



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: 2019/2020 - **Stato del registro:** APERTO

Corso di Studio: FISICA (Classe L-30)

Insegnamento: Fisica Quantistica (modulo 1)

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
10/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione al corso. Fisica classica e fisica quantistica. Informazioni organizzative e struttura del corso. L'esperimento della doppia fenditura nella realizzazione di Zeilinger. Granelli di sabbia e composizione delle probabilita'. Che cosa ha visto Zeilinger.
11/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Interferenza: onde e particelle. Impossibilita' di riconciliare la figura di interferenza con la conoscenza della traiettoria. Rivelatori e scoparsa dell'interferenza. Lo stato del sistema. Notazione di Dirac. Il ket: stato come vettore. Sovrapposizione lineare di vettori. Prodotto scalare fra vettori: lo spazio di Hilbert.
12/03/2020	12:30	1.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Vettori di base e loro proprieta'. Norma di un vettore e prodotto scalare fra vettori in termini di vettori di base. Diverse scelte di base. Misura e prodotto scalare.
17/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Esempio di interferenza di stati: interferenza di alternative e misura successiva. Rigenerazione degli stati. Interferometro di Mach-Zehnder. Risoluzione dell'identita'. Operatori lineari. Matrice associata ad un operatore. Operatori come prodotto ket-bra.
18/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Composizione di operatori e prodotto di matrici. Operatori associati ad osservabili. Autovalori ed autovettori come risultati e stati corrispondenti ad un'osservabile. Aggiunto di un operatore. Operatori hermitiani. Autovalori reali ed autovettori ortogonai per operatori associati ad osservabili. Hermiticita' come condizione necessaria e sufficiente affinche un operatore abbia autovalori reali ed autovettori ortonormali. Spettro degenero e non-degenero. Operatori di proiezione: la misura come proiezione.
24/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Postulati della fisica quantistica: formulazioni equivalenti e loro significato. Cambiamenti di base: forma alias ed alibi della trasformazione. Operatori unitari. Conservazione del prodotto scalare. Trasformazione aggiunta di operatori. Operatori unitariamente equivalenti. Osservabili compatibili e incompatibili: esempi e caratterizzazione.
25/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Dimostrazione che due operatori sono compatibili se e solo se commutano. Caso non degenero e caso degenero. Indeterminazione di un operatore. Dimostrazione che l'indeterminazione di un'osservabile in uno stato e' nulla se e solo se lo stato e' autostato dell'osservabile data. Il principio di indeterminazione. Disuguaglianza di Schwartz. Parte hermitiana e parte antihermitiana del prodotto di operatori. Dimostrazione del principio di indeterminazione.
31/03/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Uso del principio di indeterminazione: semplici esempi, casi in cui il principio di indeterminazione e' banale. L'informazione in un qubit. Stati fisici come raggi nello spazio di Hilbert. La matrice (o operatore) densita': definizione e proprieta'. Valor medio di un'osservabile in termini della matrice densita'. Indipendenza dalla base e ciclicita' della traccia. Matrice densita' per una miscela statistica: stati puri e stati misti. Caratterizzazione di stati puri e stati misti: traccia della matrice densita' e del suo quadrato.
01/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	La piu' generale misura ed il piu' generale stato. Matrici di Pauli come base di matrici hermitiane 2x2. Ortogonalita' sotto traccia. Sfera di Bloch. Teorema di no-cloning. La meccanica quantistica: base delle coordinate. Misure di posizione. Operatore di posizione e suoi autostati.
07/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Vettore di stato nella base delle posizioni: la funzione d'onda ed il suo significato. Risoluzione dell'identita': la delta di Dirac. Proprieta' della delta. Normalizzazione e normalizzazione della funzione d'onda. Invarianza per traslazioni, parita' e dilatazioni. Cenni sulle distribuzioni: distribuzioni come limite di funzioni localizzate. Ortogonalita' dei vettori di base e normalizzazione impropria degli stati. La delta di Dirac come matrice identita' nello spazio degli autostati della coordinata. Uso della risoluzione dell'identita': normalizzazione e prodotto scalare. Costruzione della meccanica: osservabili come quantita' conservate. Leggi di conservazioni e simmetrie in meccanica classica: il teorema di Noether.
08/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	L'impulso come quantita' classicamente conservata sotto traslazioni. Traslazioni in meccanica quantistica: trasformazione sugli stati e trasformazione sui vettori di base. Traslazione della funzione d'onda e sviluppo in serie di Taylor. Operatori unitari come esponenziale di operatori hermitiani. Trasformazione infinitesima e generatore. Il generatore delle traslazioni ed i suoi elementi di matrice. Evoluzione temporale ed invarianza in meccanica quantistica. Invarianza e commutazione del generatore della trasformazione. Commutazione e conservazione dell'autovalore. L'operatore impulso.

