

# Master Privato

## Fisica Quantistica



## Master Privato Fisica Quantistica

- » Modalità: Online
- » Durata: 12 mesi
- » Titolo: TECH Università Tecnologica
- » Dedizione: 16 ore/settimana
- » Orario: a scelta
- » Esami: Online

Accesso al sito web: [www.techtitute.com/it/ingegneria/master/master-fisica-quantistica](http://www.techtitute.com/it/ingegneria/master/master-fisica-quantistica)

# Indice

01

Presentazione

---

*pag. 4*

02

Obiettivi

---

*pag. 8*

03

Competenze

---

*pag. 12*

04

Struttura e contenuti

---

*pag. 16*

05

Metodologia

---

*pag. 32*

06

Titolo

---

*pag. 40*

01

# Presentazione

Al giorno d'oggi servono ingegneri in grado di combinare le conoscenze dalla fisica alla tecnologia. Da questa fusione sono nati, ad esempio, il telescopio James Webb o l'acceleratore di particelle che ha permesso di scoprire il bosone di Higgs. Così, in questo secolo, la comprensione dell'asimmetria tra materia e antimateria, la ricerca di esopianeti o di buchi neri supermassicci continuano a essere una grande sfida per la fisica quantistica. Ecco perché TECH ha creato questa specializzazione 100% online con un approccio teorico-pratico che permetterà agli studenti di approfondire l'astrofisica, la fisica nucleare o la meccanica quantistica. Inoltre, gli studenti hanno accesso a materiale didattico innovativo, accessibile 24 ore su 24 da qualsiasi dispositivo dotato di connessione internet.





“

*Un Master Privato 100% online, con un programma di studio disponibile 24 ore su 24, in modo da poter approfondire ogni volta che lo si desidera i concetti chiave della Fisica Quantistica"*

Il campo di ricerca della Fisica Quantistica offre un'ampia gamma di linee di sviluppo con un grande potenziale per i professionisti dell'ingegneria che decidono di entrare in questo campo di esplorazione e scoperta nella produzione di energia, atomi ultrafreddi, ioni intrappolati o fotonica.

I recenti progressi in questo campo hanno aperto molteplici vie di studio e di azione in altre discipline come l'astrofisica, la cosmologia, la chimica, la biologia, la medicina o l'intelligenza artificiale: possibilità vaste quanto l'universo stesso. Ecco perché TECH ha progettato questo Master Privato in Fisica Quantistica, che permetterà agli studenti di ottenere, in soli 12 mesi, le conoscenze più avanzate sui processi fisici più comuni della fisica planetaria e solare, sugli studi di Paul Dirac o Richard Feynman e sulla teoria dei campi quantistici.

Tutto questo, inoltre, in un programma insegnato esclusivamente online, che permetterà loro di approfondire, quando lo desiderano, le equazioni di Einstein, la soluzione di Schwarzschild, la materia e le energie oscure o la termodinamica dell'universo primordiale. I casi di studio li aiuteranno anche a integrare la pratica nel loro lavoro quotidiano.

Questa istituzione accademica offre quindi un'eccellente opportunità per gli specialisti di ingegneria che desiderano avanzare nella loro carriera attraverso una specializzazione universitaria di qualità, compatibile con le loro responsabilità lavorative e/o personali. Tutto ciò che serve è un dispositivo elettronico con una connessione a Internet per visualizzare i contenuti ospitati della piattaforma virtuale. Senza frequenza in aula o orari fissi, gli studenti hanno la libertà di distribuire il carico didattico in base alle proprie esigenze.

Questo **Master Privato in Fisica Quantistica** possiede il programma più completo e aggiornato del mercato. Le caratteristiche principali del programma sono:

- ♦ Sviluppo di casi pratici presentati da esperti in Fisica
- ♦ Contenuti grafici, schematici ed eminentemente pratici che forniscono informazioni scientifiche e pratiche riguardo alle discipline essenziali per l'esercizio della professione
- ♦ Esercizi pratici che offrono un processo di autovalutazione per migliorare l'apprendimento
- ♦ Speciale enfasi sulle metodologie innovative
- ♦ Lezioni teoriche, domande all'esperto, forum di discussione su questioni controverse e compiti di riflessione individuale
- ♦ Contenuti disponibili da qualsiasi dispositivo fisso o mobile dotato di connessione a internet



*Grazie alle conoscenze acquisite in questo Master Privato, sarai in grado di contribuire alla soluzione dei problemi della materia oscura"*

“

*La biblioteca multimediale di questo programma ti porterà a conoscere i principali contributi alla Fisica Quantistica di Richard Feynman, Paul Dirac, Peter Higgs e Schrödinger”*

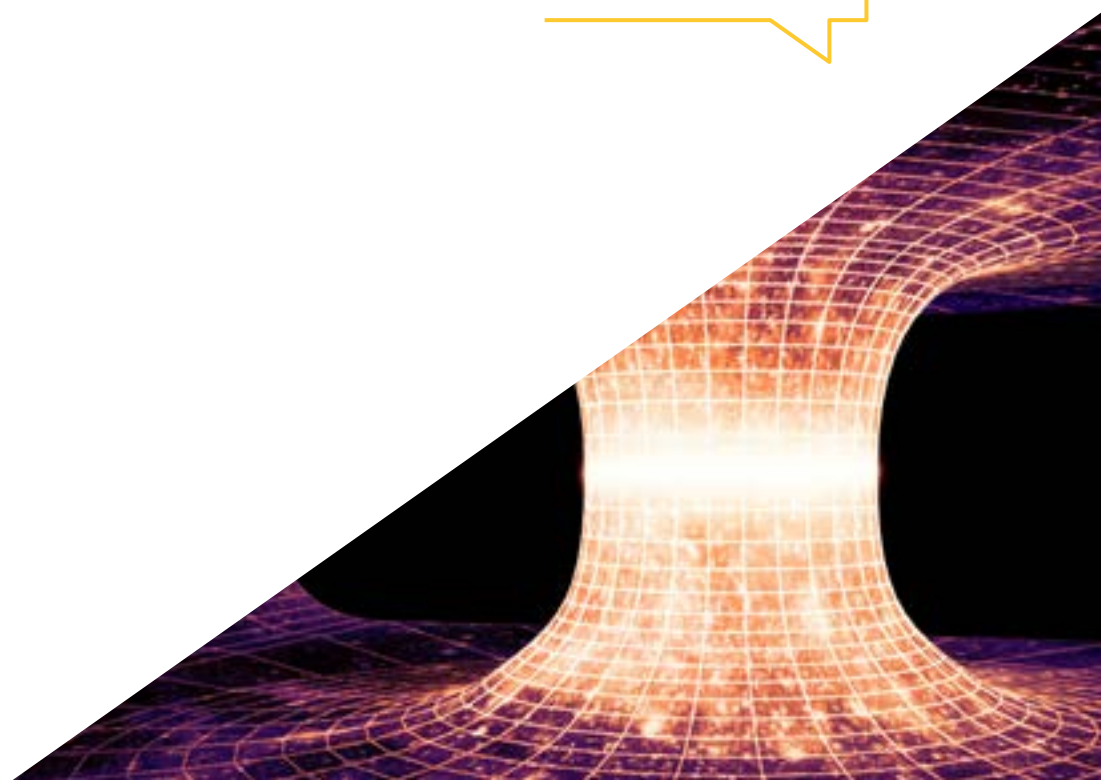
Il personale docente del programma comprende rinomati specialisti, che forniscono agli studenti le competenze necessarie a intraprendere un percorso di studio eccellente.

I contenuti multimediali, sviluppati in base alle ultime tecnologie educative, forniranno al professionista un apprendimento coinvolgente e localizzato, ovvero inserito in un contesto reale.

La creazione di questo programma è incentrata sull'Apprendimento Basato su Problemi, mediante il quale lo specialista deve cercare di risolvere le diverse situazioni che gli si presentano durante il percorso accademico. Lo studente potrà usufruire di un innovativo sistema di video interattivi creati da esperti di rinomata fama.

*Clicca ora e accedi a una specializzazione che ti permetterà di avanzare nella tua carriera professionale di ingegnere nel campo della Fisica Quantistica.*

*Iscriviti a un Master Privato che ti permetterà di risolvere i principali problemi della meccanica quantistica.*





# 02

# Obiettivi

TECH ha progettato questo corso di specializzazione con l'obiettivo principale di offrire agli studenti le informazioni più avanzate ed esaustive sulla Fisica Quantistica. A tal fine, mette a disposizione risorse didattiche multimediali, che permetteranno loro di padroneggiare i sistemi quantistici, la cosmologia, il concetto di relatività e i principali autori in questo campo. Allo stesso modo, il team di docenti che fa parte di questo programma guiderà i professionisti affinché possano raggiungere facilmente questi obiettivi.





