



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

SCIENZE E TECNOLOGIE

Docente	Creazione	Stato	Chiusura
STEFANO FORTE		Da approvare	20/01/2017
Data di nascita	Codice fiscale		
21/06/1961	FRTSFN61H21F205Q		
Dipartimento di afferenza	Settore	Carriera	A.A.
DIPARTIMENTO DI FISICA	FIS/02-Fisica teorica, modelli e metodi matematici	PROFESSORE UNIVERSITARIO DI RUOLO I FASCIA	2016/17
Corso di Studio	Strutt.Responsabile	Insegnamento	Modulo
FISICA (Classe L-30) (F63)	FISICA (Classe L-30) (F63)	Fisica Moderna e Meccanica Quantistica (Mod. Meccanica Quantistica) (F63-18)	()

Forme didattiche previste dal Piano Didattico

- Lezioni (40 ore)
- Esercitazioni(30 ore)

Note

Nessuna

Riepilogo Attività

Forma didattica	Stato	Numero	Ore
Esercitazioni	Da approvare	10	20
Lezioni	Da approvare	25	50

Dettaglio attività

Stato	Data	Ora inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento/Note
Da approvare	MER 05/10/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione al corso: il ruolo delle simmetrie in meccanica quantistica. Spazi di Hilbert prodotto diretto: due qubit. Prodotto scalare e stati fisici. Autostati della posizione in tre dimensioni.
Da approvare	GIO 06/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Operatori posizione ed impulso in piu' dimensioni. Hamiltoniane su spazi multidimensionali: termine cinetico in termini del laplaciano. Potenziali separabili in coordinate cartesiane: diagonalizzazione dell'hamiltoniana (esempio esplicito). Hamiltoniane separabili: definizione e diagonalizzazione nel caso generale. Esempi di hamiltoniane separabili: la buca di potenziale infninta parallelepipedale. Caso cubico: degenerazione.
Da approvare	VEN 07/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	L'oscillatore armonico tridimensionale: spettro ed autofunzioni. Caso isotropo: invarianza per rotazioni del potenziale e delle autofunzioni. Calcolo della degenerazione. Il problema dei due corpi. Coordinate relative e baricentriche: costruzione esplicita del cambio di coordinate. Disaccoppiamento del termine cinetico. Cambiamenti lineari generali di coordinate: determinazione della trasformazione indotta sugli impulsi: commutatori canonici e generatori delle traslazioni nelle nuove variabili. Considerazioni sulle manipolazioni di operatori differenziali e la loro non-commutativita'. Problemi centrali: separazione del termine cinetico in termine radiale e termine angolare nel caso classico.
Da approvare	MER 12/10/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Il tensore completamente antisimmetrico in tre dimensioni: definizione e proprieta'. Dimostrazione dell'identita' vettoriale per il quadrato di un prodotto esterno. L'operator impulso in coordinate sferiche. Il generatore delle traslazioni della coordinata radiale. Separazione del termine cinetico in meccanica quantistica. Calcolo del quadrato dell'operatore momento angolare quantistico. L'impulso radiale: sua definizione come operatore hermitiano.
Da approvare	GIO 13/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Autostati della posizione e dell'impulso in d dimensioni. Normalizzazione degli stati. Passaggio dalla base delle posizioni alla base degli impulsi: trasformata di Fourier d-dimensionale. Traslazioni in d-dimensioni: generatore e sviluppo in serie di Taylor di una funzione di piu' variabili.

