

# POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

## KARTA PRZEDMIOTU

obowiązuje studentów rozpoczynających studia w roku akademickim 2014/2015

Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki

Kierunek studiów: Nanotechnologie i nanomateriały

Profil: Ogólnoakademicki

Forma studiów: stacjonarne

Kod kierunku: NN

Stopień studiów: I

Specjalności: Inżynieria nanostruktur

### 1 INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

|                                         |                            |
|-----------------------------------------|----------------------------|
| NAZWA PRZEDMIOTU                        | Zjawiska mikroskopowe      |
| NAZWA PRZEDMIOTU<br>W JĘZYKU ANGIELSKIM |                            |
| KOD PRZEDMIOTU                          | WFMiI NN oIS D1 14/15      |
| KATEGORIA PRZEDMIOTU                    | Przedmioty specjalnościowe |
| LICZBA PUNKTÓW ECTS                     | 4.00                       |
| SEMESTRY                                | 5                          |

### 2 RODZAJ ZAJĘĆ, LICZBA GODZIN W PLANIE STUDIÓW

| SEMESTR | WYKŁAD | ĆWICZENIA | LABORATORIUM | LABORATORIUM<br>KOMPUTERO-<br>WE | SEMINARIUM | PROJEKT |
|---------|--------|-----------|--------------|----------------------------------|------------|---------|
| 5       | 30     | 30        | 0            | 0                                | 0          | 0       |

### 3 CELE PRZEDMIOTU

**Cel 1** Zapoznanie studentów z podstawami fizyki kwantowej

**Cel 2** Zapoznanie studentów z podstawami teoretycznymi mechaniki kwantowej

**Cel 3** Zapoznanie studentów z metodami rozwiązywania równania Schroedingera dla wybranych potencjałów

Cel 4 Zapoznanie studentów z metodą rozwiązywania równania Schroedingera dla atomu wodoru

Cel 5 Zapoznanie studentów z pojęciem spinu w mechanice kwantowej

Cel 6 Zapoznanie studentów z elementarnymi zagadnieniami wielociałowymi w mechanice kwantowej

## 4 WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

1 Zaliczenie kursu matematyki i fizyki ogólnej

## 5 EFEKTY KSZTAŁCENIA

**EK1 Wiedza** Student potrafi wskazać fakty doświadczalne sprzeczne z mechaniką klasyczną

**EK2 Umiejętności** Student potrafi wyprowadzić tzw. przesunięcie comptonowskie

**EK3 Wiedza** Student potrafi wyjaśnić podstawy formalizmu mechaniki kwantowej

**EK4 Umiejętności** Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla kilku potencjałów

**EK5 Wiedza** Student potrafi wyjaśnić technikę operatorów drabinkowych

**EK6 Umiejętności** Student potrafi rozwiązać problem własny kwadratu momentu pędu oraz jego składowej z-owej

**EK7 Wiedza** Student rozumie konsekwencje komutacji operatorów hermitowskich

**EK8 Umiejętności** Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru

**EK9 Wiedza** Student potrafi uzasadnić potrzebę wprowadzenia operatora spinu w mechanice kwantowej

**EK10 Umiejętności** Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym

## 6 TREŚCI PROGRAMOWE

| WYKŁAD    |                                                                                                                                      |                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| LP        | TEMATYKA ZAJĘĆ<br>OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH                                                                               | LICZBA<br>GODZIN |
| <b>W1</b> | Podstawy doświadczalne fizyki kwantowej                                                                                              | 4                |
| <b>W2</b> | Hipoteza de Broglie'a i zasada nieoznaczoności Heisenberga                                                                           | 2                |
| <b>W3</b> | Pojęcie operatora hermitowskiego, przestrzeni Hilberta, promienia przestrzeni Hilberta; warunek ortonormalności i zupełności         | 2                |
| <b>W4</b> | Postulaty mechaniki kwantowej                                                                                                        | 2                |
| <b>W5</b> | Rozwiązanie równania Schroedingera dla: a) cząstki swobodnej i cząstki w pudle; b) bariery potencjalnej; c) oscylatora harmonicznego | 6                |
| <b>W6</b> | Problem własny kwadratu operatora momentu pędu (operatory drabinkowe) i rozwiązanie równania Schroedingera dla atomu wodoru          | 6                |
| <b>W7</b> | Operator spinu i funkcja stanu dla atomu wodoru w polu magnetycznym                                                                  | 4                |

| WYKŁAD    |                                                                                            |                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| LP        | TEMATYKA ZAJĘĆ<br>OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH                                     | LICZBA<br>GODZIN |
| <b>W8</b> | Atomy wieloelektronowe - nierozdzielność cząstek; symetria funkcji falowej; zakaz Pauliego | 4                |

| ĆWICZENIA |                                                             |                  |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------|
| LP        | TEMATYKA ZAJĘĆ<br>OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH      | LICZBA<br>GODZIN |
| <b>C1</b> | Rozwiązanie prostych zadań skorelowanych z tematyką wykładu | 30               |

