta fizycznych założeń potrzebnych do opisu danego zagadnienia i fizycznych konsekwencji takiego opisu.

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

1. 1. C. G. Gerry, P. L. Knight, „Wstęp do optyki kwantowej”, PWN, Warszawa, 2007
2. H. Haken, „Światło. Fale, fotony, atomy”, PWN, Warszawa, 1993
3. Koichi Shimoda, „Wstęp do fizyki laserów”, PWN, Warszawa, 1993
4. L. Allen, J. H. Eberly, K. Rzążewski, „Rezonans optyczny”, PWN, Warszawa, 1981
5. Michael A. Parker, "Physics of Optoelectronics", Taylor & Francis, Boca Raton, 2005

**Witryna www przedmiotu:**

**Uwagi:**

## Efekty przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Efekt EKW\_W01:**

Zna i rozumie zjawiska określające pole elektromagnetyczne jako obiekt kwantowy, wie kiedy muszą być brane pod uwagę.

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_W01, FT2\_W03

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_W01, T2A\_W01, X2A\_W03, X2A\_W04, X2A\_W05, T2A\_W03, T2A\_W04, InzA\_W02, InzA\_W05

**Efekt EKW\_W02:**

Zna i rozumie sposób kwantowego opisu pola elektromagnetycznego.

Weryfikacja:

egzamin
kolokwium
zadania domowe

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_W01, FT2\_W02

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_W01, T2A\_W01, X2A\_W02, T2A\_W01, T2A\_W02

**Efekt EKW\_W03:**

Zna i rozumie kwantowy charakter oddziaływania fali elektromagnetycznej z atomami ośrodka.

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_W02, FT2\_W03, FT2\_W04

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_W02, T2A\_W01, T2A\_W02, X2A\_W03, X2A\_W04, X2A\_W05, T2A\_W03, T2A\_W04, InzA\_W02, InzA\_W05, X2A\_W06, T2A\_W05, T2A\_W07

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Efekt EKW\_U01:**

Potrafi zastosować opis kwantowy do różnych pól elektromagnetycznych.

Weryfikacja:

kolokwium

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_U06, FT2\_U10

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_U02, X2A\_U04, T2A\_U09, X2A\_U02, T2A\_U11

**Efekt EKW\_U02:**

Potrafi opisać efekty oddziaływania pola elektromagnetycznego z atomami.

Weryfikacja:

kolokwium

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_U06, FT2\_U10

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_U02, X2A\_U04, T2A\_U09, X2A\_U02, T2A\_U11

**Efekt EKW\_U03:**

Umie opisać w sposób kwantowy mechanizmy emisji światła oraz działanie wybranych układów optycznych.

Weryfikacja:

kolokwium, egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_U01, FT2\_U04, FT2\_U06, FT2\_U09

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_U03, T2A\_U01, X2A\_U07, T2A\_U05, X2A\_U02, X2A\_U04, T2A\_U09, X2A\_U04, T2A\_U10

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Efekt EK\_K01:**

Potrafi pracować indywidualnie w celu realizacji określonego zadania.

Weryfikacja:

kolokwium
zadania domowe
egzamin

**Powiązane efekty kierunkowe:** FT2\_K02

**Powiązane efekty obszarowe:** X2A\_K05, T2A\_K01