



Nazwa modułu: Podstawy informatyki kwantowej

Rok akademicki: 2018/2019 Kod: JIS-2-017-AD-s Punkty ECTS: 4

Wydział: Fizyki i Informatyki Stosowanej

Kierunek: Informatyka Stosowana Specjalność: Modelowanie i analiza danych

Poziom studiów: Studia II stopnia Forma i tryb studiów: Stacjonarne

Język wykładowy: Polski Profil kształcenia: Ogólnoakademicki (A) Semestr: 0

Strona www: —

Osoba odpowiedzialna: prof. dr hab. Bednarek Stanisław (bednarek@fis.agh.edu.pl)

Osoby prowadzące: prof. dr hab. Bednarek Stanisław (bednarek@fis.agh.edu.pl)

### Krótką charakterystyka modułu

Wstęp do Informatyki Kwantowej ma na celu umożliwić zrozumienie algorytmów kwantowych przez informatyków (nie fizyków) i przygotowanie ich do badań w tym zakresie.

### Opis efektów kształcenia dla modułu zajęć

Kod EKM	Student, który zaliczył moduł zajęć wie/umie/potrafi	Powiązania z EKK	Sposób weryfikacji efektów kształcenia (forma zaliczeń)
Wiedza			
M_W006	Student poznaje podstawy mechaniki kwantowej, możliwe realizacje bitu kwantowego oraz zasady działania bramek kwantowych	IS2A_W01, IS2A_W04, IS2A_W03	Aktywność na zajęciach, Kolokwium
M_W007	Poznaje podstawowe algorytmy kwantowe.	IS2A_W01, IS2A_W05	Aktywność na zajęciach, Kolokwium
Umiejętności			
M_U007	Potrafi opisać proste układy kwantowe a w szczególności ich ewolucję czasową.	IS2A_U02, IS2A_U06, IS2A_U04	Aktywność na zajęciach, Kolokwium, Wykonanie ćwiczeń
M_U008	Zrozumie zasady tworzenia bitu kwantowego i utworzonych z nich rejestrów oraz potrafi opisać wykonywane na nich operacje logiczne.	IS2A_U02, IS2A_U06, IS2A_U04	Aktywność na zajęciach, Kolokwium, Wykonanie ćwiczeń
M_U009	Potrafi układać proste algorytmy kwantowe	IS2A_U06, IS2A_U04	Aktywność na zajęciach, Kolokwium, Udział w dyskusji

**Matryca efektów kształcenia w odniesieniu do form zajęć**

Kod EKM	Student, który zaliczył moduł zajęć wie/umie/potrafi	Forma zajęć										
		Wykład	Ćwiczenia audytorijne	Ćwiczenia laboratoryjne	Ćwiczenia projektowe	Konwersatorium	Zajęcia seminaryjne	Zajęcia praktyczne	Zajęcia terenowe	Zajęcia warsztatowe	Inne	E-learning
Wiedza												
M_W006	Student poznaje podstawy mechaniki kwantowej, możliwe realizacje bitu kwantowego oraz zasady działania bramek kwantowych	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_W007	Poznaje podstawowe algorytmy kwantowe.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiejętności												
M_U007	Potrafi opisać proste układy kwantowe a w szczególności ich ewolucję czasową.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U008	Zrozumie zasady tworzenia bitu kwantowego i utworzonych z nich rejestrów oraz potrafi opisać wykonywane na nich operacje logiczne.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U009	Potrafi układać proste algorytmy kwantowe	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Treść modułu zajęć (program wykładów i pozostałych zajęć)****Wykład**Wstęp (2 godz.).

Mechanika klasyczna a układy mikroskopowe, funkcja stanu i jej probabilistyczna interpretacja, wartości własne i funkcje własne wielkości fizycznych.

Podstawowe narzędzia mechaniki kwantowej (2 godz.).

Różne postacie operatorów, operatory hermitowskie, postulaty mechaniki kwantowej.

Przestrzeń stanów (2 godz.).

Przestrzeń Hilberta, reprezentacja położeniowa, kwantowanie.

Najprostsze zastosowania (2 godz.).

Cząstka swobodna w przestrzeni jednowymiarowej w reprezentacji położeniowej, operatory położenia, pędu i energii w reprezentacji położeniowej, degeneracja wartości własnych, liczby kwantowe.