## 7 NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

**N1** Wykłady

**N2** Zadania tablicowe

**N3** Konsultacje

## 8 OBCIĄŻENIE PRACĄ STUDENTA

| FORMA AKTYWNOŚCI                                                                                 | ŚREDNIA LICZBA GODZIN<br>NA ZREALIZOWANIE<br>AKTYWNOŚCI |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim, w tym:</b>                                     |                                                         |
| Godziny wynikające z planu studiów                                                               | 60                                                      |
| Konsultacje przedmiotowe                                                                         | 15                                                      |
| Egzaminy i zaliczenia w sesji                                                                    | 5                                                       |
| <b>Godziny bez udziału nauczyciela akademickiego wynikające z nakładu pracy studenta, w tym:</b> |                                                         |
| Przygotowanie się do zajęć, w tym studiowanie zalecanej literatury                               | 20                                                      |
| Opracowanie wyników                                                                              | 20                                                      |
| Przygotowanie raportu, projektu, prezentacji, dyskusji                                           | 0                                                       |
| <b>SUMARYCZNA LICZBA GODZIN DLA PRZEDMIOTU WYNIKAJĄCA Z<br/>CAŁEGO NAKŁADU PRACY STUDENTA</b>    | <b>120</b>                                              |
| SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS DLA PRZEDMIOTU                                                    | 4.00                                                    |

## 9 SPOSOBY OCENY

### OCENA FORMUJĄCA

**F1** Kolokwium

**F2** Odpowiedź ustna

**F3** Zadanie tablicowe

### OCENA PODSUMOWUJĄCA

**P1** Zaliczenie pisemne

**P2** Egzamin ustny

**P3** Egzamin pisemny

**P4** Średnia ważona ocen formujących

### KRYTERIA OCENY

| EFEKT KSZTAŁCENIA 1 |                                                                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie zna podstaw doświadczalnych mechaniki kwantowej                                                                          |
| NA OCENĘ 3.0        | Student potrafi omówić jedno wybrane przez siebie doświadczenie, którego interpretacja jest niemożliwa w ramach mechaniki klasycznej |
| NA OCENĘ 3.5        | Student potrafi wyjaśnić efekt fotoelektryczny                                                                                       |
| NA OCENĘ 4.0        | Student potrafi omówić prawo promieniowania ciała doskonale czarnego                                                                 |
| NA OCENĘ 4.5        | Student potrafi omówić doświadczenie Davissona-Germera                                                                               |
| NA OCENĘ 5.0        | Student zna wszystkie omawiane doświadczenia i potrafi pokazać na czym polega ich sprzeczność z prawami teorii klasycznych           |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 2 |                                                                                                                                      |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie zna efektu Comptona                                                                                                      |
| NA OCENĘ 3.0        | Student potrafi omówić doświadczenie wykazujące efekt Comptona                                                                       |
| NA OCENĘ 3.5        | Student potrafi zapisać równanie na zachowanie energii w efekcie Comptona                                                            |
| NA OCENĘ 4.0        | Student potrafi zapisać równanie na zachowanie pędu w efekcie Comptona                                                               |
| NA OCENĘ 4.5        | Student potrafi zapisać układ równań na wielkości wyznaczane                                                                         |
| NA OCENĘ 5.0        | Student potrafi wyprowadzić formułę na przesunięcie comptonowskie                                                                    |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 3 |                                                                                                                                      |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie zna postulatów mechaniki kwantowej                                                                                       |
| NA OCENĘ 3.0        | Student zna I postulat mechaniki kwantowej                                                                                           |