Da approvare	VEN 14/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Operatore di traslazione finita. Trasformata di Fourier di una funzione d'onda isotropa e sua evoluzione temporale nel caso di particella libera. Espressione del termine cinetico in termini di impulso radiale e momento angolare in meccanica quantistica. Il momento angolare: rotazioni, variazione infinitesima della coordinata sotto una rotazione generale. Determinazione della carica di Noether associata alla legge di conservazione classica. L'operatore momento angolare come generatore delle rotazioni nel caso quantistico. Commutatore tra diverse componenti del momento angolare.
Da approvare	MER 19/10/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Commutatore fra una componente del momento angolare ed il quadrato del momento angolare. Interpretazione geometrica dei commutatori dei generatori del momento angolare. Lo spettro degli operatori di momento angolare con metodo algebrico. Operatori di innalzamento ed abbassamento per gli autostati della terza componente del momento angolare. Condizione di positività e necessità che lo spettro si arresti. Determinazione dei valori massimo e minimo della terza componente del momento angolare e loro relazione con l'autovalore del quadrato del momento angolare. Valori permessi e determinazione dello spettro.
Da approvare	GIO 20/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Le autofunzioni del momento angolare nella base delle coordinate. Trasformazione delle autofunzioni sotto rotazione di 2π : monodromia delle funzioni d'onda e valori permessi interi del momento angolare. Costruzione esplicita delle armoniche sferiche. Dipendenza dall'angolo azimutale. Dipendenza dall'angolo polare e funzioni sferiche. Relazioni di ortonormalità e completezza per le funzioni sferiche. Funzioni con $m=0$ come base ortonormale sul cerchio polare: polinomi di Legendre. Introduzione allo spin: significato del momento angolare intrinseco nel caso classico. Sistemi vettoriali.
Da approvare	VEN 21/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Svolgimento di esercizi assegnati. Coordinate normali: sistema di due oscillatori armonici accoppiati. Coordinate del baricentro e relativa: disaccoppiamento del termine cinetico. Unicità della trasformazione che disaccoppia il problema dei due corpi. Operatori parità e scambio: azione della trasformazione sugli stati, sulle autofunzioni, e sugli operatori. Espressione della trasformazione in coordinate cartesiane e sferiche. Delta di Dirac in coordinate sferiche. Caso di delta localizzata nell'origine. Hermiticità dell'operatore impulso radiale: ruolo della misura di integrazione nell'integrazione per parti. Commutatore del momento angolare con la posizione e l'impulso: trasformazione di operatori vettoriali sotto rotazione.
Da approvare	GIO 27/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	(Esercitazione tenuta dal Dr. Giancarlo Ferrera). Precessione del momento angolare e momento della forza. Stati di minima indeterminazione per gli operatori di momento angolare. Momento angolare lungo un asse fissato ed identità di Cayley-Hamilton.
Da approvare	VEN 28/10/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Quantizzazione di un sistema vettoriale. Rotazione di uno stato: caso particolare di uno stato a componenti reali e caso generale. Generatore delle rotazioni sullo spazio di Hilbert e sua normalizzazione. Forma esplicita dei generatori. Verifica delle relazioni di commutazione. Operatore quadrato del momento angolare. Il sistema vettoriale come sistema di spin uno. Autostati della terza componente: base cartesiana e base circolare. Spazio di Hilbert per il momento angolare e lo spin. Caso di spin $1/2$. Costruzione degli operatori: matrici di Pauli. Verifica delle relazioni di commutazione. Verifica del valore dello spin totale.
Da approvare	MER 02/11/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Spin intero e semi-intero: il gruppo delle rotazioni ed il suo doppio ricoprimento. Interpretazione geometrica dello spin semi-intero. Funzioni d'onda per sistemi che portano sia momento angolare orbitale che spin. Composizione di momenti angolari. Base massimale di operatori commutanti: momento angolare totale e sua terza componente. Coefficienti di Clebsch-Gordan. Valori permessi per il momento angolare totale e la sua terza componente. Valori massimi e minimi del momento angolare totale e conteggio degli stati. Costruzione esplicita dei coefficienti di Clebsch-Gordan nel caso della combinazione di due spin $1/2$.
Da approvare	GIO 03/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Risoluzione di esercizi assegnati. Autostati di momento angolare orbitale zero e uno nella rappresentazione delle coordinate. Operatori di spin uno nella base circolare; passaggio dalla base cartesiana alla base circolare. Evoluzione temporale (percezione) di un sistema di spin accoppiato ad un campo magnetico.
Da approvare	VEN 04/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Discussione riassuntiva sulla differenza tra momento angolare orbitale e spin. Determinazione dello spettro di energia per un sistema centrale: riduzione al problema unidimensionale dopo la proiezione sulle autofunzioni del momento angolare. Hamiltoniana radiale e problema unidimensionale associato. Ridefinizione della funzione d'onda radiale e misura di integrazione. Condizioni al contorno soddisfatte dalla funzione d'onda radiale ridotta: singolarità del potenziale ed andamento nell'origine.
Da approvare	MER 09/11/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Andamento della funzione d'onda all'infinito. La particella libera: descrizione in coordinate cartesiane ed in coordinate sferiche. Equazione di Bessel. L'oscillatore armonico tridimensionale isotropo. Equazione agli autovalori per l'hamiltoniana per fisso valore del momento angolare. Caso $l=0$ e oscillatore armonico unidimensionale: condizioni al contorno e spettro. Operatori di creazione e distruzione, e operatore numero generalizzati. Espressione dell'hamiltoniana in termini dell'operatore numero