21/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Relazione fra l'impulso e il generatore delle traslazioni: analisi dimensionale. La costante di Planck. Azione delle traslazioni sull'operatore impulso. Commutatore posizione-impulso. Commutatori e parentesi di Poisson: la quantizzazione canonica. Universalita' della costante di Planck e condizioni generali per le leggi di conservazione quantistiche. Relazione di indeterminazione posizione-impulso: il principio di indeterminazione di Heisenberg. Elementi di matrice degli operatori posizione ed impulso nella base delle posizioni. Hermiticita' degli operatori posizione ed impulso. Hermiticita' dell'impulso ed integrazione per parti: lo spazio degli stati fisici.
22/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Autofunzioni dell'operatore impulso: le onde piane. Normalizzazione delle autofunzioni dell'impulso: la delta di Dirac come trasformata di Fourier dell'identita'. Autofunzioni dell'impulso p e del numero d'onda k. Cambiamento di base fra la base delle coordinate e la base degli impulsi: la trasformata di Fourier. Elementi di matrice degli operatori posizione ed impulso nella base degli impulsi.
28/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Evoluzione temporale in meccanica classica e quantistica: il tempo come parametro. Natura deterministica dell'evoluzione temporale: operatore di evoluzione temporale e sua unitarieta'. Invertibilita' ed associativita' dell'evoluzione temporale. Dipendenza dal tempo del ket di stato e della funzione d'onda: evoluzione temporale come traslazione temporale. Il generatore delle traslazioni temporali: forma finita e forma infinitesima. Invarianza per traslazioni temporali e suo significato in meccanica quantistica. Indipendenza dal tempo del generatore infinitesimo quando vi e' invarianza. Conservazione dell'autovalore del generatore infinitesimo. La legge di conservazione classica: teorema di Noether per trasformazioni dipendenti dal tempo. Invarianza della Lagrangiana ed invarianza della azione.
29/04/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Dimostrazione del secondo teorema di Noether: espressione generale della carica conservata per trasformazioni che coinvolgono anche i tempi. Caso delle traslazioni temporali. Trasformazione della coordinata. Conservazione della Hamiltoniana. Fattore \hbar e analisi dimensionale. Il postulato dell'evoluzione temporale. Forma esplicita dell'operatore di evoluzione temporale in termini dell'operatore hamiltoniano. Equazione di Schroedinger per i ket di stato. Forma esplicita dell'equazione di Schroedinger nella base delle coordinate per hamiltoniane scritte come somma di energia cinetica e potenziale. La funzione d'onda secondo Schroedinger. Equazione di Schroedinger per l'operatore di evoluzione temporale. Soluzione (formale) esplicita per hamiltoniane indipendenti dal tempo. Esponenziale di un operatore. Verifica esplicita dell'invarianza per traslazioni temporali. Soluzione per hamiltoniana dipendenti dal tempo ma commutanti a tempi diversi.
30/04/2020	12:30	1.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Fallimento della soluzione esponenziale ingenua dell'equazione di Schroedinger per hamiltoniane non commutanti a tempi diversi. Ambiguita' di ordinamento. Il prodotto cronologico. Calcolo del prodotto cronologico del termine quadratico nello sviluppo dell'esponenziale. Termine di ordine n. Verifica che l'esponenziale ordinato cronologicamente soddisfa l'equazione di Schroedinger.
05/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Significato dell'operatore O_H : confronto dell'espressione generale dell'operatore di evoluzione temporale con la sua forma esplicita. Operatore di evoluzione temporale nella base degli autostati della hamiltoniana nel caso di hamiltoniane indipendenti dal tempo. Evoluzione temporale di un autostato della hamiltoniana: conservazione dell'energia. Evoluzione temporale di uno stato generico e dipendenza dal tempo dei coefficienti dello sviluppo sugli autostati della hamiltoniana. Evoluzione temporale di elementi di matrice: la rappresentazione di heisenberg. Relazione fra la rappresentazione di Schroedinger e la rappresentazione di Heisenberg. Equivalenza della dipendenza dal tempo dei risultati di una misura in rappresentazione di Schroedinger e di Heisenberg. Le equazioni del moto di Heisenberg per gli operatori.
06/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Leggi del moto per elementi di matrici di operatori: equivalenza della forma alla Heisenberg ed alla Schroedinger. Equazioni di Heisenberg per gli operatori posizione ed impulso. Calcolo del commutatore di p con una funzione di q e q con una funzione di p (operatori). Forma esplicita delle equazioni di Heisenberg per p e q per hamiltoniana in forma canonica: equivalenza formale con le equazioni di Hamilton. Leggi del moto per gli elementi di matrice ed emergenza della meccanica classica dalla meccanica quantistica sotto media: il teorema di Ehrenfest. Equazioni del moto classiche in termini di parentesi di Poisson e quantizzazione canonica mediante la sostituzione Poisson-> commutatori. Evoluzione temporale classica come trasformazione canonica e sua equivalenza con l'evoluzione temporale quantistica come traslazione temporale. Leggi di conservazione e "teorema di Noether" quantistico.

