

**AGH**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

Nazwa modułu:	Wstęp do fizyki kwantowej i statystycznej				
Rok akademicki:	2017/2018	Kod:	JFT-1-302-s	Punkty ECTS:	7
Wydział:	Fizyki i Informatyki Stosowanej				
Kierunek:	Fizyka Techniczna	Specjalność:	—		
Poziom studiów:	Studia I stopnia	Forma i tryb studiów:	Stacjonarne		
Język wykładowy:	Polski	Profil kształcenia:	Ogólnoakademicki (A)	Semestr:	3
Strona www:	<a href="http://www.ftj.agh.edu.pl/~wolny/">http://www.ftj.agh.edu.pl/~wolny/</a>				
Osoba odpowiedzialna:	prof. dr hab. Wolny Janusz (wolny@fis.agh.edu.pl)				
Osoby prowadzące:	prof. dr hab. Wolny Janusz (wolny@fis.agh.edu.pl)				

## 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)
<b>Wiedza</b>			
M_W001	Student posiada wiedzę o fundamentalnych eksperymentach, które legły u podstaw mechaniki kwantowej. Student zna i rozumie podstawowe zasady mechaniki kwantowej.	FT1A_W03, FT1A_W05, FT1A_W11, FT1A_W01	Udział w dyskusji, Aktywność na zajęciach, Egzamin
M_W002	Student posiada wiedzę o statystycznym opisie zjawisk zachodzących w układach mikro i makroskopowych Student zna metody opisu statystycznego układów makroskopowych.	FT1A_W03, FT1A_W05, FT1A_W09, FT1A_W01	Udział w dyskusji, Egzamin, Aktywność na zajęciach
<b>Umiejętności</b>			
M_U001	Student potrafi zapisać i rozwiązać równie Schrodingera dla prostych układów modelowych oraz zinterpretować uzyskane wyniki obliczeń.	FT1A_U08, FT1A_U10	Kolokwium, Egzamin, Wykonanie ćwiczeń, Udział w dyskusji, Aktywność na zajęciach
M_U002	Student potrafi posługiwać się zapisem termów spektralnych oraz wskazać term podstawowy o najniższej energii.	FT1A_U01, FT1A_U05	Wykonanie ćwiczeń, Udział w dyskusji, Kolokwium, Egzamin, Aktywność na zajęciach

M_U003	Student używa statystyki do opisu układów termodynamicznych, potrafi również zastosować statystyki kwantowe do opisu termodynamiki bozonów i fermionów.	FT1A_U08, FT1A_U10	Wykonanie ćwiczeń, Udział w dyskusji, Kolokwium, Egzamin, Aktywność na zajęciach
Kompetencje społeczne			
M_K001	Student potrafi konstruktywnie współpracować w zespole rozwiązującym problemy rachunkowe	FT1A_K04, FT1A_K01	Wykonanie ćwiczeń, Aktywność na zajęciach
M_K002	Student angażuje się w dyskusję w grupie, jak również z prowadzącym, i potrafi dobrze sformułować swoje argumenty	FT1A_W04, FT1A_W08	Wykonanie ćwiczeń, Udział w dyskusji, Aktywność na zajęciach

## Matryca efektów kształcenia w odniesieniu do form zajęć

Kod EKM	Student, który zaliczył moduł zajęć wie/umie/potrafi	Forma zajęć										
		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia laboratoryjne	Ćwiczenia projektowe	Konwersatorium	Zajęcia seminaryjne	Zajęcia praktyczne	Zajęcia terenowe	Zajęcia warsztatowe	Inne	E-learning
Wiedza												
M_W001	Student posiada wiedzę o fundamentalnych eksperymentach, które legły u podstaw mechaniki kwantowej. Student zna i rozumie podstawowe zasady mechaniki kwantowej.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_W002	Student posiada wiedzę o statystycznym opisie zjawisk zachodzących w układach mikro i makroskopowych. Student zna metody opisu statystycznego układów makroskopowych.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiejętności												
M_U001	Student potrafi zapisać i rozwiązać równie Schrodingera dla prostych układów modelowych oraz zinterpretować uzyskane wyniki obliczeń.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U002	Student potrafi posługiwać się zapisem termów spektralnych oraz wskazać term podstawowy o najniższej energii.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