						generalizzato: relazione tra i ripstivi spettri. Commutazione tra l'hamiltoninana e l'operatore numero generalizzato.
Da approvare	GIO 10/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni Risoluzione di esercizi assegnati. Ancora sulla precessione dello spin: relazione con una rotazione finita. Espressione nel caso di momento angolare orbitale, spin 1/2 e spin 1. Espressione esplicita del generatore della rotazione attorno ad un asse generico per spin 1/2 e spin 1. Espressione esplicita dell'esponenziale della matrice 2x2 e 3x3 rispettivamente. Nel caso di spin 1: base cartesiana e base circolare. Calcolo dell'ampiezza di probabilita' di transizione. Combinazione di tre spin 1/2: autovalori e conteggio degli stati.
Da approvare	VEN 11/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Azione degli operatori di innalzamento ed abbassamento generalizzati su un autostato dell'operatore numero generalizzato. Costruzione dello spettro con l generico a partire da quello con l=0. Esaustivita' degli stati cosi' determinati. Calcolo della degenerazione. Parita' delle autofunzioni: coordinate cartesiane e coordinate sferiche. Teorema di degenerazione. Degenerazione e simmetrie. Multipletti di stati come rappresentazioni irriducibili del gruppo di simmetria, Cenno sulla simmetria SU(3) dell'oscillatore armonico N-dimensionale.
Da approvare	MER 16/11/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Il potenziale coulombiano. Equazione di Schro"dinger radiale ed equazione agli autovalori. Determinazione della dipendenza dello spettro dai parametri del problema ed analisi dimensionale: ruolo dell'analisi dimensionale nella risoluzione qualitativa di problemi fisici. Raggio di Bohr e dipendenza dell'energia. Cenno sulla soluzione per serie dell'equazione di Schrodinger radiale: andamenti asintotici, Ansatz per la soluzione e forma delle soluzioni. L'atomo di Bohr: determinazione dello spettro dell'atomo di idrogeno mediante l'ipotesi semiclassica di quantizzazione del momento angolare. Il problema di Coulomb ossia il problema di Keplero nel caso classico: trattazione hamiltoninana. Leggi del moto e simmetrie. Il vettore di Laplace-Lenz: dimostrazione della sua conservazione. Conteggio delle costanti del moto indipendenti per un problema classico: condizioni di ortogonalita' e normalizzazione sul vettore di Lenz. Relazione tra modulo del vettore di Lenz e eccentricita' dell'orbita.
Da approvare	GIO 17/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni L'operatore vettore di Lenz: definizione simmetrizzata; diverse forme della sua espressione esplicita. Calcolo del commutatore del vettore di Lenz con l'hamiltoniana: dimostrazione della legge di conservazione. Ortogonalita' del vettore di LOenz e del momento angolare. Espressione per il quadrato del vettore di Lenz. Commutatore tra diverse componenti del vettore di Lenz: algebra chiusa di operatori. Ridefinizione della normalizzazione degli elementi di matrice del vettore di Lenz tra autostati dell'hamiltoninana. Normalizzazione dell'operatore ridefinito. Commutatori: algebra delle simmetrie e analogia con il gruppo di mLorentz. Disaccoppiamento degli operatori attraverso una trasformazione diagonale: simmetria O(3)xO(3). Insieme massimale di operatori diagonalizzabili simultaneamente e loro spettro.