“

*L'obiettivo di TECH ruota intorno a te. Avanza nella tua carriera di ingegnere grazie alle ultime conoscenze sul funzionamento della supersimmetria, delle stringhe e delle dimensioni extra"*



## Obiettivi generali

- ♦ Acquisire i concetti di base dell'astrofisica
- ♦ Avere nozioni di base sui diagrammi di Feynman, su come si disegnano e sulla loro utilità
- ♦ Imparare e applicare metodi approssimati per studiare i sistemi quantistici
- ♦ Padroneggiare i campi di Klein-Gordon, Dirac ed elettromagnetici



*Acquisirai la conoscenza più esaustiva della rottura delle più comuni simmetrie"*



## Obiettivi specifici

### Modulo 1. Introduzione alla fisica moderna

- ♦ Identificare e valutare la presenza di processi fisici nella vita quotidiana e in scenari sia specifici (applicazioni mediche, comportamento dei fluidi, ottica o protezione radiologica) che comuni (elettromagnetismo, termodinamica o meccanica classica)
- ♦ Essere in grado di utilizzare strumenti informatici per risolvere e modellare problemi fisici
- ♦ Conoscere i nuovi sviluppi e progressi nel campo della fisica, sia teorica che sperimentale
- ♦ Sviluppare capacità di comunicazione per scrivere relazioni e documenti o per fare presentazioni efficaci

### Modulo 2. Metodi matematici

- ♦ Acquisire le nozioni di base degli spazi metrici e di Hilbert
- ♦ Acquisire la conoscenza delle caratteristiche degli operatori lineari e della teoria di Sturm-Liouville
- ♦ Conoscere la teoria dei gruppi, della rappresentazione dei gruppi, del calcolo tensoriale e delle sue applicazioni alla fisica

### Modulo 3. Fisica Quantistica I

- ♦ Applicare i concetti fondamentali della fisica quantistica e la loro articolazione in leggi e teorie
- ♦ Conoscere i processi fisici più comuni della Fisica Quantistica
- ♦ Conoscere i postulati della Fisica Quantistica
- ♦ Saper applicare gli strumenti matematici propri della Fisica Quantistica per risolvere problemi di meccanica quantistica

**Modulo 4. Astrofisica**

- ♦ Comprendere e utilizzare i metodi matematici e numerici comunemente usati in astrofisica
- ♦ Conoscere i nuovi sviluppi e progressi nel campo dell'astrofisica, sia teorici che sperimentali
- ♦ Comprendere i processi fisici più comuni in cosmologia
- ♦ Comprendere i processi fisici più comuni nella fisica planetaria e solare

**Modulo 5. Fisica Quantistica II**

- ♦ Conoscere i modelli atomici con il metodo variazionale
- ♦ Padroneggiare il momento angolare intrinseco
- ♦ Comprendere la teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo
- ♦ Comprendere e saper applicare il metodo WKB

**Modulo 6. Fisica nucleare e delle particelle**

- ♦ Ottenere una conoscenza di base della fisica nucleare e delle particelle
- ♦ Saper distinguere i diversi processi di decadimento nucleare
- ♦ Conoscere i diagrammi di Feynman, il loro utilizzo e come realizzarli
- ♦ Saper eseguire calcoli di collisione relativistica

**Modulo 7. Teoria quantistica dei campi**

- ♦ Acquisire le nozioni di base della teoria quantistica dei campi
- ♦ Conoscere i principali problemi di quantizzazione di alcuni campi e come vengono risolti
- ♦ Saper calcolare le ampiezze delle interazioni tra particelle a partire dai diagrammi di Feynman
- ♦ Conoscere le simmetrie C, P, T, le più comuni violazioni di simmetria e il teorema di conservazione della simmetria CPT

**Modulo 8. Relatività generale e cosmologia**

- ♦ Acquisire le nozioni di base della relatività generale
- ♦ Applicare le conoscenze del calcolo e dell'algebra allo studio della gravità utilizzando la teoria della relatività generale
- ♦ Acquisire la conoscenza delle equazioni di Einstein in formato tensoriale
- ♦ Acquisire le conoscenze di base della cosmologia e dell'universo primordiale

**Modulo 9. Fisica delle alte energie**

- ♦ Applicare la conoscenza della teoria quantistica dei campi e la matematica della teoria dei gruppi e delle rappresentazioni alla fisica delle particelle elementari
- ♦ Acquisire la conoscenza dei meccanismi di rottura spontanea delle simmetrie e del meccanismo di Higgs
- ♦ Conoscere la fisica dei neutrini, delle loro masse e delle oscillazioni
- ♦ Conoscere le regole di Feynman per l'elettrodinamica quantistica, la cromodinamica quantistica e l'interazione debole
- ♦ Acquisire le nozioni di base della teoria di Yang-Mills

**Modulo 10. Informazioni e computazione quantistica**

- ♦ Acquisire le nozioni di base dell'informazione classica e quantistica
- ♦ Individuare gli algoritmi più comuni per la crittografia quantistica delle informazioni
- ♦ Acquisire nozioni di base sulle teorie semiacquatiche e quantistiche dell'interazione luce-materia
- ♦ Comprendere le più comuni implementazioni dell'informazione quantistica



03

# Competenze

La struttura di questo Master Privato è stata creata con l'obiettivo di migliorare le competenze e le capacità dei professionisti dell'ingegneria nel campo della Fisica Quantistica. Pertanto, al termine delle 1.500 ore di insegnamento, gli studenti saranno in grado di applicare i concetti acquisiti sulla teoria dei campi quantistici, sulle leggi fisiche a livello subatomico o di sviluppare le diverse formulazioni matematiche illustrate in questo programma. Le simulazioni di casi di studio saranno di grande utilità per i professionisti, che potranno integrare le metodologie illustrate nella loro pratica quotidiana.





“

*Questo programma accademico ti mostrerà da un punto di vista teorico-pratico le possibilità di applicare le leggi della fisica della fisica e lo studio della Via Lattea”*



## Competenze generali

---

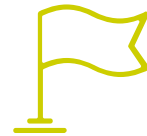
- ♦ Conoscere il funzionamento dell'universo su scala cosmologica e stellare
- ♦ Saper applicare la soluzione di Schwarzschild e le sue conseguenze
- ♦ Comprendere le conseguenze del principio di equivalenza
- ♦ Determinare la massa di un sistema binario

“

*Potenzia la tua carriera professionale padroneggiando i principali postulati della meccanica quantistica grazie a questa specializzazione. Iscriviti subito”*







## Competenze specifiche

---

- ♦ Sviluppare una mente aperta e critica, la chiave per comprendere le leggi fisiche a livello subatomico
- ♦ Comprendere gli effetti delle onde gravitazionali sulla materia
- ♦ Utilizzare modelli atomici con il metodo variazionale
- ♦ Applicare i postulati della meccanica quantistica

# 04

## Direzione del corso

TECH applica un approccio di alta qualità a tutti i suoi corsi. Questo garantisce agli studenti che studiando qui troveranno i migliori contenuti didattici insegnati dai migliori professionisti del settore. Questo Corso Universitario in Trasformazione Digitale e Industria 4.0 Applicata ai Sistemi di Energia Rinnovabile dispone di professionisti di grande prestigio in questo settore, che apportano alla specializzazione l'esperienza dei loro anni di lavoro, così come le conoscenze acquisite dalla ricerca sul campo. Tutto questo, al fine di fornire agli ingegneri un programma di alto livello che permetterà loro di lavorare in ambienti nazionali e internazionali con maggiori garanzie di successo.





“

*Impara dai migliori e acquisisci le conoscenze e le competenze necessarie per poter operare al meglio in questo settore"*



## Direttrice ospite internazionale

Il Dott. Philipp Kammerlander è un esperto esperto di Fisica Quantistica, con un alto prestigio tra i membri della comunità accademica internazionale. Dal suo ingresso nel Quantum Center di Zurigo come Public Program Officer, ha svolto un ruolo cruciale nella creazione di reti collaborative tra istituzioni dedicate alla scienza e alla tecnologia quantistica. Sulla base dei suoi risultati, ha assunto il ruolo di Direttore Esecutivo della stessa istituzione.

Nello specifico, da questo lavoro professionale, l'esperto ha coordinato diverse attività come workshop e conferenze, collaborando con vari dipartimenti dell'Istituto federale di tecnologia di Zurigo (ETH). Inoltre, le sue azioni sono state decisive per ottenere fondi e creare strutture interne più sostenibili che aiutino il rapido sviluppo delle funzioni del centro che rappresenta.

Inoltre, affronta concetti innovativi come la teoria dell'informazione quantistica e la sua elaborazione. Su queste tematiche ha progettato programmi di studio e guidato il suo sviluppo di fronte a oltre 200 studenti. Grazie alla sua eccellenza in questi campi, ha riconoscimenti notevoli come il Golden Owl Award e il VMP Assistant Award che sottolineano il suo impegno e la sua abilità nell'insegnamento.