|                     |                                                                                                                                                    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NA OCENĘ 3.5        | Student zna I i II postulat mechaniki kwantowej                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.0        | Student zna I, II i III postulat mechaniki kwantowej                                                                                               |
| NA OCENĘ 4.5        | Student zna I, II, III i IV postulat mechaniki kwantowej                                                                                           |
| NA OCENĘ 5.0        | Student zna wszystkie postulaty mechaniki kwantowej                                                                                                |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 4 |                                                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie potrafi rozwiązać równania Schroedingera żadnego przykładu                                                                             |
| NA OCENĘ 3.0        | Student potrafi rozwiązać równania Schroedingera dla cząstki swobodnej                                                                             |
| NA OCENĘ 3.5        | Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla jednowymiarowej studni potencjalnej                                                           |
| NA OCENĘ 4.0        | Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla jednowymiarowej studni potencjalnej i wyjaśnić pochodzenie kwantowania energii                |
| NA OCENĘ 4.5        | Student potrafi rozwiązać równania Schroedingera dla cząstki w potencjale typu skończonej bariery i obliczyć współczynnik transmisji               |
| NA OCENĘ 5.0        | Student potrafi rozwiązać równania Schroedingera dla oscylatora harmonicznego                                                                      |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 5 |                                                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie zna techniki operatorów drabinkowych                                                                                                   |
| NA OCENĘ 3.0        | Student potrafi zdefiniować operatory drabinkowe $L_+$ i $L_-$                                                                                     |
| NA OCENĘ 3.5        | Student potrafi policzyć komutator $[L_x, L_y]$                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.0        | Student potrafi policzyć komutator $[L^2, L_z]$                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.5        | Student potrafi wyrazić operator $L^2$ za pomocą operatorów $L_+$ i $L_-$                                                                          |
| NA OCENĘ 5.0        | Student potrafi zastosować technikę operatorów drabinkowych do działania operatorów $L_+$ i $L_-$ na funkcje stanu                                 |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 6 |                                                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie potrafi rozwiązać problemu własnego składowej z-towej operatora momentu pędu                                                           |
| NA OCENĘ 3.0        | Student potrafi rozwiązać problemu własnego składowej z-towej operatora momentu pędu                                                               |
| NA OCENĘ 3.5        | Student potrafi zapisać równanie własne kwadratu operatora momentu pędu oraz jego składowej z-towej korzystając z techniki operatorów drabinkowych |
| NA OCENĘ 4.0        | Student potrafi pokazać, że operatory $L_+$ i $L_-$ zwiększają i obniżają liczbę kwantową $m$ odpowiednio o jeden                                  |
| NA OCENĘ 4.5        | Student potrafi wykazać, że istnieje maksymalna i minimalna wartość liczby kwantowej $m$                                                           |

|                      |                                                                                                                                                            |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NA OCENĘ 5.0         | Student potrafi rozwiązać problem własny kwadratu operatora momentu pędu z kompletną dyskusją rozwiązań                                                    |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 7  |                                                                                                                                                            |
| NA OCENĘ 2.0         | Student nie zna definicji operatorów hermitowskich                                                                                                         |
| NA OCENĘ 3.0         | Student zna definicję operatorów hermitowskich                                                                                                             |
| NA OCENĘ 3.5         | Student zna pojęcie promienia w przestrzeni Hilberta i potrafi go powiązać z funkcją stanu                                                                 |
| NA OCENĘ 4.0         | Student zna konsekwencje fizyczne komutacji operatorów hermitowskich                                                                                       |
| NA OCENĘ 4.5         | Student potrafi wykazać, że komutacja operatorów hermitowskich implikuje wspólną bazę funkcji własnych dla tych operatorów                                 |
| NA OCENĘ 5.0         | Student potrafi wykazać, że komutacja operatorów hermitowskich implikuje wspólną bazę funkcji własnych dla tych operatorów i pokazać implikacje tego faktu |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 8  |                                                                                                                                                            |
| NA OCENĘ 2.0         | Student nie potrafi zapisać równania Schroedingera dla atomu wodoru                                                                                        |
| NA OCENĘ 3.0         | Student potrafi policzyć komutator hamiltonianu dla atomu wodoru i kwadratu operatora momentu pędu                                                         |
| NA OCENĘ 3.5         | Student potrafi zapisać równanie Schroedingera dla atomu wodoru we współrzędnych sferycznych                                                               |
| NA OCENĘ 4.0         | Student potrafi rozseparować równanie Schroedingera dla atomu wodoru na część kątową i radialną                                                            |
| NA OCENĘ 4.5         | Student potrafi rozwiązać radialne równanie                                                                                                                |
| NA OCENĘ 5.0         | Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru i przeprowadzić dyskusję rozwiązań                                                       |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 9  |                                                                                                                                                            |
| NA OCENĘ 2.0         | Student nie potrafi uzasadnić potrzeby wprowadzenia operatora spinu                                                                                        |
| NA OCENĘ 3.0         | Student potrafi opisać doświadczenie Sterna-Gerlacha                                                                                                       |
| NA OCENĘ 3.5         | Student potrafi uzasadnić potrzebę wprowadzenia reprezentacji macierzowej dla operatora spinu                                                              |
| NA OCENĘ 4.0         | Student potrafi przeprowadzić konstrukcję macierzową operatora spinu                                                                                       |
| NA OCENĘ 4.5         | Student zna własności macierzy Pauliego                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 5.0         | Student potrafi przeprowadzić konstrukcję macierzową operatora spinu i pokazać własności macierzy Pauliego                                                 |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 10 |                                                                                                                                                            |