M_U003	Student używa statystyki do opisu układów termodynamicznych, potrafi również zastosować statystyki kwantowe do opisu termodynamiki bozonów i fermionów.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kompetencje społeczne												
M_K001	Student potrafi konstruktywnie współpracować w zespole rozwiązującym problemy rachunkowe	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_K002	Student angażuje się w dyskusję w grupie, jak również z prowadzącym, i potrafi dobrze sformułować swoje argumenty	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## Treść modułu zajęć (program wykładów i pozostałych zajęć)

### Wykład

#### Przedmiot badań fizyki kwantowej (3 godz.)

Granice stosowalności teorii klasycznej. Promieniowanie termiczne – klasyczna teoria promieniowania (Rayleigha-Jeansa). Pirometry optyczne. Promieniowanie reliktowe. Teoria Bohra układów wodoropodobnych. Serie widmowe. Doświadczenie Francka-Hertza.

#### Fundamentalne doświadczenia mechaniki kwantowej. (3 godz.)

Zjawisko fotoelektryczne. Efekt Comptona. Promieniowanie X. Krecja i anihilacja. Przekrój czynny na oddziaływanie promieniowania z materią. Fale de Broglie’a. Doświadczenie Davissona i Germera. Doświadczenie Thomsona. Doświadczenie Sterna. Mikroskop elektronowy. Własności fal materii. Neutronografia.

#### Postulaty fizyczne mechaniki kwantowej (3 godz.)

Zasady odpowiedniości, komplementarności i superpozycji. Równanie Kleina-Gordona. Mechanika falowa Schrödingera: poczynione przybliżenia, funkcja falowa, interpretacja probabilistyczna funkcji falowej (Born). Operatory: równanie własne, funkcje i wartości własne, komutatory. Postulaty. Równanie Schrodingera zależne od czasu i niezależne od czasu

#### Równanie Schrodingera. (3 godz.)

Przykłady rozwiązywania równanie Schrodingera I: skok potencjału, bariera potencjału. Stany związane: nieskończona studnia potencjału, skończona studnia potencjału. Oscylator harmoniczny.

#### Równania własne operatorów. (3 godz.)

Równanie własne operatora pędu. Zasada nieoznaczoności. Operator momentu pędu: reguły komutacji:  $[L_i, L_j]$ ,  $[L_i, L^2]$ ; funkcje i wartości własne operatora  $L_z$ , wartości własne operatora  $L^2$ . Diagram wektorowy momentu pędu.

#### Atom wodoru. Spin (3 godz.)

Równanie Schrodingera dla atomu wodoru, liczby kwantowe, stopień degeneracji

poziomów, funkcje własne. Magnetyczny moment dipolowy. Orbitalny moment dipolowy. Precesja Larmora. Spin.

Oddziaływanie spin-orbita: (3 godz.)

Wartości własne sprzężenia SL. Termy spektralne. Czynniki g w modelu wektorowym. Efekt Zeemana: normalny i anomalny. Zjawisko Paschena-Backa. Efekt Starka. Subtelna i nadsubtelna struktura poziomów energetycznych

Atomy wieloelektronowe. (3 godz.)

Liniowe widmo rentgenowskie. Prawo Moseley'a. Reguły Hunda. Atomy helopodobne. Stany metastabilne. Molekuły dwuatomowe ( $H_2^+$ ). Wiązania chemiczne. Hybrydyzacja: sp, sp<sup>2</sup>, sp<sup>3</sup>.

Cechy charakterystyczne układów makroskopowych: (3 godz.)

Stan równowagi, fluktuacje, nieodwracalność, ciepło i temperatura. Podstawowe pojęcia rachunku prawdopodobieństwa: zespół statystyczny, prawdopodobieństwo, zdarzenia niezależne, wariancja, odchylenie standardowe. Rozkład dwumienny - przykłady. Rozkład normalny. Wartość średnia; wariancja; odchylenie standardowe jako miara fluktuacji.

Ogólne równanie stanu gazów doskonałych (3 godz.)