Oltre al suo lavoro presso il Quantum Center e l'ETH di Zurigo, questo ricercatore ha una vasta esperienza nel settore tecnologico. Ha lavorato come ingegnere software freelance, progettando e testando applicazioni di analisi aziendale basate sullo standard ACTUS per i contratti intelligenti. È stato anche consulente presso abaQon AG. Il suo percorso diversificato e i suoi risultati significativi nel mondo accademico e industriale sottolineano la sua versatilità e dedizione all'innovazione e all'educazione nel campo della scienza quantistica.



## Dr. Kammerlander, Philipp

---

- Direttore esecutivo del Quantum Center di Zurigo, Svizzera
- Professore presso l'Istituto federale di tecnologia di Zurigo, Svizzera
- Gestore di programmi pubblici tra diverse istituzioni svizzere
- Ingegnere del software freelance presso Ariadne Business Analytics AG
- Consulente della società abaQon AG
- Dottorato in fisica teorica e teoria quantistica dell'informazione presso l'ETH di Zurigo
- Master in Fisica presso l'ETH di Zurigo

“

*Grazie a TECH potrai  
apprendere con i migliori  
professionisti del mondo”*

# 04

## Struttura e contenuti

TECH ha creato un Master Privato in Fisica Quantistica basato sulle conoscenze più attuali e avanzate in questo campo. Così, nel corso dei 10 moduli che compongono il piano di studi, i professionisti potranno approfondire l'astrofisica, la dinamica della meccanica quantistica, i problemi della materia oscura o gli ultimi progressi della cosmologia. Inoltre, grazie al sistema *Relearning* gli studenti potranno progredire attraverso i contenuti in modo più naturale, riducendo anche le lunghe ore di studio che sono così comuni in altre metodologie.





“

*I casi di studio facilitano l'apprendimento  
delle regole di Feynman"*

## Modulo 1. Introduzione alla fisica moderna

- 1.1. Introduzione alla fisica medica
  - 1.1.1. Come applicare la fisica alla medicina
  - 1.1.2. Energia delle particelle cariche nei tessuti
  - 1.1.3. Fotoni attraverso i tessuti
  - 1.1.4. Applicazioni
- 1.2. Introduzione alla fisica delle particelle
  - 1.2.1. Introduzione e obiettivi
  - 1.2.2. Particelle quantizzate
  - 1.2.3. Forze e cariche fondamentali
  - 1.2.4. Rilevamento delle particelle
  - 1.2.5. Classificazione delle particelle fondamentali e modello standard
  - 1.2.6. Oltre il modello standard
  - 1.2.7. Teorie attuali di generalizzazione
  - 1.2.8. Esperimenti ad alta energia
- 1.3. Acceleratori di particelle
  - 1.3.1. Processi degli acceleratori di particelle
  - 1.3.2. Acceleratori lineari
  - 1.3.3. Ciclotroni
  - 1.3.4. Sincrotroni
- 1.4. Introduzione alla fisica nucleare
  - 1.4.1. Stabilità nucleare
  - 1.4.2. Nuovi metodi di fissione nucleare
  - 1.4.3. Fusione nucleare
  - 1.4.4. Sintesi di elementi superpesanti
- 1.5. Introduzione all'astrofisica
  - 1.5.1. Il sistema solare
  - 1.5.2. Nascita e morte di una stella
  - 1.5.3. L'esplorazione dello spazio
  - 1.5.4. Esopianeti
- 1.6. Introduzione alla cosmologia
  - 1.6.1. Calcolo delle distanze in astronomia
  - 1.6.2. Calcolo delle velocità in astronomia
  - 1.6.3. Materia oscura ed energia oscura
  - 1.6.4. L'espansione dell'universo
  - 1.6.5. Le onde gravitazionali
- 1.7. Geofisica e fisica dell'atmosfera
  - 1.7.1. Geofisica
  - 1.7.2. Fisica dell'atmosfera
  - 1.7.3. Meteorologia
  - 1.7.4. Cambiamento climatico
- 1.8. Introduzione alla fisica della materia condensata
  - 1.8.1. Stati aggregati della materia
  - 1.8.2. Allotropi della materia
  - 1.8.3. Solidi cristallini
  - 1.8.4. Materia molle
- 1.9. Introduzione al calcolo quantistico
  - 1.9.1. Introduzione al mondo dei quanti
  - 1.9.2. I Qubit
  - 1.9.3. Qubit multipli
  - 1.9.4. Porte logiche
  - 1.9.5. Programmi quantistici
  - 1.9.6. Computer quantistici
- 1.10. Introduzione alla crittografia quantistica
  - 1.10.1. Informazione classica
  - 1.10.2. Informazione quantistica
  - 1.10.3. Crittografia quantistica
  - 1.10.4. Protocolli nella crittografia quantistica

**Modulo 2. Metodi matematici**

- 2.1. Spazi pre-hilbertiani
  - 2.1.1. Spazi vettoriali
  - 2.1.2. Prodotto scalare ermetico positivo
  - 2.1.3. Modulo di un vettore
  - 2.1.4. Disuguaglianza di Schwartz
  - 2.1.5. Disuguaglianza di Minkowsky
  - 2.1.6. Ortogonalità
  - 2.1.7. Notazione di Dirac
- 2.2. Topologia degli spazi metrici
  - 2.2.1. Definizione di distanza
  - 2.2.2. Definizione di spazio metrico
  - 2.2.3. Elementi di topologia dello spazio metrico
  - 2.2.4. Sequenze convergenti
  - 2.2.5. Sequenze di Cauchy
  - 2.2.6. Spazio metrico completo
- 2.3. Spazi di Hilbert
  - 2.3.1. Spazio di Hilbert: definizione
  - 2.3.2. Base herbartiana
  - 2.3.3. Schrödinger vs. Heisenberg. Integrale di Lebesgue
  - 2.3.4. Forme continue di uno spazio di Hilbert
  - 2.3.5. Cambiamento della matrice base
- 2.4. Operazioni lineari
  - 2.4.1. Operatori lineari: concetti di base
  - 2.4.2. Operatore inverso
  - 2.4.3. Operatore aggiunto
  - 2.4.4. Operatore auto-legato o osservabile
  - 2.4.5. Operatore definito positivo
  - 2.4.6. Operatore unitario | cambio di base
  - 2.4.6. Operatore antiunitario
  - 2.4.7. Proiettore
- 2.5. Teoria di Sturm-Liouville
  - 2.5.1. Teoremi sugli autovalori
  - 2.5.2. Teoremi sugli autovalori
  - 2.5.3. Problema di Sturm-Liouville
  - 2.5.4. Teoremi importanti per la teoria di Sturm-Liouville
- 2.6. Introduzione alla teoria dei gruppi
  - 2.6.1. Definizione di gruppo e caratteristiche
  - 2.6.2. Simmetrie
  - 2.6.3. Studio dei gruppi  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  e  $SU(N)$
  - 2.6.4. Algebra di Lie
  - 2.6.5. Gruppi e fisica quantistica
- 2.7. Introduzione alle rappresentazioni
  - 2.7.1. Definizioni
  - 2.7.2. Rappresentazione fondamentale
  - 2.7.3. Rappresentazione accessoria
  - 2.7.4. Rappresentazione unitaria
  - 2.7.5. Prodotto di rappresentazioni
  - 2.7.6. Tabelle di Young
  - 2.7.7. Teorema di Okubo
  - 2.7.8. Applicazioni alla fisica delle particelle
- 2.8. Introduzione ai tensori
  - 2.8.1. Definizione di tensore covariante e contravariante
  - 2.8.2. Delta di Kronecker
  - 2.8.3. Tensore di Levi-Civita
  - 2.8.4. Studio di  $SO(N)$  e  $SO(3)$
  - 2.8.5. Studio di  $SU(N)$
  - 2.8.6. Relazione tra i tensori. Rappresentazioni
- 2.9. Teoria dei gruppi applicata alla fisica
  - 2.9.1. Gruppo delle traslazioni
  - 2.9.2. Gruppo di Lorentz
  - 2.9.3. Gruppi discreti
  - 2.9.4. Gruppi continui



- 2.10. Rappresentazioni e fisica delle particelle
  - 2.10.1. Rappresentazione dei gruppi  $SU(N)$
  - 2.10.2. Rappresentazioni fondamentali
  - 2.10.3. Moltiplicazione delle rappresentazioni
  - 2.10.4. Teorema di Okubo e *Eightfold Ways*

