



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

REGISTRO DELLE ATTIVITA' DIDATTICHE

Dati Anagrafici

STEFANO FORTE

Data di Nascita: 21/06/1961 - **Codice Fiscale:** FRTSFN61H21F205Q

Ruolo: I FASCIA

FIS/02

DIPARTIMENTO DI FISICA

Dati dell'insegnamento

Anno Accademico: 2018/2019 - **Stato del registro:** APERTO

Corso di Studio: FISICA (Classe L-30)

Insegnamento: Fisica Moderna e Meccanica Quantistica (Mod. Meccanica Quantistica)

Forme Didattiche e Ore assegnate:

Lezioni (40.0 ore)

Riepilogo attività

Forma didattica	Ore registrate
Lezioni	50.0

Dettaglio attività

Data	Ora Inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento
01/10/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione al corso. Le simmetrie ed il loro ruolo in fisica quantistica. Sistemi quantistici complessi. Spazi di Hilbert prodotto diretto: definizione, prodotto scalare, stati fisici. Esempio: sistema di due qubit. Autostati della posizione. Il vettore di operatori posizione.
02/10/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Molti corpi vs. molte dimensioni. Il generatore delle traslazioni e l'impulso in d dimensioni. Commutazione di diverse componenti dell'impulso. Energia cinetica ed hamiltoniane d-dimensionali. Completezza della base delle posizioni d-dimensionale. Hamiltoniane separabili: esempio della separabilita' in coordinate cartesiane. Hamiltoniane separabili nel caso generale.
04/10/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo della degenerazione per l'oscillatore armonico isotropo. Il problema dei due corpi. Coordinate baricentriche e relative: separazione del termine cinetico e trasformazione delle relazioni di commutazione. Cambiamenti lineari di coordinate: trasformazione sulle coordinate e trasformazione sugli impulsi che preserva le relazioni di commutazione. Notazione per l'operatore impulso visto come operatore differenziale.
08/10/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Trasformazione del generatore delle traslazioni sotto cambiamenti lineari di coordinate. Potenziali centrali e coordinate sferiche. Decomposizione del termine cinetico in termine radiale e termine angolare in meccanica classica. Identita' per il tensore completamente antisimmetrico. Caso quantistico: proiezione del generatore delle traslazioni lungo la coordinata radiale. Decomposizione del laplaciano in coordinate sferiche in termini di derivate radiali ed angolari. Definizione dell'operatore impulso radiale come operatore hermitiano. Decomposizione dell'operatore cinetico quantistico in termini di impulso radiale e operatore momento angolare.
09/10/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Il momento angolare. Rotazioni nel piano e nello spazio. Caso classico: il momento angolare come carica di Noether. Caso quantistico: il momento angolare come generatore delle rotazioni. Hermiticita' dell'operatore momento angolare. Espressione esplicita in coordinate sferiche. Relazioni di commutazione fra diverse componenti del momento angolare. Interpretazione del risultato: commutatore dell'operatore momento angolare con un operatore vettoriale. Commutatore delle componenti del momento angolare con il quadrato del momento angolare.
15/10/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Autofunzioni del momento angolare: proprieta' generali. Operatori di innalzamento ed abbassamento: regole di commutazione. Azione degli operatori di innalzamento ed abbassamento su un autostato del momento angolare. Necessita' che la serie di autostati si arresti. Condizione sul massimo e sul minimo valore di m e determinazione dello spettro. Autofunzioni del momento angolare nella base delle coordinate: le armoniche sferiche. Dipendenza dall'angolo azimutale. Dipendenza dall'angolo polare: le funzioni sferiche. Funzioni con $m=0$ come base ortonormale sul cerchio: i polinomi di Legendre.
16/10/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Normalizzazione delle autofunzioni del momento angolare. Momento angolare semi-intero e monodromia delle funzioni d'onda: necessita' di momento angolare orbitale intero per funzioni monodrome. Lo spin: introduzione generale. Sistemi classici e quantistici con un numero finito di gradi di liberta' spaziali. Rotazioni su uno spazio di Hilbert vettoriale.
22/10/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Forma esplicita degli operatori di spin su un sistema vettoriale. Verifica delle relazioni di commutazione. Determinazione dello spin totale: spin uno. Il caso di spin 1/2. Costruzione dei generatori. Matrici di Pauli e loro proprieta'. Verifica delle relazioni di commutazione e del valore dello spin totale. Interpretazione fisica ed interpretazione geometrica dello spin semi-intero. Brevi cenni sui gruppi $SO(3)$ ed $SU(2)$.
23/10/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Sistemi che portano momento angolare orbitale e spin: funzione d'onda per una particella con spin nello spazio. Composizione di momenti angolari. Momento angolare totale: relazioni di commutazione. Operatori diagonalizzabili simultaneamente al momento angolare totale: relazioni di commutazione. Coefficienti di Clebsch-Gordan. Valori permessi per il momento angolare totale: massimo e minimo. Conteggio degli stati. Esempio: composizione di due spin 1/2. Spin 1/2 e particelle identiche. Introduzione alla risoluzione di problemi centrali su basi di autostati del momento angolare.
29/10/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Riduzione di un problema centrale al problema agli autovalori per la hamiltoniana radiale. Significato della proiezione sugli autostati del momento angolare. Ridefinizione della funzione d'onda radiale e misura di integrazione. Condizione al contorno nell'origine soddisfatta dalla autofunzione radiale. Andamenti asintotici della funzione d'onda radiale: andamento nell'origine e potenziali singolari; andamento all'infinito per potenziali che ammettono stati legati. La particella libera in coordinate sferiche: funzioni di Bessel.

