

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

FONDAMENTI di FISICA ATOMICA e MOLECOLARE

Elements of Atomic and Molecular Physics

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	SCIENZA DEI MATERIALI (L-30)
Codice	8067258	Canale	Unico
CFU	8	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Fanfoni Massimo

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: L'obiettivo del corso, nell'ambito della Scienza dei Materiali, è quello di fornire le conoscenze di base della Fisica Atomica e Molecolare. Il corso è, di fatto, l'applicazione della fisica quantistica le cui basi gli studenti hanno acquisito nel precedente corso di introduzione alla meccanica quantistica. Va da sé che la fisica atomica e molecolare è indispensabile per affrontare in modo consapevole i successivi corsi legati alla scienza dei materiali. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Per quanto concerne la fisica atomica si approfondisce la teoria dell'atomo di idrogeno (l'atomo più semplice) introducendo alcuni effetti perturbativi all'equazione di Schroedinger contenente il solo potenziale coulombiano; le perturbazioni relativistiche sono le più importanti. Inoltre si studiano gli effetti delle interazioni con i campi esterni magnetico ed elettrico sugli stati elettronici dell'atomo. Il cuore del programma è lo studio degli atomi a molti elettroni dall'atomo di elio in poi. Lo si fa introducendo il modello teorico più noto e per certi versi più semplice: il modello di Hartree-Fock. Per quanto riguarda la fisica molecolare ci si concentra sulle maggiori approssimazioni che permettono di trattare gli stati elettronici, vibrazionali e rotazionali delle molecole. Tuttavia, l'approfondimento di queste tematiche è limitato alle molecole biatomiche poiché lo studio delle molecole più complesse richiede la conoscenza della teoria dei gruppi che non fa parte del programma di codesto corso. Sia per gli atomi sia per le molecole lo studente deve apprendere le basi delle spettroscopie, principalmente ottiche, necessarie alla verifica sperimentale dei risultati teorici. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Lo studente deve sviluppare le capacità di applicare le conoscenze acquisite
----------	---



	attraverso la soluzione degli esercizi e problemi proposti durante l'anno accademico. Le soluzioni saranno discusse in aula coinvolgendo l'intera classe. Alle esercitazioni numeriche è dedicato il 40% dell'intero corso. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Lo studente sviluppa lo spirito critico e quindi l'autonomia di giudizio non solo sulla base delle conoscenze acquisite in codesto corso ma grazie alla somma di tutto ciò che è stato in grado di assimilare nell'intero corso degli studi. Al più, le basi della fisica atomica e molecolare possono aiutare lo studente a valutare la validità dei risultati di un dato sperimentale e la sua coerenza rispetto alla teoria. ABILITÀ COMUNICATIVE: Le abilità comunicative dovrebbero essere state acquisite durante gli anni trascorsi nella scuola secondaria superiore. Nel caso specifico del corso di fisica atomica e molecolare, come d'altra parte in tutte le discipline scientifiche, l'obiettivo è quello di insegnare allo studente l'uso di un linguaggio tecnico, chiaro, che focalizzi l'argomento in discussione esaurientemente. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Tenendo conto che ogni studente ha un diverso stile di apprendimento, il corso mira a acquisire/sviluppare capacità di comprensione, di comunicazione e di applicazione di quanto appreso in contesti diversi.
English	LEARNING OUTCOMES: The goal of the course is to give students the basic knowledges of the Atomic and Molecular Physics. The course is, in fact, the quantum mechanical concepts application that the students have aquired in the previous course of introduction to quantum mechanics. It goes without saying that atomic and molecular physics are essential to face knowingly the subsequent courses of material science. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: As far as the atomic physics is concerned the hydrogen atom (the simplest atom) theory is deepen. In the simple Schroedinger equation containing only the coulombian potential, relativistic perturbation terms, which are the most important, are introduced. Besides the effects on electron states due to external electric and magnetic fields are investigated. The heart of the course is the study of many electron atoms starting by helium. For this purpose, the best known and perhaps the simplest model is introduced: the Hartree-Fock model. Concerning the molecular physics, the principal approximations that allow to study electronic, vibrational and rotational states are introduced. The possible overlap between energy range of these three Hamiltonian terms is also discussed. Nevertheless, the deepening of these subjects is confined to diatomic molecules because polyatomic molecules require the group theory knowledge that is not studied in this course. Both, for atoms and molecules