### Modulo 3. Fisica Quantistica

- 3.1. Origini della Fisica Quantistica
  - 3.1.1. Radiazione di corpo nero
  - 3.1.2. Effetto fotoelettrico
  - 3.1.3. Effetto Compton
  - 3.1.4. Spettri e modelli atomici
  - 3.1.5. Principio di esclusione di Pauli
    - 3.1.5.1. Effetto Zeeman
    - 3.1.5.2. Esperimento Stern-Gerlach
  - 3.1.6. La lunghezza d'onda di De Broglie e l'esperimento della doppia fenditura
- 3.2. Formulazione matematica
  - 3.2.1. Spazio di Hilbert
  - 3.2.2. Nomenclatura di Dirac: Bra - ket
  - 3.2.3. Prodotto interno e prodotto esterno
  - 3.2.4. Operatori lineari
  - 3.2.5. Operatori ermetici e diagonalizzazione
  - 3.2.6. Addizione e prodotto tensoriale
  - 3.2.7. Matrice densità
- 3.3. Postulati della meccanica quantistica
  - 3.3.1. Postulato 1: definizione di stato
  - 3.3.2. Postulato 2: definizione di osservabili
  - 3.3.3. Postulato 3: definizione di misure
  - 3.3.4. Postulato 4: probabilità delle misure
  - 3.3.5. Postulato 5: dinamica



- 3.4. Applicazione dei postulati della meccanica quantistica
  - 3.4.1. Probabilità dei risultati: Statistica
  - 3.4.2. Indeterminazione
  - 3.4.3. Evoluzione temporale dei valori attesi
  - 3.4.4. Compatibilità e commutazione delle osservabili
  - 3.4.5. Matrici di Pauli
- 3.5. Dinamica della meccanica quantistica
  - 3.5.1. Rappresentazione delle posizioni
  - 3.5.2. Rappresentazione del momento
  - 3.5.3. Equazione di Schrödinger
  - 3.5.4. Teorema di Ehrenfest
  - 3.5.5. Teorema del Viriale
- 3.6. Barriere di potenziale
  - 3.6.1. Pozzo quadrato infinito
  - 3.6.2. Pozzo quadrato finito
  - 3.6.3. Passo potenziale
  - 3.6.4. Potenziale Delta
  - 3.6.5. Effetto tunnel
  - 3.6.6. Particella libera
- 3.7. Oscillatore armonico semplice quantistico unidimensionale
  - 3.7.1. Analogia con la meccanica classica
  - 3.7.2. Hamiltoniana e autovalori di energia
  - 3.7.3. Metodo analitico
  - 3.7.4. Stati "sfumati"
  - 3.7.5. Stati coerenti
- 3.8. Operatori e osservabili tridimensionali
  - 3.8.1. Ripasso delle nozioni del calcolo multivariabile
  - 3.8.2. Operatore di posizione
  - 3.8.3. Operatore della quantità di moto lineare
  - 3.8.4. Momento angolare orbitale
  - 3.8.5. Operatori a scala (Ladder Operators)
  - 3.8.6. Hamiltoniano

- 3.9. Autovalori e autofunzioni tridimensionali
  - 3.9.1. Operatore di posizione
  - 3.9.2. Operatore di quantità di moto lineare
  - 3.9.3. Operatore del momento angolare orbitale e armoniche sferiche
  - 3.9.4. Equazione angolare
- 3.10. Barriere di potenziale tridimensionali
  - 3.10.1. Particella libera
  - 3.10.2. Particella in una scatola
  - 3.10.3. Potenziali centrali ed equazione radiale
  - 3.10.4. Pozzo sferico infinito
  - 3.10.5. Atomo di idrogeno
  - 3.10.6. Oscillatore armonico tridimensionale

## Modulo 4. Astrofisica

- 4.1. Introduzione
  - 4.1.1. Breve storia dell'astrofisica
  - 4.1.2. Strumentazione
  - 4.1.3. Scala delle grandezze osservative
  - 4.1.4. Calcolo delle distanze astronomiche
  - 4.1.5. Indice dei colori
- 4.2. Linee spettrali
  - 4.2.1. Introduzione storica
  - 4.2.2. Leggi di Kirchoff
  - 4.2.3. Relazione tra spettro e temperatura
  - 4.2.4. L'effetto Doppler
  - 4.2.5. Spettrografo
- 4.3. Studio del campo di radiazione
  - 4.3.1. Definizioni preliminari
  - 4.3.2. Opacità
  - 4.3.3. Profondità ottica
  - 4.3.4. Fonti microscopiche di opacità
  - 4.3.5. Opacità totale
  - 4.3.6. Estinzione
  - 4.3.7. Struttura delle linee spettrali
- 4.4. Le stelle
  - 4.4.1. Classificazione delle stelle
  - 4.4.2. Metodi per determinare la massa di una stella
  - 4.4.3. Stelle binarie
  - 4.4.4. Classificazione delle stelle binarie
  - 4.4.5. Determinazione delle masse di un sistema binario
- 4.5. Tempi di vita delle stelle
  - 4.5.1. Caratteristiche di una stella
  - 4.5.2. Nascita di una stella
  - 4.5.3. Vita di una stella. I diagrammi di Hertzsprung-Russell
  - 4.5.4. Morte di una stella
- 4.6. Morte delle stelle
  - 4.6.1. Nane bianche
  - 4.6.2. Supernove
  - 4.6.3. Stelle di neutroni
  - 4.6.4. Buchi neri
- 4.7. Studio della Via Lattea
  - 4.7.1. Forma e dimensioni della Via Lattea
  - 4.7.2. Materia oscura
  - 4.7.3. Fenomeno della lente gravitazionale
  - 4.7.4. Particelle massive debolmente interagenti
  - 4.7.5. Disco e alone della Via Lattea
  - 4.7.6. Struttura a spirale della Via Lattea
- 4.8. Ammassi di galassie
  - 4.8.1. Introduzione
  - 4.8.2. Classificazione delle galassie
  - 4.8.3. Fotometria galattica
  - 4.8.4. Il gruppo locale: introduzione
- 4.9. Distribuzione su larga scala delle galassie
  - 4.9.1. Forma ed età dell'universo
  - 4.9.2. Modello cosmologico standard
  - 4.9.3. Formazione delle strutture cosmologiche
  - 4.9.4. Metodi osservativi in cosmologia



- 4.10. Materia oscura ed energia oscura
  - 4.10.1. Scoperta e caratteristiche
  - 4.10.2. Implicazioni per la distribuzione della materia ordinaria
  - 4.10.3. Problemi della materia oscura
  - 4.10.4. Particelle candidate a materia oscura
  - 4.10.5. Energia oscura e conseguenze

