



Nazwa modułu: Wstęp do fizyki atomowej i molekularnej

Rok akademicki: 2018/2019 Kod: JFM-2-011-TO-s Punkty ECTS: 4

Wydział: Fizyki i Informatyki Stosowanej

Kierunek: Fizyka Medyczna Specjalność: Techniki obrazowania i biometria

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

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

Strona www: (brak)

Osoba odpowiedzialna: dr Czaplński Wilhelm (czaplinski@fis.agh.edu.pl)

Osoby prowadzące: dr Czaplński Wilhelm (czaplinski@fis.agh.edu.pl)

### Krótką charakterystyka modułu

Celem przedmiotu jest przedstawienie studentom kwantowego opisu atomów i molekuł dwuatomowych.

### 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_W001	Student ma szansę zdobycia podstawowej wiedzy dot. budowy atomu wieloelektronowego i najprostszych molekuł dwuatomowych, a także przejść radiacyjnych i towarzyszących im reguł wyboru.	FM2A_W01	Egzamin
M_W002	Student ma szansę zapoznania się z aparatem matematycznym mechaniki kwantowej wykorzystywanym w opisie atomów wieloelektronowych i molekuł dwuatomowych. Ma szansę zapoznania się z najbardziej popularnymi metodami manipulacji atomami.	FM2A_W03, FM2A_W01	Egzamin
Umiejętności			
M_U001	Student ma szansę zdobyć umiejętność obliczania szybkości przejść radiacyjnych w atomach, poprawek relatywistycznych do widma atomu wodoru.	FM2A_U02, FM2A_U04	Aktywność na zajęciach

M_U002	Student ma szansę zdobyć umiejętność praktycznego posługiwania aparatem matematycznym wykorzystywanym w teorii molekuł dwuatomowych.	FM2A_U02	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 ma szansę zdobycia podstawowej wiedzy dot. budowy atomu wieloelektronowego i najprostszycz molekuł dwuatomowych, a także przejść radiacyjnych i towarzyszących im reguł wyboru.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_W002	Student ma szansę zapoznania się z aparatem matematycznym mechaniki kwantowej wykorzystywanym w opisie atomów wieloelektronowych i molekuł dwuatomowych. Ma szansę zapoznania się z najbardziej popularnymi metodami manipulacji atomami.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiejętności												
M_U001	Student ma szansę zdobyć umiejętność obliczania szybkości przejść radiacyjnych w atomach, poprawek relatywistycznych do widma atomu wodoru.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U002	Student ma szansę zdobyć umiejętność praktycznego posługiwania aparatem matematycznym wykorzystywanym w teorii molekuł dwuatomowych.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

### Wykład

#### Wstęp do fizyki atomowej i molekularnej

#### 1. Atom klasyczny - dlaczego nie może istnieć?

2. Atom jednoelektronowy w opisie Schroedingera:
  - a. Wektor Runge'go-Lenza i poziomy energetyczne atomu wodoru.
  - b. Zjawiska Starka i Zeemana.
  - c. Atom helu (dwa elektrony) – obliczenia wariacyjne.
3. Atom w polu elektromagnetycznym; rozważania statystyczne, współczynniki Einsteina.
4. Promieniowanie elektromagnetyczne:
  - a. Kwantowanie pola elektromagnetycznego bez źródeł.
  - c. Promieniowanie multipolowe.
  - d. Amplitudy przejść radiacyjnych E1 dla atomu wodoru i reguły wyboru, reguła sum.
  - e. Modele Rabiego i Janesa-Cummingsa.
5. Opis atomów w ramach relatywistycznej mechaniki kwantowej:
  - a. Równanie Kleina-Gordona i jego interpretacja, przybliżony opis atomów mezonowych.
  - b. Równanie Diraca – rozwiązania swobodne i ich interpretacja – elektron i pozyton.
  - c. Rozwiązanie r. Diraca dla atomu wodoru.
  - d. Rachunek zaburzeń dla atomu wodoru – relatywistyczne poprawki do równania Schrödingera.
  - e. Atom wodoru w słabych i silnych polach elektrycznych i magnetycznych.
6. Atomy wieloelektronowe:
  - a. Równania Hartee-Focka, metoda pola samo-uzgodnionego.
  - b. Hierarchia przybliżeń – sprzężenia L-S i j-j, termy elektronowe.
  - c. Struktura subtelna i nadsubtelna.
7. Zimne atomy:
  - a. Chłodzenie laserowe.
  - b. Pułapki magnetoptyczne.
  - c. Spowalnianie zeemanowskie.
  - d. Zarys teorii kondensatu Bosego-Einsteina.
  - e. Chłodzenie we wnęce wielu atomów (chłodzenie stochastyczne).
8. Molekuły i jony dwu-atomowe ( $H_2, H_2^+$ ):
  - a. Metoda orbitali atomowych.
  - b. Problem dwóch centrów w mechanice kwantowej.
  - c. Metoda rozwinięcia adiabatycznego, przybliżenie adiabatyczna i Borna-Oppenheimera .
  - e. Stany oscylacyjno-rotacyjne molekuł dwu-atomowych model z potencjałem Morse'a).
9. Atomy i molekuły egzotyczne:
  - a. Powstawanie i procesy deekscytacji atomów mionowych wodoru i helu
  - b. Powstawanie molekuł mionowych w mieszaninach izotopów wodoru.
  - c. Deekscytacja w zjawiskach Augera.