	the student must learn the basics of the spectroscopies, mainly optical, for the experimental verification of the theoretical results. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: The student has to develop the ability to apply the acquired knowledge by solving the exercises that will be assigned during the academic year. The solutions are usually discussed in detail involving the entire classroom. This part of course takes 40% of the entire course. MAKING JUDGEMENTS: The student develops the critical spirit and, consequently, the autonomy of judgment, not only on the base of the acquired knowledge during the course but mostly thanks to all of what he has been able to assimilate from the beginning of her/his entire course of study. At most, the basics of atomic and molecular physics may help the student to evaluate the validity of the experimental data and their coherence respect to the theory. COMMUNICATION SKILLS: Provided that communication skills should be acquired in the secondary school, in the specific case of atomic and molecular physics course, as in the other hand, in any scientific discipline, the goal is to teach the student to speak clearly, technically, focusing quickly the topic under discussion. LEARNING SKILLS: Keeping in mind that every student has a different learning style, the atomic and molecular physics course aims to acquire/develop skill of understanding, of communication and of what has been learning in different contexts.
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Nozioni di base di calcolo differenziale ed integrale, di fisica generale e di fisica quantistica.
English	Basic notions of calculus, classical electromagnetism and quantum mechanics.

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Fisica Atomica: Interazione fine nell'atomo di idrogeno (equazione di Pauli); Atomo idrogenoide in campi (campo magnetico forte, medio e debole; campo elettrico polarizzabilità); Interazione dell'atomo di idrogeno con la
----------	---

	radiazione elettromagnetica (transizioni elettroniche e regole di selezione di dipolo); atomo a due elettroni (trattazione perturbativa e variazionale dello stato fondamentale e perturbativa degli stati eccitati); Atomi a molti elettroni (multipletti), Approssimazione di Campo Centrale, Modello di Hatree-Fock. 54 ore; ovvero circa 7 CFU di cui 2.3 CFU esercitazioni numeriche. Fisica Molecolare: Approssimazione di Born-Oppenheimer; Ione idrogeno (LCAO); molecola H₂ (LCAO e VB); Interazione delle configurazioni e termine ionico nell'hamiltoniano; Modello di Huckel; Moto dei nuclei (vibrazioni e rotazioni); Principio di Franck-Condon. 23 ore; ovvero circa 3 CFU di cui 1CFU esercitazioni numeriche Esercitazioni numeriche riguardanti sia la fisica atomica, sia la fisica molecolare. come scritto in precedenza 3.3 CFU
English	Atomic Physics: Fine structure of the hydrogen atom (Pauli equation); Hydrogen-like atom in fields (strong, medium, and weak magnetic fields; electric field polarizability); Interaction of the hydrogen atom with electromagnetic radiation (electronic transitions and dipole selection rules); two-electron atom (perturbative and variational treatment of the ground state and perturbative treatment of excited states); Many-electron atoms (multiplets), Central Field Approximation, Hatree-Fock model. 54 hours; or approximately 7 credits, of which 2.3 credits are numerical exercises. Molecular Physics: Born-Oppenheimer approximation; Hydrogen ion (LCAO); H₂ molecule (LCAO and VB); Configuration interaction and ionic term in the Hamiltonian; Huckel model; Nuclei motion (vibrations and rotations); Franck-Condon principle. 23 hours; or approximately 3 credits, of which 1 credit is numerical exercises. Numerical exercises covering both atomic and molecular physics. As previously written, 3.3 credits

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	Physics of Atoms and Molecules di Bransden, Joachain-Pearson; Atomi, Molecole e Solidi: Esercizi risolti di Balzarotti, Cini, Fanfoni-Springer Italia; Meccanica quantistica molecolare di Atkins e Friedman -Zanichelli- (Molecular Quantum Mechanics-Oxford University Press)
Inglese	Physics of Atoms and Molecules di Bransden, Joachain-Pearson; Atomi, Molecole e Solidi: Esercizi risolti di Balzarotti, Cini, Fanfoni-Springer Italia; Meccanica quantistica molecolare di Atkins e Friedman -Zanichelli- (Molecular Quantum Mechanics-Oxford University Press)