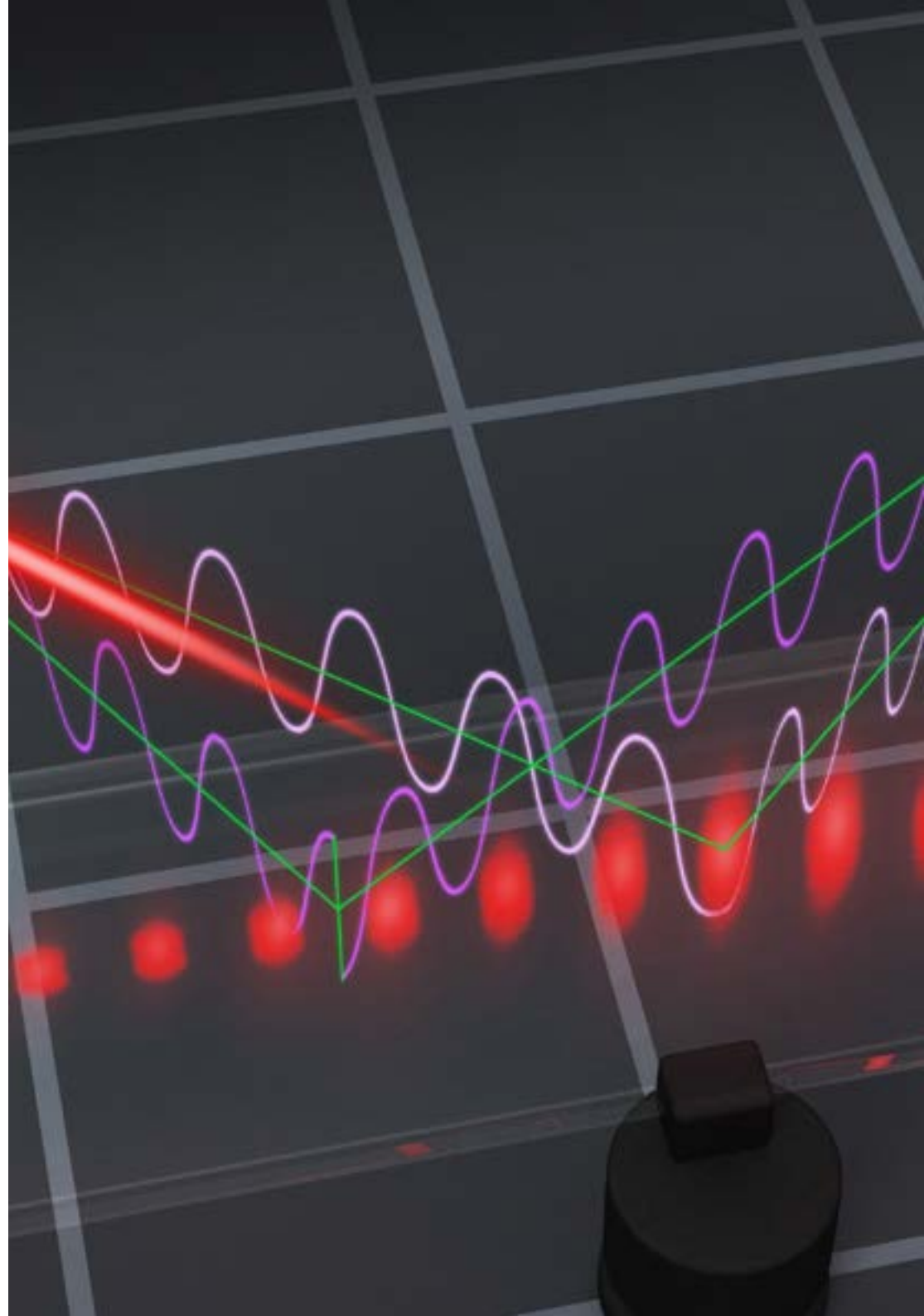
## Modulo 5. Fisica Quantistica II

- 5.1. Descrizioni della meccanica quantistica: immagini o rappresentazioni
  - 5.1.1. L'immagine di Schrödinger
  - 5.1.2. Immagine di Heisenberg
  - 5.1.3. Immagine di Dirac o di interazione
  - 5.1.4. Commutazione dell'immagine
- 5.2. Oscillatore armonico
  - 5.2.1. Operatori di creazione e annichilazione
  - 5.2.2. Funzioni d'onda degli stati di Fock
  - 5.2.3. Stati coerenti
  - 5.2.4. Stati di minima indeterminazione
  - 5.2.5. Stati "compressi"
- 5.3. Momento angolare
  - 5.3.1. Rotazioni
  - 5.3.2. Commutazioni di momento angolare
  - 5.3.3. Base del momento angolare
  - 5.3.4. Operatori di scala
  - 5.3.5. Rappresentazione della matrice
  - 5.3.6. Momento angolare intrinseco: spin
  - 5.3.7. Casi di spin:  $1/2$ ,  $1$ ,  $3/2$
- 5.4. Funzioni d'onda multicomponente: spinoriali
  - 5.4.1. Funzioni d'onda monocomponente: spin 0
  - 5.4.2. Funzioni d'onda a due componenti: spin  $1/2$
  - 5.4.3. Valori attesi dell'osservabile di spin
  - 5.4.4. Stati atomici
  - 5.4.5. Aggiunta di momento angolare
  - 5.4.6. Coefficienti di Clebsch-Gordan
- 5.5. Studio dei sistemi composti
  - 5.5.1. Particelle distinguibili
  - 5.5.2. Particelle indistinguibili
  - 5.5.3. Caso dei fotoni: esperimento dello specchio semitrasparente
  - 5.5.4. Entanglement quantistico
  - 5.5.5. Disuguaglianze di Bell
  - 5.5.6. Paradosso EPR
  - 5.5.7. Teorema di Bell
- 5.6. Introduzione ai metodi approssimati: metodo variazionale
  - 5.6.1. Introduzione al metodo variazionale
  - 5.6.2. Variazioni lineari
  - 5.6.3. Metodo variazionale di Rayleigh-Ritz
  - 5.6.4. Oscillatore armonico: studio con metodi variazionali
- 5.7. Studio di modelli atomici con il metodo variazionale
  - 5.7.1. Atomo di idrogeno
  - 5.7.2. Atomo di elio
  - 5.7.3. Molecola di idrogeno ionizzato
  - 5.7.4. Simmetrie discrete
    - 5.7.4.1. Parità
    - 5.7.4.2. Inversione temporale
- 5.8. Introduzione alla teoria delle perturbazioni
  - 5.8.1. Perturbazioni indipendenti dal tempo
  - 5.8.2. Caso non degenerato
  - 5.8.3. Caso degenerato
  - 5.8.4. Struttura fina dell'atomo di idrogeno
  - 5.8.5. Effetto Zeeman
  - 5.8.6. Costante di accoppiamento spin-spin. Struttura iperfina
  - 5.8.7. Teoria delle perturbazioni in funzione del tempo
    - 5.8.7.1. Atomo a due livelli
    - 5.8.7.2. Perturbazioni sinusoidali

- 5.9. Approssimazione adiabatica
  - 5.9.1. Introduzione all'approssimazione adiabatica
  - 5.9.2. Il teorema adiabatico
  - 5.9.3. La fase di Berry
  - 5.9.4. Effetto Aharonov-Bohm
- 5.10. Approssimazione di Wentzel-Kramers-Brillouin (WKB)
  - 5.10.1. Introduzione al metodo WKB
  - 5.10.2. Regione classica
  - 5.10.3. Effetto tunnel
  - 5.10.4. Formule di connessione

## Modulo 6. Fisica nucleare e delle particelle

- 6.1. Introduzione alla fisica nucleare
  - 6.1.1. Tavola periodica degli elementi
  - 6.1.2. Scoperte importanti
  - 6.1.3. Modelli atomici
  - 6.1.4. Definizioni importanti. Scale e unità di misura in fisica nucleare
  - 6.1.5. Diagramma di Segré
- 6.2. Proprietà nucleari
  - 6.2.1. Energia di legame
  - 6.2.2. Formula di massa semiempirica
  - 6.2.3. Modello del gas di Fermi
  - 6.2.4. Stabilità nucleare
    - 6.2.4.1. Decadimento alfa
    - 6.2.4.2. Decadimento beta
    - 6.2.4.3. Fissione nucleare
  - 6.2.5. Diseccitazione nucleare
  - 6.2.6. Decadimento beta doppio



- 6.3. Dispersione nucleare
  - 6.3.1. Struttura interna: studio dello scattering
  - 6.3.2. Sezione efficace
  - 6.3.3. Esperimento Rutherford: sezione efficace di Rutherford
  - 6.3.4. Sezione efficace di Mott
  - 6.3.5. Trasferimento di quantità di moto e fattori di forma
  - 6.3.6. Distribuzione di carica nucleare
  - 6.3.7. Diffusione dei neutroni
- 6.4. Struttura nucleare e interazione forte I
  - 6.4.1. Dispersione di nucleoni
  - 6.4.2. Stati legati. Deuterio
  - 6.4.3. Interazione nucleare forte
  - 6.4.4. Numeri magici
  - 6.4.5. Il modello a strati del nucleo
  - 6.4.6. Spin nucleare e parità
  - 6.4.7. Momenti elettromagnetici del nucleo
  - 6.4.8. Eccitazioni nucleari collettive: oscillazioni di dipolo, stati vibrazionali e stati rotazionali
- 6.5. Struttura nucleare e interazione forte II
  - 6.5.1. Classificazione delle reazioni nucleari
  - 6.5.2. Cinematica delle reazioni
  - 6.5.3. Leggi di conservazione
  - 6.5.4. Spettroscopia nucleare
  - 6.5.5. Il modello del nucleo composto
  - 6.5.6. Reazioni dirette
  - 6.5.7. Dispersione elastica
- 6.6. Introduzione alla fisica delle particelle
  - 6.6.1. Particelle e antiparticelle
  - 6.6.2. Fermioni e barioni
  - 6.6.3. Il Modello Standard delle particelle elementari: leptoni e quark
  - 6.6.4. Il modello dei quark
  - 6.6.5. Bosoni vettoriali intermedi
- 6.7. Dinamica delle particelle elementari
  - 6.7.1. Le quattro interazioni fondamentali
  - 6.7.2. Elettrodinamica quantistica
  - 6.7.3. Cromodinamica quantistica
  - 6.7.4. Interazione debole
  - 6.7.5. Disintegrazioni e leggi di conservazione
- 6.8. Cinematica relativistica
  - 6.8.1. Trasformazioni di Lorentz
  - 6.8.2. Quadri-vettori
  - 6.8.3. Energia e momento lineare
  - 6.8.4. Collisioni
  - 6.8.5. Introduzione ai diagrammi di Feynman
- 6.9. Simmetrie
  - 6.9.1. Gruppi, simmetrie e leggi di conservazione
  - 6.9.2. Spin e momento angolare
  - 6.9.3. Aggiunta di momento angolare
  - 6.9.4. Simmetrie di sapore
  - 6.9.5. Parità
  - 6.9.6. Coniugazione di carica
  - 6.9.7. Violazione di CP
  - 6.9.8. Inversione del tempo
  - 6.9.9. Conservazione del CPT
- 6.10. Stati legati
  - 6.10.1. Equazione di Schrödinger per potenziali centrali
  - 6.10.2. Atomo di idrogeno
  - 6.10.3. Struttura fina
  - 6.10.4. Struttura iperfina
  - 6.10.5. Positronio
  - 6.10.6. Quarkonio
  - 6.10.7. Mesoni leggeri
  - 6.10.8. Barioni