### Ćwiczenia audytoryjne

#### Wstęp do fizyki atomowej i molekularnej

1. Rachunki szczegółowe i niektóre wyprowadzenia dotyczące powyższych punktów wykładu.
2. Rozwiązywanie zadań stanowiących ilustracje do wykładanej teorii.
3. W ramach ćwiczeń rachunkowych student powinien wykonać 2 projekty polegające na numerycznych obliczeniach dotyczących modeli Rabiego i Jaynesa-Cummingsa.

### Sposób obliczania oceny końcowej

Ocena z zaliczenia ćwiczeń rachunkowych i z egzaminu.

Ocena końcowa jest średnią arytmetyczną obu powyższych ocen.

### **Wymagania wstępne i dodatkowe**

• Znajomość podstaw algebry i analizy matematycznej (w tym rachunku różniczkowego i całkowego) oraz mechaniki kwantowej – wszystko w zakresie zgodnym z programem studiów.

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

1. B. H. Bransden, C. J. Joachain, "Physics of Atoms and Molecules"
2. G. K. Woodgate, "Struktura atomu"
3. C.C.Gerry, P.L.Knight, "Wstęp do optyki kwantowej"
4. W.Kołos, J.Sadlej, "Atom i cząsteczka"

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

Prace, w których wykorzystano wykładany materiał:

W. Czapliński, M.Rybski

"Formation of the weakly bound muonic molecule  $(4\text{He}\mu\text{t})_2^+$  in the three-body  $(\text{t}\mu)_1\text{s}+4\text{He}+4\text{He}$  collision"

Phys. Lett. A 380 (2016 ) 869,

W. Czapliński, J. Gronowski, W. Kamiński, N. Popov

"Resonant enhancement of the formation of hydrogen-helium muonic molecules"

Phys. Lett. A 375 (2010) 155,

W. Czapliński

"Auger formation of the  $(3\text{He}\mu\text{p})_2^+$  molecule in collisions of muonic hydrogen  $\mu\text{p}$  with helium at energies 0.1–50eV"

Phys. Rev. A, 88 (2013) 032706.

### **Informacje dodatkowe**

Sposób odrobienia zaległości spowodowanych nieobecnością na ćwiczeniach rachunkowych:

W razie nieobecności na co najmniej trzech kolejnych zajęciach student powinien zaliczyć zaległy materiał ustnie lub pisemnie.

Student ma prawo do jednej nieusprawiedliwionej nieobecności na ćwiczeniach rachunkowych.

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

Forma aktywności studenta	Obciążenie studenta
Przygotowanie do zajęć	50 godz
Udział w wykładach	30 godz
Udział w ćwiczeniach audytoryjnych	30 godz
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	2 godz
Sumaryczne obciążenie pracą studenta	112 godz
Punkty ECTS za moduł	4 ECTS