Stany związane w przestrzeni jednowymiarowej (2 godz.).

Prostokątna jama potencjału, nieskończone głęboka studnia potencjału, oscylator harmoniczny, pudło periodyczności.

Ciągłe widmo wartości własnych (2 godz.).

Cząstka w obecności schodkowego potencjału, rozpraszanie na studni potencjału i tunelowanie przez barierę potencjału.

Numeryczne rozwiązywanie równania własnego (2 godz.).

Komputerowe ilustracje problemów jednowymiarowych.

Ewolucja czasowa układów kwantowych (2 godz.).

Zależne od czasu równanie Schrodingera, "spoczywający" pakiet falowy pakiet falowy z niezerowym pędem.

Przestrzeń trójwymiarowa (2 godz.).

Metoda separacji zmiennych, cząstka swobodna w trzech wymiarach, operator momentu pędu, rzut momentu pędu na wybrany kierunek. Funkcje własne i wartości własne operatora kwadratu momentu pędu.

Spin (2 godz.).

Operator spinu i jego funkcje własne, macierze Pauliego, funkcja falowa elektronu z uwzględnieniem spinu, układy złożone z kilku cząstek, związek symetrii funkcji falowych ze spinem, podział funkcji falowej na część przestrzenną i spinową.

Komputer kwantowy (2 godz.).

Kubit – podstawowa jednostka informacji, reprezentacja macierzowa dla układów dwustanowych, operator rzutowy, pomiar rzutowy, operacje na kubitach (procesor), ewolucja czasowa układu dwustanowego, oscylacje Rabięgo, najprostsze bramki logiczne.

Układy dwu-kubitowe (2 godz.).

Dwukubitowe bramki kwantowe, bramka kontrolowanej negacji CNOT, stany splątane i rozkładalne, paradoks EPR, ograniczenia działania bramek kwantowych, twierdzenie o nieklonowaniu.

Najprostsze zastosowania i algorytmy (2 godz.).

Teleportacja informacji kwantowej, kodowanie supergęste.

Rejestry wielokubitowe, najbardziej obiecujące algorytmy kwantowe (2 godz.).

Teleportacja informacji kwantowej, kodowanie supergęste. Najbardziej obiecujące algorytmy kwantowe (2 godz.).

### **Ćwiczenia audytoryjne**

Operatory różniczkowe i nie tylko, operacje złożone, komutatory, wartości i wektory własne, wartości oczekiwane (4 godz.).

- student uczy się posługiwać podstawowymi narzędziami pracy mechaniki kwantowej (operatorami w różnej postaci).
- potrafi wyliczyć potęgę operatora, komutatory operatorów, wartości oczekiwane w zadanym stanie kwantowym.

Realizacje przestrzeni wektorowych i Hilberta, stany bazowe, sprzężenie hermitowskie, operatory hermitowskie (4 godz.).

- student swobodnie posługuje się pojęciem przestrzeni Hilberta.
- poznaje własności operatora hermitowskiego i umie wykorzystać sprzężenie hermitowskie w prostych obliczeniach.

Fala płaska, transformacja Fouriera, pakiety falowe (2 godz.).

- student potrafi rozwiązać problem własny operatora o ciągłym widmie wartości własnych.
- potrafi rozłożyć dowolną funkcję falową w bazie funkcji własnych.

Konstrukcja hamiltonianu, problem własny operatora, degeneracja wartości własnych

- student potrafi znaleźć operatory odpowiadające wielkościom fizycznym i rozwiązać ich problemy własne.
- potrafi unormować funkcje falowe, wyliczyć wartości oczekiwane operatorów.

Ewolucja czasowa układów, stany stacjonarne, pakiety falowe (2 godz.).

- student potrafi przewidzieć ewolucję czasową pakietu falowego dla układu z ciągłym i dyskretnym widmem energetycznym.

Moment pędu, operatory składowych momentu pędu i kwadratu momentu pędu

- student potrafi skonstruować operatory składowych orbitalnego momentu pędu i sprawdzić ich relacje komutacyjne
- potrafi znaleźć wartości własne i funkcje własne kwadratu momentu pędu.

Reprezentacja dla stanów spinowych i operator spinu (2 godz.).

- student potrafi zbudować reprezentację dla spinu elektronu
- potrafi rozwiązać problem własny trzech składowych spinu elektronu.