Gaz fotonów, elektronów, cząstek klasycznych. Specyfikacja stanu układu. Postulaty statystyczne. Przykład obliczania prawdopodobieństw. Liczba stanów dozwolonych dla układu makroskopowego. Równowaga i nieodwracalność. Wzajemne oddziaływanie układów. Oddziaływanie termiczne. Mikroskopowa definicja temperatury i entropii. Dążenie układu do równowagi cieplnej.

Zasady termodynamiki. Rozkład kanoniczny (3 godz.)

Zasady termodynamiki. Termometry. Własności temperatury bezwzględnej. Zmiana entropii podczas małego przekazu ciepła. Entropia gazu doskonałego. Rozkład kanoniczny: funkcja rozdziału, przykłady: paramagnetyk- prawo Curie, ciepło właściwe oscylatora harmonicznego.

Klasyczny gaz doskonały cząstek materialnych (3 godz.)

Makroskopowa funkcja rozdziału, średnia energia i średnie ciśnienie gazu liczone z funkcji rozdziału. Wyprowadzenie równania stanu z twierdzenia o wiriale. Równanie adiabaty. Wzór barometryczny. Rozkład kanoniczny w przybliżeniu klasycznym: przestrzeń fazowa, maxwellowski rozkład prędkości; wyprowadzenie równania gazu doskonałego z rozkładu Maxwella; twierdzenie o ekwipartycji energii (wyprowadzenie i przykłady). Gazy rzeczywiste. Ogólne oddziaływanie termodynamiczne (warunki stanu równowagi). Sprawność silnika. Cykl Carnota.

Potencjały termodynamiczne: (3 godz.)

Energia wewnętrzna, energia swobodna, entalpia, entalpia swobodna. Tożsamości Maxwella. Przykład: wyprowadzenie prawa Stefana-Boltzmana. Stan równowagi pomiędzy fazami: równanie Clausiusa-Clapeyrona; wyprowadzenie ciśnienia pary. Układy otwarte. Potencjał omega. Duży zespół kanoniczny. Wyprowadzenie statystyk kwantowych. Granica klasyczna.

Gęstości stanów. Bozony (3 godz.)

Obliczenia w przestrzeniach 1,2,3-wymiarowych dla wektora falowego oraz energii. Periodyczne a sztywne warunki brzegowe. Obliczenia dla liniowych (fotony, fonony-model Debye'a) i kwadratowych (cząstki materialne) relacji dyspersji. Bozony: fotony (wyprowadzenie rozkładu Plancka, prawa Wiena i prawa Stefana), fonony (ciepło właściwe sieci krystalicznej dla liniowego związku dyspersyjnego - rozwinięcie niskotemperaturowe). Porównanie termodynamiki fotonów i fononów.

Fermiony: (3 godz.)

Gaz elektronów swobodnych (pęd, energia i temperatura Fermiego; średnia energia na elektron; potencjał chemiczny) – obliczenia w 1,2,3 wymiarach. Ciepło właściwe gazu elektronów swobodnych. Półprzewodniki: gęstości nośników, prawo działania mas, potencjał chemiczny w półprzewodnikach samoistnych. Półprzewodniki domieszkowe. Termodynamika defektów.

**Ćwiczenia audytoryjne**

Klasyczny gaz doskonały (4 godz.)

Efekty kształcenia:

- student potrafi wyznaczyć parametry gazu ( $p, V, T$ ) podczas różnych przemian gazowych
- student potrafi obliczyć ciepło i pracę w różnych przemianach gazowych,
- student potrafi obliczyć ciepło właściwe gazu doskonałego w dowolnej przemianie
- student potrafi wyprowadzić równanie adiabaty,
- student potrafi wyprowadzić sprawność silnika dla zadanego cyklu pracy.

Dualizm korpuskularno-falowy promieniowania i cząstek materialnych de Broglie'a (3 godz.)

Efekty kształcenia:

- student potrafi opisać zjawisko fotoelektryczne, efekt Comptona, zjawisko kreacji i anihilacji cząstek materialnych,
- student potrafi wyliczyć granicę krótkofalową widma ciągłego promieniowania X oraz częstość progową dla zjawiska kreacji pary elektron-pozyton,
- student potrafi obliczyć długość fali elektronów przyspieszanych napięciem  $U$ .