12/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	La particella libera. Autostati dell'energia: diagonalizzazione simultanea con la parita' o con l'impulso. Evoluzione temporale degli stati. Leggi del moto per gli operatori posizione ed impulso. Pacchetti d'onde: dipendenza temporale. Stati di minima indeterminazione. Condizioni generali di minima indeterminazione. Soluzione nel caso delle indeterminazioni in posizione ed impulso. Il pacchetto gaussiano. Valori medi di posizione ed impulso.
13/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo dell'indeterminazione in posizione ed impulso per il pacchetto gaussiano. Trasformata di Fourier di una Gaussiana. Larghezza del pacchetto trasformato di Fourier: considerazioni qualitative. Velocita' di fase e velocita' di gruppo. Allargamento del pacchetto d'onde. Il pacchetto gaussiano come pacchetto con il minimo incremento dell'indeterminazione. Stima quantitativa della scala degli effetti quantistici: unita' naturali.
19/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Problemi unidimensionali: stati legati, spettro discreto e stati normalizzabili vs stati di scattering, spettro continuo e stati normalizzabili in senso improprio. La buca di potenziale. Soluzione nelle tre regioni. Limite di profondita' infinita. Condizioni al contorno, Determinazione dello spettro di autofunzioni ed autovalori. Parita' delle autofunzioni. Stato fondamentale: energia minima e principio di indeterminazione. Nondegenerazione dello spettro di energia per problemi unidimensionali con autofunzioni normalizzabili in senso proprio. Commutazione dell'impulso e del potenziale. La theta di heaviside: derivata della theta e delta di Dirac. Condizioni al contorno generiche.
20/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Continuita' e discontinuita' nelle condizioni di raccordo nel caso generale. Raccordo della funzione e della derivata prima. Discussione qualitativa della buca di potenziale finita. Il gradino di potenziale. Condizioni di matching e loro risoluzione. Conteggio delle soluzioni indipendenti: caso generale. Corrente di probabilita'. Equazione di continuita'. Calcolo della corrente per onde piane e sovrapposizioni di onde piane. Calcolo della corrente per il gradino di potenziale: continuita' della corrente nelle due regioni. Coefficienti di trasmissione e riflessione. Seconda soluzione indipendente (regressiva). Caso di soluzione smorzata nella regione II: soluzione, riflessione totale, corrente. Cenno sull'effetto tunnel.
26/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Discussione qualitativa dello spettro per una buca simmetrica generica. Regioni ed andamenti. Punti di inversione. Inesistenza di soluzioni con energia minore del minimo del potenziale. Esistenza dello stato fondamentale. Ricerca delle soluzioni a energia crescente e parita' alternate. Spettro discreto e spettro continuo. L'oscillatore armonico. Equazioni classiche del moto. Non-negativita' e discretezza dello spettro quantistico. Operatori di creazione e distruzione. Operatore numero e sua relazione con la hamiltoniana. Relazione di commutazione fra l'operatore numero e gli operatori di creazione e distruzione: innalzamento ed abbassamento dell'autovalore. Necessita' dell'esistenza di uno stato di vuoto. Spettro di energia.
27/05/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Gli autostati dell'oscillatore armonico. Calcolo della normalizzazione. Elementi di matrice degli operatori di creazione e distruzione. Elementi di matrice degli operatori posizione ed impulso. Valori medi ed indeterminazione di posizione ed impulso. Lo stato fondamentale come stato di minima indeterminazione. Funzioni d'onda nella base delle coordinate. La funzione d'onda di stato fondamentale. Stati eccitati. Polinomi di hermite. Cenno sui polinomi ortogonali.
03/06/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Evoluzione temporale per l'oscillatore armonico. Operatore di evoluzione temporale nella base degli autostati di energia. Equazioni del moto per gli operatori posizione ed impulso alla Heisenberg e loro soluzione formale. Formule di Baker-Campbell-Hausdorff (NCH). Determinazione dell'evoluzione temporale finita come azione ripetuta della trasformazione infinitesimale usando la prima formula BCH. Evoluzione temporale degli operatori di creazione e distruzione alla Heisenberg. Suo uso per la determinazione dell'evoluzione temporale degli operatori posizione ed impulso. Operatori di creazione e distruzione alla Heisenberg ed evoluzione degli autostati della hamiltoniana alla Heisenberg. (Feedback sul corso e sulle esercitazioni).
09/06/2020	08:30	2.0	B	aula zoom virtuale del Dipartimento di Fisica	Lezioni	Gli stati coerenti: motivazioni generali. Costruzione dello stato coerente come autostato dell'operatore di distruzione. Decomposizione sulla base degli autostati di energia dell'oscillatore armonico. Normalizzazione. Quasi-ortogonalita'. Valori medi di posizione ed impulso: interpretazione del parametro z. Indeterminazione in posizione e impulso: lo stato coerente come pacchetto (gaussiano) di minima indeterminazione, ossia come stato di oscillatore armonico traslato. Stati "gatto di Schroedinger". Effetto Kerr "sdoppiamento" dello stato coerente. Misura di posizione ed interferenza. Accoppiamento dello stato ad un rivelatore e scomparsa dell'interferenza.