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	La didattica è frontale e condotta in aula mediante l'uso della lavagna. L'uso del gesso e della lavagna, al contrario dell'impiego delle diapositive, permette allo studente di seguire l'argomento con maggiore concentrazione e comprensione, soprattutto perché le lezioni richiedono sovente lo svolgimento di calcoli matematici a volte complessi. Gli argomenti sono trattati su base quantitativa senza trascurare la discussione dei concetti fisici che sottendono.
English	Lessons are delivered in the classroom by using chalk and blackboard. This method, unlike the use of slides, allows the student to better understand the topics, especially when the lesson requires a large amount of complex mathematical calculations. Matters are treated quantitatively without neglecting, however, discussions concerning the physical concepts they subtend.

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	La frequenza al corso è facoltativa, benché gli studenti siano fortemente incoraggiati a frequentare con continuità le lezioni. Le lezioni sia teoriche sia di esercitazioni numeriche sono svolte in aula.
English	Attending classes is optional, although the students are strongly encouraged to follow them with continuity. Both the theoretical and practical lessons (mainly problem solutions) are delivered in the classroom.

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☒ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica
☐ Valutazione in itinere ☐ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Oltre al Titolare Massimo Fanfoni, 1 o 2 fra i seguenti esperti del settore: Maurizia Palummo, Anna Sgarlata, Beatrice Bonanni, Luca Persichetti

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La verifica dell'apprendimento avviene attraverso il superamento di una prova finale scritta e orale. La prova accerterà l'acquisizione delle conoscenze e delle abilità attese e consiste in una discussione con domande su tutti gli argomenti del programma.
----------	---



	Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi e sarà una media pesata dei voti alle risposte sulle tematiche principali del programma I criteri di cui si terrà conto per la formulazione del voto saranno: livello delle conoscenze del programma, capacità di ragionamento, capacità di collegamento ed integrazione con le conoscenze pregresse, abilità di linguaggio e correttezza dell'uso della lingua. Per il superamento dell'esame è richiesto un voto non inferiore a 18/30. La valutazione sarà effettuata secondo i seguenti criteri: 18-21: lo studente ha acquisito i concetti di base della disciplina, modo di esprimersi e linguaggio sufficientemente corretti e appropriati. 22-25: lo studente ha acquisito in maniera approfondita i concetti di base della disciplina, ed è adeguatamente in grado di effettuare i collegamenti fra le varie materie. Presenta linearità nella strutturazione del discorso. Il linguaggio è appropriato e corretto. 26-29: lo studente possiede un bagaglio di conoscenze completo e ben strutturato. È in grado di applicare e rielaborare in maniera autonoma, senza alcun errore, le conoscenze acquisite. Evidenzia ricchezza di riferimenti e capacità logico-analitiche con un linguaggio fluido, appropriato e vario. 30 e 30 e lode: lo studente possiede un bagaglio di conoscenze completo e approfondito. Sa applicare conoscenze a casi e problemi complessi ed estenderle a situazioni nuove. I riferimenti culturali sono ricchi e aggiornati. Si esprime con brillantezza e perfetta proprietà di linguaggio.
English	Verification of learning takes place by passing a final written and oral exam. The test will ensure the acquisition of the expected knowledge and skills and consists of a discussion with questions on all the topics of the program. The score of the exam is attributed by means of a mark expressed out of thirty and will be a weighted average of the marks to the answers on the main topics of the program The criteria that will be taken into account for the formulation of the mark will be: level of knowledge of the program, reasoning skills, ability to connect and integrate with previous knowledge, language skills and correct use of the language. The grading scale is defined by the following subdivisions: 18-21: the student has acquired the basic concepts of the discipline, expression and language that are sufficiently correct and appropriate.



22-25: the student has acquired the basic concepts of the discipline in depth, being adequately able to make the connections between the various subjects. The student shows linearity in the structuring of speech. The language is appropriate and correct.

26-29: the student has a complete and well-structured set of knowledge. The student can independently apply and re-elaborate the acquired knowledge without any errors. The student shows wealth of references and logical-analytical skills with a fluid, appropriate and varied language.

30 and 30 cum laude: the student has a complete and an in-depth knowledge base. The student knows how to apply knowledge to complex cases and problems and extend it to new situations. The cultural references are rich and up-to-date. The student shows brilliance and perfect language properties.