Mechanika falowa Schrodingera (5 godz.)

Efekty kształcenia:

- student potrafi obliczać komutatory operatorów różniczkowych
- student potrafi zapisać czasowe i bezczasowe równanie Schrodingera,
- student potrafi rozwiązać proste zagadnienia kwantowe: skok potencjału, studnia potencjału, bariera potencjału,
- student potrafi rozwiązać równanie własne operatora pędu.

Atom, Sprzężenie spin-orbita (5 godz. + 1 godz. kolokwium)

Efekty kształcenia:

- student potrafi znaleźć wartości własne operatora  $L_z$  i  $L^2$ ,
- student potrafi obliczyć komutatory:  $[L_z, L_y]$  i  $[L_z, L^2]$ ,
- student potrafi opisać poziomy energetyczne elektronu w atomie wodoru przy użyciu liczb kwantowych
- student potrafi obliczyć czynnik  $g$  w modelu wektorowym

Entropia (2 godz)

Efekty kształcenia:

- student potrafi obliczyć entropię gazu doskonałego
- student potrafi znaleźć zmiany entropii w procesach termodynamicznych (np. rozprężanie gazu, topienie lodu, mieszanie się gazów)

Rozkład kanoniczny. Potencjały termodynamiczne (4 godz)

Efekty kształcenia:

- student potrafi zastosować rozkład kanoniczny do prostych modeli, np: gazu doskonałego, paramagnetyka lub oscylatora harmonicznego,
- student zna potencjały termodynamiczne i związane z nimi tożsamości Maxwella,

Rozkład Maxwella, Gęstości stanów (2. godz.)

- student potrafi zastosować rozkład Maxwella do obliczania szybkości cząstek w gazie

- student potrafi zastosować periodyczne lub sztywne warunki brzegowe do obliczania gęstości stanów, na wybranym przykładzie relacji dyspersji i wymiarowości przestrzeni

#### Statystyki kwantowe (2 godz.)

##### **Efekty kształcenia:**

- student potrafi użyć statystyk kwantowych do wyprowadzenia rozkładu Plancka dla bozonów,
- student potrafi zapisać rozkład Plancka i wyprowadzić z tego rozkładu prawo Stefana i prawo Wiena.
- student zna rozkład Fermiego-Diraca

Kolokwium (2 godz.)

### **Sposób obliczania oceny końcowej**

Oceny z ćwiczeń rachunkowych © oraz z egzaminu (E) obliczane są następująco: procent uzyskanych punktów przeliczany jest na ocenę zgodnie z Regulaminem Studiów AGH.

Ocena końcowa (OK) obliczana jest jako średnia ważona ocen z egzaminu (E) i z ćwiczeń rachunkowych ©:

$$OK = 2/3 \times E + 1/3 \times C$$

### **Wymagania wstępne i dodatkowe**

1. Znajomość mechaniki i elektromagnetyzmu, w tym równań Maxwella
2. Znajomość podstaw algebry liniowej (operacje na wektorach i macierzach)
3. Znajomość rachunku różniczkowego i całkowego w zakresie podstawowym•

### **Zalecana literatura i pomoce naukowe**

- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, t5, PWN 2007-9
- R. Eisberg, R. Resnick – Fizyka kwantowa, PWN 1983
- J. Massalski, Fizyka dla inżynierów, t2, WN-T, 2005
- E.H. Wichmann – Fizyka kwantowa, PWN 1975
- B. Jaworski, A Dietłaf – Kurs fizyki, t3, PWN 1984.
- F.Reif – Fizyka statystyczna, PWN 1973.

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

Nie podano dodatkowych publikacji

### **Informacje dodatkowe**

Brak

**Nakład pracy studenta (bilans punktów ECTS)**

Forma aktywności studenta	Obciążenie studenta
Udział w wykładach	45 godz
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	55 godz
Udział w ćwiczeniach audytoryjnych	60 godz
Przygotowanie do zajęć	45 godz
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	2 godz
Sumaryczne obciążenie pracą studenta	207 godz
Punkty ECTS za moduł	7 ECTS