## Modulo 7. Teoria quantistica dei campi

- 7.1. Teoria di campo classica
  - 7.1.1. Notazione e convenzioni
  - 7.1.2. Formulazione lagrangiana
  - 7.1.3. Equazioni di Eulero Lagrange
  - 7.1.4. Simmetrie e leggi di conservazione
- 7.2. Campo di Klein-Gordon
  - 7.2.1. Equazione di Klein-Gordon
  - 7.2.2. Quantizzazione del campo di Klein-Gordon
  - 7.2.3. Invarianza di Lorentz del campo di Klein-Gordon
  - 7.2.4. Il vuoto. Stati di vuoto e stati di Fock
  - 7.2.5. Energia del vuoto
  - 7.2.6. Ordinamento normale: convenzione
  - 7.2.7. Energia e quantità di moto degli stati
  - 7.2.8. Studio della causalità
  - 7.2.9. Propagatore di Klein-Gordon
- 7.3. Campo di Dirac
  - 7.3.1. Equazione di Dirac
  - 7.3.2. Matrici di Dirac e loro proprietà
  - 7.3.3. Rappresentazioni delle matrici di Dirac
  - 7.3.4. Lagrangiana di Dirac
  - 7.3.5. Soluzione dell'equazione di Dirac: onde piane
  - 7.3.6. Commutatori e anticommutatori
  - 7.3.7. Quantizzazione del campo di Dirac
  - 7.3.8. Spazio di Fock
  - 7.3.9. Propagatore di Dirac
- 7.4. Campo elettromagnetico
  - 7.4.1. Teoria classica del campo elettromagnetico
  - 7.4.2. Quantizzazione del campo elettromagnetico e suoi problemi
  - 7.4.3. Spazio di Fock
  - 7.4.4. Formalismo di Gupta-Bleuler
  - 7.4.5. Propagatore di fotoni
- 7.5. Formalismo della matrice S
  - 7.5.1. Lagrangiana e hamiltoniana di interazione
  - 7.5.2. Matrice S: definizione e proprietà
  - 7.5.3. Espansione di Dyson
  - 7.5.4. Teorema di Wick
  - 7.5.5. Immagine di Dirac
- 7.6. Diagrammi di Feynman nello spazio di posizione
  - 7.6.1. Come si disegnano i diagrammi di Feynman? Regole. Utilità
  - 7.6.2. Primo ordine
  - 7.6.3. Secondo ordine
  - 7.6.4. Processi di dispersione a due particelle
- 7.7. Regole di Feynman
  - 7.7.1. Normalizzazione degli stati nello spazio di Fock
  - 7.7.2. Ampiezza di Feynman
  - 7.7.3. Regole di Feynman per la QED
  - 7.7.4. Invarianza di gauge nelle ampiezze
  - 7.7.5. Esempi
- 7.8. Sezione d'urto e coppe di decadimento
  - 7.8.1. Definizione di sezione trasversale
  - 7.8.2. Definizione di tasso di decadimento
  - 7.8.3. Esempi con due corpi allo stato finale
  - 7.8.4. Sezione d'urto non polarizzata
  - 7.8.5. Somma sulla polarizzazione del fermione
  - 7.8.6. Somma sulla polarizzazione dei fotoni
  - 7.8.7. Esempi
- 7.9. Studio dei muoni e di altre particelle cariche
  - 7.9.1. I muoni
  - 7.9.2. Particelle cariche
  - 7.9.3. Particelle scalari cariche
  - 7.9.4. Regole di Feynman per la teoria elettrodinamica quantistica scalare

- 7.10. Simmetrie
  - 7.10.1. Parità
  - 7.10.2. Coniugazione di carica
  - 7.10.3. Inversione del tempo
  - 7.10.4. Violazione di alcune simmetrie
  - 7.10.5. Simmetria CPT

## Modulo 8. Relatività generale e cosmologia


- 8.1. Relatività speciale
  - 8.1.1. Postulati
  - 8.1.2. Trasformazioni di Lorentz in configurazione standard
  - 8.1.3. Potenziamenti (Boosts)
  - 8.1.4. Tensori
  - 8.1.5. Cinematica relativistica
  - 8.1.6. Quantità di moto ed energia lineare relativistica
  - 8.1.7. Covarianza di Lorentz
  - 8.1.8. Tensore momento-energia
- 8.2. Principio di equivalenza
  - 8.2.1. Principio di equivalenza debole
  - 8.2.2. Esperimenti sul principio di equivalenza debole
  - 8.2.3. Quadri di riferimento localmente inerziali
  - 8.2.4. Principio di equivalenza
  - 8.2.5. Conseguenze del principio di equivalenza
- 8.3. Moto delle particelle nei campi gravitazionali
  - 8.3.1. Traiettorie delle particelle in condizioni di gravità
  - 8.3.2. Limite newtoniano
  - 8.3.3. Redshift gravitazionale e test
  - 8.3.4. Dilatazione temporale
  - 8.3.5. Equazione della geodetica
- 8.4. Geometria: concetti necessari
  - 8.4.1. Spazi bidimensionali
  - 8.4.2. Campi scalari, vettoriali e tensoriali
  - 8.4.3. Tensore metrico: concetto e teoria
  - 8.4.4. Derivata parziale
  - 8.4.5. Derivata covariante
  - 8.4.6. Simboli di Christoffel
  - 8.4.7. Derivate covarianti e tensori
  - 8.4.8. Derivate covarianti direzionali
  - 8.4.9. Divergenza e Laplaciano
- 8.5. Spaziotempo curvo
  - 8.5.1. Derivata covariante e trasporto parallelo: definizione
  - 8.5.2. Geodetiche da trasporto parallelo
  - 8.5.3. Tensore di curvatura riemanniano
  - 8.5.4. Tensore di Riemann: definizione e proprietà
  - 8.5.5. Tensore di Ricci: definizione e proprietà
- 8.6. Equazioni di Einstein: derivazione
  - 8.6.1. Riformulazione del principio di equivalenza
  - 8.6.2. Applicazioni del principio di equivalenza
  - 8.6.3. Conservazione e simmetrie
  - 8.6.4. Derivazione delle equazioni di Einstein dal principio di equivalenza
- 8.7. Soluzione di Schwarzschild
  - 8.7.1. Metrica di Schwarzschild
  - 8.7.2. Elementi di lunghezza e di tempo
  - 8.7.3. Quantità conservate
  - 8.7.4. Equazione di moto
  - 8.7.5. Deviazione della luce. Studio nella metrica di Schwarzschild
  - 8.7.6. Raggio di Schwarzschild
  - 8.7.7. Coordinate di Eddington-Finkelstein
  - 8.7.8. Buchi neri

- 8.8. Limite della gravità lineare. Conseguenze
  - 8.8.1. Gravità lineare: introduzione
  - 8.8.2. Trasformazione delle coordinate
  - 8.8.3. Equazioni di Einstein linearizzate
  - 8.8.4. Soluzione generale delle equazioni di Einstein linearizzate
  - 8.8.5. Le onde gravitazionali
  - 8.8.6. Effetti delle onde gravitazionali sulla materia
  - 8.8.7. Generazione di onde gravitazionali
- 8.9. Cosmologia: introduzione
  - 8.9.1. Osservazione dell'Universo: introduzione
  - 8.9.2. Principio cosmologico
  - 8.9.3. Sistema di coordinate
  - 8.9.4. Distanze cosmologiche
  - 8.9.5. Legge di Hubble
  - 8.9.6. Inflazione
- 8.10. Cosmologia: studio matematico
  - 8.10.1. Prima equazione di Friedmann
  - 8.10.2. Seconda equazione di Friedmann
  - 8.10.3. Densità e fattore di scala
  - 8.10.4. Conseguenze delle equazioni di Friedmann. Curvatura dell'universo
  - 8.10.5. Termodinamica dell'universo primordiale

## Modulo 9. Fisica delle alte energie

- 9.1. Metodi matematici: gruppi e rappresentazioni
  - 9.1.1. Teoria dei gruppi
  - 9.1.2. Gruppi  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  e  $SU(3)$  e  $SU(N)$
  - 9.1.3. Algebra di Lie
  - 9.1.4. Rappresentazioni
  - 9.1.5. Moltiplicazione delle rappresentazioni