30/10/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Proiezione del problema tridimensionale su un sottospazio di fissato momento angolare totale. L'oscillatore armonico isotropo: riassunto del risultato in cartesiane. Formulazione in coordinate sferiche e hamiltoniana radiale. Settore con $l=0$ e problema unidimensionale: condizioni al contorno ed autofunzioni. Operatori di creazione e distruzione generalizzati. Espressione in termini di essi della hamiltoniana. Operatori numero generalizzati. Azione degli operatori generalizzati sugli autostati degli operatori numero: spettri con diverso valore di l . Costruzione dello spettro complessivo per gli operatori numero. Costruzione dello spettro dell'hamiltoniana. Unicit� degli autostati trovati.
05/11/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo della degenerazione dello spettro. Teorema di degenerazione. Degenerazione e simmetrie: cenno sulle rappresentazioni irriducibili del gruppo di simmetria. Simmetrie dell'oscillatore armonico tridimensionale isotropo ed operatori di creazione e distruzione. Sottogruppo delle rotazioni. L'atomo di idrogeno. Analisi dimensionale e dipendenza dello spettro dai parametri: raggio di Bohr.
06/11/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Cenno sulla soluzione dell'equazione agli autovalori come equazione differenziale. Ansatz per la soluzione e comportamenti asintotici. Soluzione per serie e condizioni di normalizzabilit�. Forma dello spettro. Il modello di Bohr per l'atomo di idrogeno: orbite circolari, energia cinetica e momento angolare. Condizione di quantizzazione del momento angolare. Simmetrie del problema di Keplero classico. Il vettore di Laplace-Runge-Lenz. Conteggio delle costanti del momto indipendenti per un problema classico. Vincoli sul vettore di Lenz e sua interpretazione geometrica. L'operatore vettore di Lenz in meccanica quantistica: sua definizione come operatore hermitiano.
12/11/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Forme equivalenti dell'operatore vettore di Lenz. Calcolo del commutatore con l'hamiltoniana. Vincoli sul vettore di Lenz: ortogonalit� tra vettore di Lenz e momento angolare. Quadrato del vettore di Lenz, momento angolare totale e hamiltoniana. Relazioni di commutazione fra componenti del vettore di Lenz e del momento angolare. Relazioni di commutazione nel sottospazio associato ad un autovalore di energia fissato. Ridefinizione della normalizzazione. Relazioni di commutazione indipendenti dall'energia. Disaccoppiamento delle relazioni di commutazione ed operator tipo momento angolare. Espressione dell'energia in termini dell'autovalore degli operatori di tipo momento angolare. Determinazione dello spettro di energia.
13/11/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Riassunto delle simmetrie e dello spettro dell'atomo di idrogeno nella base non fisica. Calcolo della degenerazione. Passaggio alla base fisica: composizione di due "pseudo-momenti angolari". Autofunzioni nella base delle coordinate. Lo stato fondamentale e la sua normalizzazione. Cenni sugli stati eccitati. Polinomi di Laguerre. Traiettorie e azione in meccanica classica ed in meccanica quantistica. Richiami sul principio di minima azione. L'azione lungo una traiettorie classica.
19/11/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Azione e funzione caratteristica di Hamilton. L'impulso come gradiente lungo i moti classici. Calcolo della funzione caratteristica ed equazione di Hamilton-Jacobi. Sistemi invarianti per traslazioni temporali e funzione principale di Hamilton. Determinazione della funzione principale: oscillatore armonico e caso generale. Generalizzazione al caso multi-dimensionale. La funzione principale di Hamilton come onda: velocit� di fase e velocit� di gruppo. Il propagatore in meccanica quantistica: elementi di matrice dell'operatore di evoluzione temporale. Associativit� del propagatore. Propagatore e funzione d'onda. Calcolo del propagatore per un'evoluzione temporale infinitesima. Propagatore e azione.
20/11/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Normalizzazione del propagatore per evoluzione temporale infinitesima. Evoluzione temporale finita come sequenza di evoluzioni infinitesime. Path integral e somma sui cammini. Forma lagrangiana e hamiltoniana del path integral. Limite semiclassicalo e cammino di minima azione. Funzione d'onda dal path integral e equazione di Schroedinger da essa soddisfatta.
26/11/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	L'approssimazione WKB e la fase della funzione d'onda. Equazione soddisfatta dalla fase. Sviluppo in serie di \hbar . Limite classico ed equazione di Hamilton-Jacobi. Caso stazionario e separazione della dipendenza dal tempo. Soluzione fino al second'ordine. Determinazione esplicita della soluzione fino al primo ordine in \hbar nel caso unidimensionale. Caso di stati legati e caso di penetrazione sotto ad una barriera. Condizioni di validit� dell'approssimazione semiclassica. Condizione sulla lunghezza d'onda. Condizione sull'energia. Trattazione semiclassica della buca di potenziale profonda.