Da approvare	MER 23/11/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Riassunto delle simmetrie ell'atomo di idrogeno. Autovalori di energia e loro degenerazione. Autostati nella base O(3)xO(3) e nella base fisica. Funzioni d'onda nella base delle coordinate: stato fondamentale. Cenno sulla costruzione degli stati eccitati e loro caratteristiche qualitative. Polinomi di Laguerre.
Da approvare	GIO 24/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Differenze tra formulazione Hamiltoniana e Lagrangiana della meccanica classica: il ruolo delle condizioni iniziali. Principio di minima azione, e traiettoria classica determinata da condizioni iniziali e finali. L'azione classica lungo una traiettoria classica e la funzione principale di Hamilton: variazione e impulso. Equazione di Hamilton Jacobi. Esempio per un oscillatore armonico. Caso generale di potenziali indipendenti dal tempo: funzione caratteristica q e funzione principale. Caso n-dimensionale. Funzione principale come funzione d'onda. Velocita' di fase e velocita' di gruppo. Il propagatore in meccanica quantistica.
Da approvare	VEN 25/11/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni Risoluzione di esercizi assegnati. Autostati dello spin lungo un asse qualunque. Relazione tra la rappresentazione spinoriale e quella vettoriale delle rotazioni: bilineari fermionici. Combinazione di spin 1 e spin 1/2. Hamiltoniana con accoppiamento spin-spin e spin-orbita: determinazione dello spettro e degenerazione. Funzioni d'onda spaziali per un sistema di due particelle aventi ciascuna momento angolare l=1: decomposizione nelle componenti di spin 0, spin 1 e spin 2.
Da approvare	MER 30/11/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni Risoluzione di esercizi assegnati. Simmetrie dell'oscillatore armonico bidimensionale isotropo: bosoni di Schwinger. Simmetria SU(3) dell'oscillatore armonico tridimensionale isotropo. Evoluzione temporale in un sistema di riferimento rotante: trasformazione della Hamiltoniana. (Esercitazione tenuta dal dr. Giancarlo Ferrera)
Da approvare	GIO 01/12/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Propagatore e funzione d'onda. Associativita' del propagatore: interpretazione fisica. Calcolo del propagatore per una evoluzione temporale infinitesima. Propagatore ed azione. Normalizzazione del propagatore. Composizione di molte evoluzioni temporali infinitesime. Integrale di cammino (path-integral). Dominanza dei cammini di minima azione: significato del limite classico.
Da approvare	VEN 02/12/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni La formulazione di Feynman della meccanica quantistica: path integral e funzione d'onda. Dimostrazione che il path-integral soddisfa l'equazione di