- 
- 9.2. Simmetrie
    - 9.2.1. Simmetrie e leggi di conservazione
    - 9.2.2. Simmetrie C, P, T
    - 9.2.3. Violazione delle simmetrie e conservazione della CPT
    - 9.2.4. Momento angolare
    - 9.2.5. Aggiunta di momento angolare
  - 9.3. Calcolo di Feynman: introduzione
    - 9.3.1. Tempo di semivita
    - 9.3.2. Sezione trasversale
    - 9.3.3. Norma aurea di Fermi per i decadimenti
    - 9.3.4. Norma aurea di Fermi per le dispersioni
    - 9.3.5. Dispersione a due corpi nel quadro di riferimento del centro di massa
  - 9.4. Applicazione del calcolo di Feynman: modello giocattolo
    - 9.4.1. Modello giocattolo: introduzione
    - 9.4.2. Regole di Feynman
    - 9.4.3. Tempo di vita media
    - 9.4.4. Dispersione
    - 9.4.5. Diagrammi di ordine superiore
  - 9.5. Elettrodinamica quantistica
    - 9.5.1. Equazione di Dirac
    - 9.5.2. Soluzioni dell'equazione di Dirac
    - 9.5.3. Covarianti bilineari
    - 9.5.4. Il fotone
    - 9.5.5. Regole di Feynman per l'elettrodinamica quantistica
    - 9.5.6. Il trucco di Casimir
    - 9.5.7. Rinormalizzazione
  - 9.6. Elettrodinamica dei quark e cromodinamica
    - 9.6.1. Regole di Feynman
    - 9.6.2. Produzione di adroni in collisioni elettrone-positrone
    - 9.6.3. Regole di Feynman per la cromodinamica
    - 9.6.4. Fattori di colore
    - 9.6.5. Interazione quark-antiquark
    - 9.6.6. Interazione quark-quark
    - 9.6.7. Annichilazione di coppia in cromodinamica quantistica



- 9.7. Interazione debole
  - 9.7.1. Interazione debole carica
  - 9.7.2. Regole di Feynman
  - 9.7.3. Decadimento del muone
  - 9.7.4. Decadimento del neutrone
  - 9.7.5. Decadimento del pione
  - 9.7.6. Interazione debole tra quark
  - 9.7.7. Interazione debole neutrale
  - 9.7.8. Unificazione elettrodebole
- 9.8. Teorie di Gauge
  - 9.8.1. Invarianza di Gauge locale
  - 9.8.2. Teoria di Yang-Millis
  - 9.8.3. Cromodinamica quantistica
  - 9.8.4. Regole di Feynman
  - 9.8.5. Termine di massa
  - 9.8.6. Rottura spontanea di simmetria
  - 9.8.7. Meccanismo di Higgs
- 9.9. Oscillazione dei neutrini
  - 9.9.1. Il problema dei neutrini solari
  - 9.9.2. Le oscillazioni dei neutrini
  - 9.9.3. Le masse dei neutrini
  - 9.9.4. Matrice di miscelazione
- 9.10. Argomenti avanzati. Breve introduzione
  - 9.10.1. Bosone di Higgs
  - 9.10.2. Grande unificazione
  - 9.10.3. Asimmetria materia-antimateria
  - 9.10.4. Supersimmetria, stringhe e dimensioni extra
  - 9.10.5. Materia oscura ed energia oscura

## Modulo 10. Informazioni e computazione quantistica

- 10.1. Introduzione: matematica e quantistica
  - 10.1.1. Spazi vettoriali complessi
  - 10.1.2. Operatori lineari
  - 10.1.3. Prodotto scalare e spazi di Hilbert
  - 10.1.4. Diagonalizzazione
  - 10.1.5. Prodotto tensoriale
  - 10.1.6. Funzione degli operatori
  - 10.1.7. Importanti teoremi sugli operatori
  - 10.1.8. Postulati della meccanica quantistica rivisitati
- 10.2. Stati e campioni statistici
  - 10.2.1. Il qubit
  - 10.2.2. Matrice densità
  - 10.2.3. Sistemi bipartiti
  - 10.2.4. La decomposizione di Schmidt
  - 10.2.5. Interpretazione statistica degli stati misti
- 10.3. Misure ed evoluzione temporale
  - 10.3.1. Misure di von Neumann
  - 10.3.2. Misure generalizzate
  - 10.3.3. Teorema di Neumark
  - 10.3.4. Canali quantistici
- 10.4. Entanglement e sue applicazioni
  - 10.4.1. Stati EPR
  - 10.4.2. Codifica densa
  - 10.4.3. Teletrasporto di stati
  - 10.4.4. Matrice di densità e sue rappresentazioni

- 10.5. Informazione classica e quantistica
  - 10.5.1. Introduzione alla probabilità
  - 10.5.2. Informazioni
  - 10.5.3. Entropia di Shannon e informazione reciproca
  - 10.5.4. Comunicazione
    - 10.5.4.1. Il canale binario simmetrico
    - 10.5.4.2. Capacità di un canale
  - 10.5.5. Teoremi di Shannon
  - 10.5.6. Differenza tra informazione classica e quantistica
  - 10.5.7. Entropia di von Neumann
  - 10.5.8. Teorema di Schumacher
  - 10.5.9. Informazione di Holevo
  - 10.5.10. Informazione accessibile e limite di Holevo
- 10.6. Informatica quantistica
  - 10.6.1. Macchine di Turing
  - 10.6.2. Circuiti e classificazione della complessità
  - 10.6.3. Il computer quantistico
  - 10.6.4. Porte logiche quantistiche
  - 10.6.5. Algoritmi di Deutsch-Josza e Simon
  - 10.6.6. Ricerca non strutturata: algoritmo di Grover
  - 10.6.7. Metodo di crittografia RSA
  - 10.6.8. Fattorizzazione: algoritmo di Shor
- 10.7. Teoria semiclassica dell'interazione luce-materia
  - 10.7.1. L'atomo a due livelli
  - 10.7.2. La scissione AC-Stark
  - 10.7.3. Oscillazioni di Rabi
  - 10.7.4. La forza dipolare della luce
- 10.8. Teoria quantistica dell'interazione luce-materia
  - 10.8.1. Stati del campo elettromagnetico quantistico
  - 10.8.2. Il modello di Jaynes-Cummings
  - 10.8.3. Il problema della decoerenza
  - 10.8.4. Trattamento di Weisskopf-Wigner dell'emissione spontanea

- 10.9. Comunicazione quantistica
  - 10.9.1. Crittografia quantistica: protocolli BB84 e Ekert91
  - 10.9.2. Disuguaglianze di Bell
  - 10.9.3. Generazione di un singolo fotone
  - 10.9.4. Propagazione di un singolo fotone
  - 10.9.5. Rivelazione di un singolo fotone
- 10.10. Calcolo e simulazione quantistica
  - 10.10.1. Atomi neutri in trappole di dipolo
  - 10.10.2. Elettrodinamica quantistica di cavità
  - 10.10.3. Ioni in trappole di Paul
  - 10.10.4. Cubiti superconduttori



*Un programma 100% online che ti permetterà di approfondire l'astrofisica e la cosmologia attraverso i contenuti multimediali più innovativi del mondo accademico"*

05

# Metodologia

Questo programma ti offre un modo differente di imparare. La nostra metodologia si sviluppa in una modalità di apprendimento ciclico: *il Relearning*.

Questo sistema di insegnamento viene applicato nelle più prestigiose facoltà di medicina del mondo ed è considerato uno dei più efficaci da importanti pubblicazioni come il *New England Journal of Medicine*.



“

*Scopri il Relearning, un sistema che abbandona l'apprendimento lineare convenzionale, per guidarti attraverso dei sistemi di insegnamento ciclici: una modalità di apprendimento che ha dimostrato la sua enorme efficacia, soprattutto nelle materie che richiedono la memorizzazione”*



### Caso di Studio per contestualizzare tutti i contenuti

Il nostro programma offre un metodo rivoluzionario per sviluppare le abilità e le conoscenze. Il nostro obiettivo è quello di rafforzare le competenze in un contesto mutevole, competitivo e altamente esigente.

“

*Con TECH potrai sperimentare un modo di imparare che sta scuotendo le fondamenta delle università tradizionali in tutto il mondo"*



*Avrai accesso a un sistema di apprendimento basato sulla ripetizione, con un insegnamento naturale e progressivo durante tutto il programma.*



*Imparerai, attraverso attività collaborative e casi reali, la risoluzione di situazioni complesse in ambienti aziendali reali.*

## Un metodo di apprendimento innovativo e differente

Questo programma di TECH consiste in un insegnamento intensivo, creato ex novo, che propone le sfide e le decisioni più impegnative in questo campo, sia a livello nazionale che internazionale. Grazie a questa metodologia, la crescita personale e professionale viene potenziata, effettuando un passo decisivo verso il successo.

Il metodo casistico, la tecnica che sta alla base di questi contenuti, garantisce il rispetto della realtà economica, sociale e professionale più attuali.