27/11/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Soluzione nelle tre regioni. Condizioni di raccordo e funzioni di Airy: conteggio dei gradi di liberta' indipendenti. Identificazione della soluzione nella regione centrale e condizione di quantizzazione. Confronto fra la soluzione semiclassica e gli andamenti qualitativi. Condizioni di quantizzazione di Bohr-Sommerfeld. La teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo. Convergenza della serie perturbativa. Sviluppo dell'autovalore e dell'autovettore e sequenza di equazioni perturbative. Ortogonalita' della correzione all'autostato imperturbato. Proiezione sul sottospazio lungo l'autostato delle equazioni perturbative. Determinazione della correzione all'autovalore in termini della correzione all'autostato all'ordine precedente. Correzione al primo ordine. La correzione all'autostato: inversione dell'operatore in un sottospazio.
03/12/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Determinazione della perturbazione allo stato: equazione ad un ordine generico. Calcolo esplicito della perturbazione per l'autovalore e lo stato fino al secondo ordine. Considerazioni qualitative sulla struttura della serie perturbativa. Caso degenero: scelta di base e degenerazione. Perturbazione al primo ordine all'energia: la perturbazione come autovalore della hamiltoninana perturbante. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo: motivazioni e idee generali. La rappresentazione di interazione: trasformazione degli stati e degli operatori. Dipendenza temporale degli stati in rappresentazione di interazione: equazione del moto e sua soluzione come prodotto cronologico.
04/12/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Equivalenza del calcolo di ampiezze di transizione in rappresentazione di Schrodinger, Heisenberg ed interazione. Calcolo dell'ampiezza di transizione in rappresentazione di interazione. Serie di Dyson: espressione esplicita fino a secondo ordine. Ampiezze di transizione per potenziali indipendenti dal tempo ma accessi at un tempo fissato. Calcolo della probabilita' di transizione per unita' di tempo. Regola aurea di Fermi e conservazione dell'energia.
10/12/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Cenni sulla teoria dell'urto. Sezione d'urto: definizione e significato intuitivo. Sezione d'urto totale e differenziale. Espressione formale per la sezione d'urto in meccanica quantistica. Normalizzazione degli stati e "spazio delle fasi". Calcolo del fattore di flusso. Espressione esplicita per la sezione d'urto. Calcolo in approssimazione di Born. Regola aurea di Fermi, conservazione dell'energia e suo significato. Espressione esplicita in termini di fattore di forma. Espressione per potenziali centrali. Introduzione alla meccanica quantistica dei sistemi a molti corpi.
11/12/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Particelle identiche: spazio di Hiolberto. Operatori di scambio per sistemi di due particelle. Comportamento della funzione d'onda per due particelle identiche sotto scambio. Osservabili per sistemi di particelle identiche. Commutazione di osservabili ed operatori di scambio. Spazio generale e sottospazio degli stati a simmetria definita. Scambio per sistemi di piu' particelle: non commutazione e degenerazione di scambio. Stati completamente simmetrici e completamente antisimmetrici. Inconsistenza degli stati a simmetria mista. Relazione spin-statistica. Scambio e rotazioni: interpretazione geometrica della relazione spin-statistica.
17/12/2018	10:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Stati fattorizzati e stati entangled: definizione ed esempi. Caratterizzazione degli stati entangled: la matrice densita'. Richiami sulle proprieta' della matrice densita' per stati puri e stati misti. Misure parziali: matrice densita' per un sottosistema. Esempio di uno stato di tripletto. Trasformazione da stato puro a stato misto sotto misura parziale. Caratterizzazione del comportamento sotto misura parziale: stati non entangled come stati che restano puri sotto misura parziale. Dimostrazione della condizione sufficiente.
18/12/2018	12:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Il paradossso EPR. Formulazione e significato: le "calze di Bertlsmann". Realismo locale. Variabili nascoste. Probabilita' congiunte di misure di spin: calcolo quantistico e calcolo in teorie di realismo locale. Le disuguaglianze di Bell e la loro violazione in fisica quantistica. Il problema della misura. Il gatto di Schroedinger. Misura e decoerenza.