						Schroedinger. L'approssimazione semiclassica. Equazione soddisfatta dalla fase della funzione d'onda. Limite classico ed equazioni di Hamilton-Jacobi. Sviluppo semiclassico nel caso stazionario: equazioni fino al secondo ordine.
Da approvare	MER 14/12/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Costruzione della soluzione WKB per hamiltoniane stazionarie unidimensionali. Forma esplicita delle soluzioni. Regioni di validita' dell'approssimazione semiclassica: lunghezza d'onda di de Broglie. Fallimento dell'approssimazione in prossimita' dei punti di inversione. Determinazione dello spettro per una buca di potenziale generica in approssimazione WKB. Cenni sulle condizioni di raccordo. Soluzioni nella regione centrale: condizioni di quantizzazione di Bohr-Sommerfeld. Forma qualitativa delle soluzioni. La teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo nel caso nondegenere. Sistema di equazioni accoppiate per autovalori ed autovettori. Determinazione della correzione al primo ordine all'autovalore di energia.
Da approvare	GIO 15/12/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni Risoluzione di esercizi assegnati. Dipendenza dell'autovalore di energia dai parametri dimensionali per un potenziale coulombiano generalizzato. Applicazione all'oscillatore armonico ed analisi dimensionale. Teorema del viriale. Forma qualitativa della dipendenza spaziale della funzione d'onda per lo stato fondamentale dell'atomo di idrogeno e sua trasformata di Fourier (cenni). (esercitazione tenuta dal dr. Giancarlo Ferrera).
Da approvare	VEN 16/12/2016	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni La teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo: determinazione dell'autovalore e dell'autovettore ad un ordine generico. Inversione di un operatore e proiezione dell'equazione in un sottospazio. Risoluzione esplicita fino al secondo ordine. Considerazioni qualitative. La teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Rappresentazione di interazione: evoluzione temporale degli stati.
Da approvare	MER 21/12/2016	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Calcolo di ampiezze di transizione: equivalenza delle rappresentazioni di Schroedinger, di Heisenberg, e di interazione. Calcolo dell'ampiezza di transizione in rappresentazione di interazione: sviluppo perturbativo fino al secondo ordine. Ampiezza al primo ordine: espressione esplicita. Potenziali indipendenti dal tempo "accesi" ad un tempo t_0 e problemi d'urto. Calcolo della probabilita' di transizione per unita' di tempo per tempi lunghi: regola aurea di Fermi e conservazione dell'energia.
Da approvare	MER 11/01/2017	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Introduzione alla teoria dell'urto. Sezione d'urto: definizione, significato fisico e definizione in meccanica quantistica. Calcolo dello spazio delle fasi: autostati di impulso ed autostati di energia. Calcolo del fattore di flusso. Espressione per la sezione d'urto. Sezione d'urto al primo ordine perturbativo e regola aurea di Fermi: l'approssimazione di Born. Fattore di forma. Caso di potenziali centrali.
Da approvare	GIO 12/01/2017	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni Svolgimento di esercizi assegnati. Precessione degli stati di spin 1 per un atomo di idrogeno in campo magnetico. Proprieta' del propagatore. Calcolo del propagatore per una particella libera. Potenziale coulombiano schermato al primo ordine perturbativo. Variazione della carica di un atomo di idrogeno al primo ordine perturbativo.
Da approvare	VEN 13/01/2017	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Particelle identiche in meccanica quantistica. Operatore di scambio. Proprieta' della funzione d'onda di una coppia di particelle identiche. Proprieta' dell'operatore di scambio. Identita' di particelle ed osservabili: osservabili invarianti sotto scambio. Sistemi di n corpi: operatori di scambio e loro non-commutativita'. Degenerazione di scambio. Sottospazi simmetrici ed antisimmetrici. Impossibilita' di simmetria mista. Relazione spin-statistica: bosoni e fermioni. Statistica e rotazioni. Funzioni d'onda per particelle identiche: principio di esclusione.
Da approvare	MER 18/01/2017	10:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Svolgimento di esercizi assegnati. Teoria delle perturbazioni per un livello degenere, e confronto con la soluzione esatta per due oscillatori armonici accoppiati. Perturbazioni dipendenti dal tempo per un oscillatore armonico gaussianamente smorzato. Particelle identiche: misure di posizione per una particella singola. Atomo di Elio: primi livelli eccitati e loro degenerazione. (Esercitazione tenuta dal dr. Giancarlo Ferrera).
Da approvare	GIO 19/01/2017	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni Entanglement e sua caratterizzazione. Riassunto della definizione e delle proprieta' della matrice densita'. Cenni sulle statistiche quantistiche. Matrice densita' per un sistema composto. Misura parziali e matrice densita' per il sottosistema. Caratterizzazione dell'entanglement in termini di matrice densita' ridotta.
Da approvare	VEN 20/01/2017	08:30	2	D	Dipartimento di Fisica	Lezioni Completezza della fisica quantistica. Il paradosso EPR. Variabili nascoste. Disuguaglianze di Bell e loro violazione in meccanica quantistica. Il problema della misura: il ruolo della decoerenza.