“ *Il nostro programma ti prepara ad affrontare nuove sfide in ambienti incerti e a raggiungere il successo nella tua carriera* ”

Il metodo casistico è stato il sistema di apprendimento più usato nelle migliori facoltà del mondo. Sviluppato nel 1912 affinché gli studenti di Diritto non imparassero la legge solo sulla base del contenuto teorico, il metodo casistico consisteva nel presentare loro situazioni reali e complesse per prendere decisioni informate e giudizi di valore su come risolverle. Nel 1924 fu stabilito come metodo di insegnamento standard ad Harvard.

Cosa dovrebbe fare un professionista per affrontare una determinata situazione? Questa è la domanda con cui ti confrontiamo nel metodo dei casi, un metodo di apprendimento orientato all'azione. Durante il programma, gli studenti si confronteranno con diversi casi di vita reale. Dovranno integrare tutte le loro conoscenze, effettuare ricerche, argomentare e difendere le proprie idee e decisioni.

## Metodologia Relearning

TECH coniuga efficacemente la metodologia del Caso di Studio con un sistema di apprendimento 100% online basato sulla ripetizione, che combina 8 diversi elementi didattici in ogni lezione.

Potenziamo il Caso di Studio con il miglior metodo di insegnamento 100% online: il Relearning.

*Nel 2019 abbiamo ottenuto i migliori risultati di apprendimento di tutte le università online del mondo.*

In TECH si impara attraverso una metodologia all'avanguardia progettata per formare i manager del futuro. Questo metodo, all'avanguardia della pedagogia mondiale, si chiama Relearning.

La nostra università è l'unica autorizzata a utilizzare questo metodo di successo. Nel 2019, siamo riusciti a migliorare il livello di soddisfazione generale dei nostri studenti (qualità dell'insegnamento, qualità dei materiali, struttura del corso, obiettivi...) rispetto agli indicatori della migliore università online.





Nel nostro programma, l'apprendimento non è un processo lineare, ma avviene in una spirale (impariamo, disimpariamo, dimentichiamo e re-impariamo). Pertanto, combiniamo ciascuno di questi elementi in modo concentrico. Questa metodologia ha formato più di 650.000 laureati con un successo senza precedenti in campi diversi come la biochimica, la genetica, la chirurgia, il diritto internazionale, le competenze manageriali, le scienze sportive, la filosofia, il diritto, l'ingegneria, il giornalismo, la storia, i mercati e gli strumenti finanziari. Tutto questo in un ambiente molto esigente, con un corpo di studenti universitari con un alto profilo socio-economico e un'età media di 43,5 anni.

*Il Relearning ti permetterà di apprendere con meno sforzo e più performance, impegnandoti maggiormente nella tua specializzazione, sviluppando uno spirito critico, difendendo gli argomenti e contrastando le opinioni: un'equazione diretta al successo.*

Dalle ultime evidenze scientifiche nel campo delle neuroscienze, non solo sappiamo come organizzare le informazioni, le idee, le immagini e i ricordi, ma sappiamo che il luogo e il contesto in cui abbiamo imparato qualcosa è fondamentale per la nostra capacità di ricordarlo e immagazzinarlo nell'ippocampo, per conservarlo nella nostra memoria a lungo termine.

In questo modo, e in quello che si chiama Neurocognitive Context-dependent E-learning, i diversi elementi del nostro programma sono collegati al contesto in cui il partecipante sviluppa la sua pratica professionale.





Questo programma offre i migliori materiali didattici, preparati appositamente per i professionisti:



#### **Materiale di studio**

Tutti i contenuti didattici sono creati appositamente per il corso dagli specialisti che lo impartiranno, per fare in modo che lo sviluppo didattico sia davvero specifico e concreto.

Questi contenuti sono poi applicati al formato audiovisivo che supporterà la modalità di lavoro online di TECH. Tutto questo, con le ultime tecniche che offrono componenti di alta qualità in ognuno dei materiali che vengono messi a disposizione dello studente.



#### **Master class**

Esistono evidenze scientifiche sull'utilità dell'osservazione di esperti terzi.

Imparare da un esperto rafforza la conoscenza e la memoria, costruisce la fiducia nelle nostre future decisioni difficili.



#### **Pratiche di competenze e competenze**

Svolgerai attività per sviluppare competenze e capacità specifiche in ogni area tematica. Pratiche e dinamiche per acquisire e sviluppare le competenze e le abilità che uno specialista deve sviluppare nel quadro della globalizzazione in cui viviamo.



#### **Letture complementari**

Articoli recenti, documenti di consenso e linee guida internazionali, tra gli altri. Nella biblioteca virtuale di TECH potrai accedere a tutto il materiale necessario per completare la tua specializzazione.





**Casi di Studio**

Completerai una selezione dei migliori casi di studio scelti appositamente per questo corso. Casi presentati, analizzati e monitorati dai migliori specialisti del panorama internazionale.



**Riepiloghi interattivi**

Il team di TECH presenta i contenuti in modo accattivante e dinamico in pillole multimediali che includono audio, video, immagini, diagrammi e mappe concettuali per consolidare la conoscenza.

Questo esclusivo sistema di specializzazione per la presentazione di contenuti multimediali è stato premiato da Microsoft come "Caso di successo in Europa".



**Testing & Retesting**

Valutiamo e rivalutiamo periodicamente le tue conoscenze durante tutto il programma con attività ed esercizi di valutazione e autovalutazione, affinché tu possa verificare come raggiungi progressivamente i tuoi obiettivi.



06

# Titolo

Il Master Privato in Nome del Programma garantisce, oltre alla preparazione più rigorosa e aggiornata, il conseguimento di una qualifica di Master Privato rilasciata da TECH Università Tecnologica.



“

*Porta a termine questo programma e ricevi la tua qualifica universitaria senza spostamenti o fastidiose formalità”*



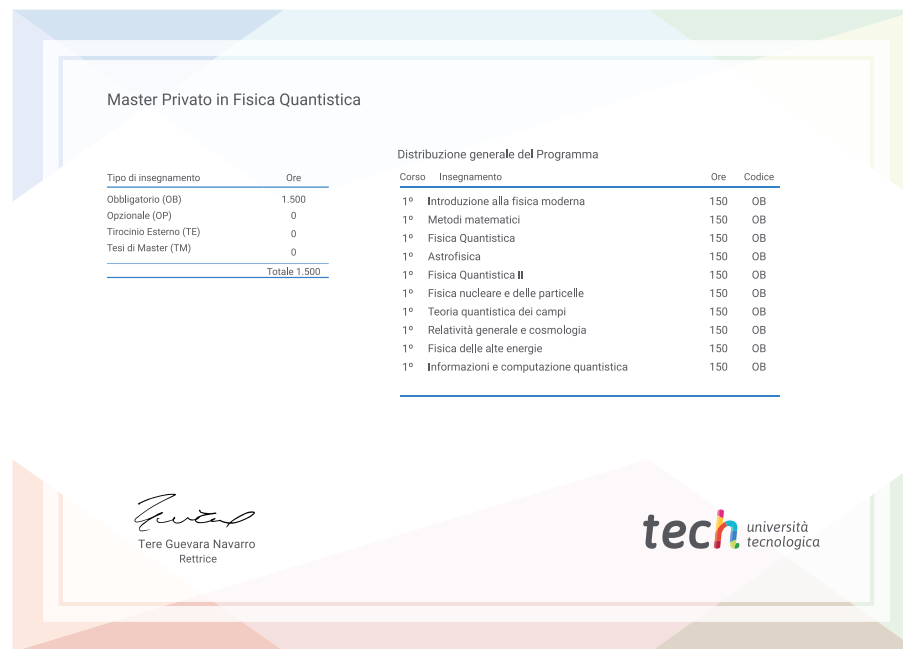
Questo **Master Privato in Fisica Quantistica** possiede il programma più completo e aggiornato del mercato.

Dopo aver superato la valutazione, lo studente riceverà mediante lettera certificata\* con ricevuta di ritorno, la sua corrispondente qualifica di **Master Privato** rilasciata da **TECH Università Tecnologica**.

Il titolo rilasciato da **TECH Università Tecnologica** esprime la qualifica ottenuta nel Master Privato e riunisce tutti i requisiti comunemente richiesti da borse di lavoro, concorsi e commissioni di valutazione di carriere professionali.

Titolo: **Master Privato in Fisica Quantistica**

N° Ore Ufficiali: **1.500 o.**



\*Apostille dell'Aia. Se lo studente dovesse richiedere che il suo diploma cartaceo sia provvisto di Apostille dell'Aia, TECH EDUCATION effettuerà le gestioni opportune per ottenerla pagando un costo aggiuntivo.



## Master Privato Fisica Quantistica

- » Modalità: Online
- » Durata: 12 mesi
- » Titolo: TECH Università Tecnologica
- » Dedizione: 16 ore/settimana
- » Orario: a scelta
- » Esami: Online

# Master Privato

## Fisica Quantistica