



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

REGISTRO DELLE ATTIVITA' DIDATTICHE

Dati Anagrafici

MARCO ZARO

Data di Nascita: 25/01/1986 - **Codice Fiscale:** ZRAMRC86A25D869X

Ruolo: II FASCIA

PHYS-02/A

DIPARTIMENTO DI FISICA "ALDO PONTREMOLI"

Dati dell'insegnamento

Anno Accademico: 2025/2026 - **Stato del registro:** APERTO

Corso di Studio: FISICA (Classe L-30)

Insegnamento: Fisica Quantistica (modulo 2)

Forme Didattiche e Ore assegnate:

Lezioni (40.0 ore)

Note:

nessuna nota inserita.

Riepilogo attività

Forma didattica	Ore registrate
Lezioni	40.0

Dettaglio attività

Data	Ora Inizio	Ore	Modalità	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento
30/09/2025	08:30	2.0		E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione al corso e syllabus. Trattazione di sistemi a molti gradi di libertà (molte dimensioni o molti corpi). Spazio di Hilbert prodotto tensore di spazi mono-dimensionali, forma generale dello stato. Operatori posizione e impulso multi-dimensionali e loro regole di commutazione. Inizio trattazione problemi separabili
01/10/2025	08:30	2.0		E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Problemi separabili. Separazione dell'Hamiltoniana multi-dimensionale in più Hamiltoniane di singola coordinata. Autovalori e autovettori dell'Hamiltoniana totale in termini di quelli delle Hamiltoniane di singola coordinata. Oscillatore armonico tridimensionale in coordinate cartesiane. Calcolo autovalori, autofunzioni e degenerazione. Problema dei due corpi, separazione in moto del baricentro e relativo, analogia col caso classico. Calcolo commutatori e verifica relazioni canoniche per le nuove coordinate. Come una trasformazione delle coordinate definisce una trasformazione degli impulsi che preservi le relazioni di commutazione.
02/10/2025	12:30	2.0		B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	La separazione del termine cinetico in parte radiale e parte angolare. Prodotto vettoriale mediante il tensore di Levi-Civita e sue proprietà. Termine cinetico nel caso di operatori posizione e impulso (non commutanti). Hermiticità del momento angolare e necessità di definire l'impulso radiale come $-i\hbar(d_r + 1/r)$
07/10/2025	08:30	2.0		Aula G22	Golgi 18	Lezioni	Il Momento angolare Le rotazioni infinitesime e il momento angolare come quantità conservata classicamente sotto rotazioni. Azione delle rotazioni su funzioni d'onda. Momento angolare in coordinate sferiche, commutatore tra componenti diverse e con L^2 . Azione del momento angolare su vettori di operatori. Spettro del momento angolare: Autostati simultanei di L^2 e L_z , operatori di innalzamento e abbassamento e loro commutatori
09/10/2025	12:30	2.0		B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Conclusione della derivazione dello spettro del momento angolare. Autofunzioni del momento angolare nella base delle coordinate. Armoniche sferiche e polinomi di Legendre, alcune loro proprietà. Concetti basilari di teoria dei gruppi (Gruppi di Lie, Algebre di Lie, Rappresentazioni riducibili e irriducibili)
10/10/2025	12:30	0.5		C	Dipartimento di Fisica	Lezioni	conclusione teoria dei gruppi (cenni su rappresentazioni riducibili e irriducibili)
16/10/2025	12:30	2.0		B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Lo spin. Rappresentazione delle rotazioni su spazi vettoriali di dimensione finita. Caso di uno spazio tridimensionale (spin 1) e di uno spazio bidimensionale (spin 1/2). Effetto di una rotazione di 2π nel secondo caso. Forma più generale della funzione d'onda per una particella con spin diverso da zero
17/10/2025	12:30	1.0		C	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Composizioni di momento angolare. Coefficienti di Clebsch-Gordan e cambio di base
21/10/2025	08:30	2.0		E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Composizione momenti angolari, conclusione e esempio nel caso di due sistemi di spin 1/2. Problemi radiali: forma delle autofunzioni radiali dell'Hamiltoniana. Autofunzione "ridotta", suoi andamenti asintotici a $r \rightarrow 0$ e infinito. Analogia e differenze rispetto ai problemi unidimensionali affrontati nel primo modulo. Particella libera
23/10/2025	12:30	2.0		B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	oscillatore armonico isotropo in coordinate sferiche. Caso $l=0$ e relazione con l'O.A. unidimensionale. Caso $l>0$, Introduzione degli operatori di creazione e distruzione generalizzati e costruzione dello spettro. Calcolo della degenerazione. Teorema di degenerazione e esistenza di operatori commutanti con l'hamiltoniana ma non tra loro
28/10/2025	07:30	2.0		G22	Golgi 18	Lezioni	Conclusione degenerazione oscillatore armonico isotropo. Atomo d'idrogeno, Hamiltoniana e sua scrittura in termini di variabili adimensionali. I potenziali coulombiani. Quantizzazione di Bohr e livelli energetici Simmetrie classiche del problema di Keplero, vettore di Laplace-Runge-Lenz.