|              |                                                                                                                                              |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NA OCENĘ 2.0 | Student nie potrafi wyrazić operatora momentu magnetycznego za pomocą operatora spinu                                                        |
| NA OCENĘ 3.0 | Student potrafi wyrazić operator momentu magnetycznego za pomocą operatora spinu                                                             |
| NA OCENĘ 3.5 | Student potrafi zapisać równanie Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym                                                          |
| NA OCENĘ 4.0 | Student potrafi wykorzystać rozwiązanie równania Schroedingera dla atomu wodoru bez pola magnetycznego dla naszego przypadku                 |
| NA OCENĘ 4.5 | Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym                                                        |
| NA OCENĘ 5.0 | Student potrafi rozwiązać równanie Schroedingera dla atomu wodoru w polu magnetycznym i wytłumaczyć efekt Zeemana w słabym polu magnetycznym |

## 10 MACIERZ REALIZACJI PRZEDMIOTU

| EFEKT KSZTAŁCENIA | ODNIESIENIE DANEGO EFEKTU DO SZCZEGÓŁOWYCH EFEKTÓW ZDEFINIOWANYCH DLA PROGRAMU | CELE PRZEDMIOTU | TREŚCI PROGRAMOWE | NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE | SPOSOBY OCENY |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| EK1               | K_W15, K_W05                                                                   | Cel 1           | W1                | N1 N2 N3              | F1            |
| EK2               | K_U06, K_U10                                                                   | Cel 1           | W1                | N1 N2 N3              | F1            |
| EK3               | K_W15, K_W05                                                                   | Cel 2           | W2 W3 W4          | N1 N2 N3              | F1            |
| EK4               | K_U06, K_U10                                                                   | Cel 3           | W5                | N1 N2 N3              | F1            |
| EK5               | K_W15, K_W05                                                                   | Cel 4           | W6                | N1 N2                 | F1            |
| EK6               | K_U06, K_U10                                                                   | Cel 4           | W6                | N1 N2                 | F1            |
| EK7               | K_W15, K_W05                                                                   | Cel 4           | W6                | N1 N2 N3              | F1            |
| EK8               | K_U06, K_U10                                                                   | Cel 5           | W7                | N1 N2 N3              | F1            |
| EK9               | K_W15, K_W05                                                                   | Cel 6           | W7                | N1 N2                 | F1            |

| EFEKT KSZTAŁCENIA | ODNIESIENIE DANEGO EFEKTU DO SZCZEGÓŁOWYCH EFEKTÓW ZDEFINIOWANYCH DLA PROGRAMU | CELE PRZEDMIOTU | TREŚCI PROGRAMOWE | NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE | SPOSOBY OCENY |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| EK10              | K_U06, K_U10                                                                   | Cel 6           | W8                | N1 N2 N3              | F1            |

## 11 WYKAZ LITERATURY

### LITERATURA PODSTAWOWA

[1] | R. Shankar — *Mechanika kwantowa*, Warszawa, 2006, PWN

[2] | K. Wódkiewicz, J.B. Brojan, J. Mostowski — *Zbiór zadań z mechaniki kwantowej*, Warszawa, 1978, PWN

### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

[1] | L.I. Schiff — *Mechanika kwantowa*, Warszawa, 1977, PWN

## 12 INFORMACJE O NAUCZYCIELACH AKADEMICKICH

### OSOBA ODPOWIEDZIALNA ZA KARTĘ

prof. dr hab. Włodzimierz Wójcik (kontakt: puwojcik@cyf-kr.edu.pl)

### OSOBY PROWADZĄCE PRZEDMIOT

1 prof. dr hab. Włodzimierz Wójcik (kontakt: puwojcik@cyf-kr.edu.pl)

2 dr Robert Gębarowski (kontakt: rgebarowski@pk.edu.pl)

## 13 ZATWIERDZENIE KARTY PRZEDMIOTU DO REALIZACJI

(miejscowość, data)

(odpowiedzialny za przedmiot)

(dziekan)

PRZYJMUJĘ DO REALIZACJI (data i podpisy osób prowadzących przedmiot)

.....  
.....