Reprezentacja macierzowa dla pojedynczego kubitu i rejestru wielokubitowego

- student potrafi konstruować funkcje falowe pojedynczego elektronu ze spinem oraz układów kilku elektronów.
- znajduje operatory unitarne realizujące na spinie elektronu operacje logiczne bramek kwantowych.

Bramka Hadamarda i równoległość obliczeń komputera kwantowego (4 godz.).

- student poznaje własności bramki Hadamarda i jej wykorzystanie.

## **Sposób obliczania oceny końcowej**

Oceny obliczane są następująco:

- z ćwiczeń rachunkowych procent uzyskanych punktów podczas kolokwium przeliczany jest na ocenę zgodnie z Regulaminem Studiów AGH.
- ocena końcowa jest zgodna z oceną z ćwiczeń rachunkowych.

## **Wymagania wstępne i dodatkowe**

- Znajomość rachunku różniczkowego i całkowego w zakresie podstawowym

## **Zalecana literatura i pomoce naukowe**

M.Hirvensalo, Algorytmy kwantowe, WsiP ,Warszawa 2004.

K.Giara, M.Kamiński, Wprowadzenie do algorytmów kwantowych, Akad. Oficyna Wydawnicza EXIT, 2003

C.Lavor;L.R.U

## **Publikacje naukowe osób prowadzących zajęcia związane z tematyką modułu**

S. Bednarek, B. Szafran,

“Spin rotations induced by an electron running in closed trajectories in gated semiconductor nanodevices”

Phys. Rev. Lett. 101, (2008) 216805

S.Bednarek, P.Szumniak, B.Szafran

Spin accumulation and spin read out without magnetic field

Physical Review B, 82 (2010) 235319

Bednarek, J.Pawłowski, A.Skubis

Manipulation of a single electron spin in a quantum dot without magnetic field

Applied Physics Letters, 100 (2012) 203103:1-3

P.Szumniak, S.Bednarek, B.Partoens, F.M.Peeters

Spin-Orbit-Mediated Manipulation of Heavy-Hole Spin Qubits in Gated Semiconductor Nanodevices

Physical Review Letters, 109 (2012) 107201:1-5

P.Szumniak, S.Bednarek, J.Pawłowski, B.Partoens  
All-electrical control of quantum gates for single heavy-hole spin qubits  
Physical Review B, 87 (2013) 195307:1-12  
P.Szumniak, J.Pawłowski, S.Bednarek, D.Loss  
Long-distance entanglement of soliton spin qubits in gated nanowires

### Informacje dodatkowe

Sposób i tryb wyrównania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach:

Ćwiczenia rachunkowe: Nieobecność na dwóch ćwiczeniach wymaga od studenta samodzielnego opanowania przerabianego na tych zajęciach materiału. Nieobecność na więcej niż dwóch ćwiczeniach wymaga od studenta samodzielnego opanowania przerabianego na tych zajęciach materiału i jego zaliczenia w formie pisemnej w wyznaczonym przez prowadzącego terminie lecz nie później jak w ostatnim tygodniu trwania zajęć. Student który bez usprawiedliwienia opuścił więcej niż trzy ćwiczenia i jego cząstkowe wyniki w nauce były negatywne może zostać pozbawiony, przez prowadzącego zajęcia, możliwości wyrównania zaległości.

Obecność na wykładzie: zgodnie z Regulaminem Studiów AGH.

Zasady zaliczania zajęć:

Ćwiczenia rachunkowe: Podstawowym terminem uzyskania zaliczenia jest koniec zajęć w danym semestrze. Student może dwukrotnie przystąpić do poprawkowego zaliczania. Student który bez usprawiedliwienia opuścił więcej niż trzy zajęcia i jego cząstkowe wyniki w nauce były negatywne może zostać pozbawiony, przez prowadzącego zajęcia, możliwości poprawkowego zaliczania zajęć. Od takiej decyzji prowadzącego zajęcia student może się odwołać do prowadzącego przedmiot (moduł) lub Dziekana.

### Nakład pracy studenta (bilans punktów ECTS)

Forma aktywności studenta	Obciążenie studenta
Udział w wykładach	30 godz
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	14 godz
Udział w ćwiczeniach audytoryjnych	30 godz
Przygotowanie do zajęć	30 godz
Sumaryczne obciążenie pracą studenta	104 godz
Punkty ECTS za moduł	4 ECTS