30/10/2025	11:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Atomo d'idrogeno. Costanti del moto nel caso quantistico, definizione del vettore di Laplace-Runge-Lenz in termini di operatori. Relazioni di commutazione tra componenti diverse e con componenti del momento angolare. Analogia con il gruppo di Lorentz. "Diagonalizzazione" delle relazioni di commutazione. Costruzione dello spettro partendo dagli operatori del momento angolare e del vettore di Laplace-Runge-Lenz. Degenerazione dei livelli energetici. Autofunzioni nella base delle coordinate
04/11/2025	08:30	2.0	G22	Golgi 18	Lezioni	Teoria delle perturbazioni non dipendenti dal tempo. Caso non degenerare. Sviluppo degli stati e delle correzioni all'energia del sistema. Esempio: oscillatore armonico unidimensionale con potenziale lineare. Trattazione perturbativa, e relazione con la soluzione esatta svolta al primo semestre
06/11/2025	11:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo, il caso degenerare. Come il potenziale della perturbazione rimuove la degenerazione. Esempio: l'interazione spin-orbita dell'atomo di Idrogeno. Operatori tensoriali; tensori cartesiani, riducibilita` in rappresentazioni irriducibili del gruppo delle rotazioni. Tensori sferici, relazioni di commutazione con le componenti del momento angolare. Teorema di Wigner-Eckart, suo significato fisico. Regole di selezione per le transizioni elettromagnetiche dell'atomo di idrogeno (in approssimazione di dipolo)
11/11/2025	07:30	2.0	G22	Golgi 18	Lezioni	perturbazioni dipendenti dal tempo. Rappresentazione di interazione per l'evoluzione temporale, collegamento con le rappresentazioni di Heisenberg e di Schrodinger. Sistema a due livelli con potenziale oscillante e sue applicazioni (ad es. risonanza magnetica). Operatore di evoluzione temporale in rappresentazione di interazione. Espansione perturbativa, elemento di matrice al primo ordine, principio di indeterminazione tempo-energia, conservazione dell'energia nel limite di t grande (da completare)
13/11/2025	11:30	0.5	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Conclusioni perturbazioni dipendenti dal tempo. Regola aurea di Fermi. Transizioni virtuali al secondo ordine (cenni)
19/11/2025	07:30	2.0	Alfa	Informatica	Lezioni	Teoria dell'urto, sezione d'urto, sua decomposizione in termini di fattore di flusso, spazio delle fasi e probabilita` di interazione. Calcolo dell'elemento di matrice del potenziale tra autostati dell'energia (onde piane). Fattore di forma, caso speciale del potenziale centrale. Potenziale Coulombiano e formula di Rutherford
25/11/2025	07:30	2.0	G22	Golgi 18	Lezioni	Sistemi a molti corpi e particelle identiche. Operatore di scambio, autofunzioni e autovettori. Caso di 2 particelle, trasformazione di stati e degli operatori. Caso a molte particelle, stati totalmente simmetrici o antisimmetrici per diagonalizzare simultaneamente tutti gli operatori di scambio. Postulato spin-statistica. Esempi: sistemi a 2 elettroni, condensato di Bose-Einstein, Barione Delta++. Atomo di elio, splitting dei livelli a causa dell'asimmetrizzazione della funzione d'onda.
27/11/2025	11:30	2.0	B	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Entanglement. Matrice densita` in presenza di entanglement. Misure parziali e decoerenza. Passaggio da stato puro a miscela statistica quando un solo sottosistema viene misurato. Gatto di Schrodinger, paradosso e soluzione introducendo l'interazione con l'ambiente. Decoerenza e misure in meccanica quantistica. Introduzione al paradosso EPR e correlazioni classiche
02/12/2025	08:30	1.0	G22	Golgi 18	Lezioni	Paradosso EPR, teoria del realismo locale o delle variabili nascoste. Disuguaglianze di Bell, formulazione di CHSH e loro violazione
09/12/2025	08:30	2.0	G22	Golgi 18	Lezioni	Limite classico della meccanica quantistica. Teoria di Hamilton Jacobi, azione come onda classica. Equazione e funzione principale di Hamilton Jacobi. Caso quantistico, equazione di Hamilton Jacobi per la fase della funzione d'onda nel limite $\hbar \rightarrow 0$. Il propagatore in meccanica quantistica. Definizione e proprieta`.
11/12/2025	12:30	1.0	B		Lezioni	Il propagatore di Feynman come integrali sui cammini. Equazione di Schrodinger per il propagatore
16/12/2025	08:30	2.0	G22	Golgi 18	Lezioni	forma del path integral per lagrangiane polinomiali, caso particolare di lagrangiane quadratiche. Effetto di Aharonov-Bohm. Approssimazione semiclassica/WKB. Forma delle soluzioni, validita` dell'approssimazione, condizioni di raccordo e di quantizzazione. Calcolo dei livelli energetici per la buca infinita e l'oscillatore armonico