

# Privater Masterstudiengang Quantenphysik



## Privater Masterstudiengang Quantenphysik

- » Modalität: online
- » Dauer: 12 Monate
- » Qualifizierung: TECH Technologische Universität
- » Aufwand: 16 Std./Woche
- » Zeitplan: in Ihrem eigenen Tempo
- » Prüfungen: online

Internetzugang: [www.techtitude.com/de/ingenieurwissenschaften/masterstudiengang/masterstudiengang-quantenphysik](http://www.techtitude.com/de/ingenieurwissenschaften/masterstudiengang/masterstudiengang-quantenphysik)

# Index

01

Präsentation

---

Seite 4

02

Ziele

---

Seite 8

03

Kompetenzen

---

Seite 12

04

Struktur und Inhalt

---

Seite 16

05

Methodik

---

Seite 32

06

Qualifizierung

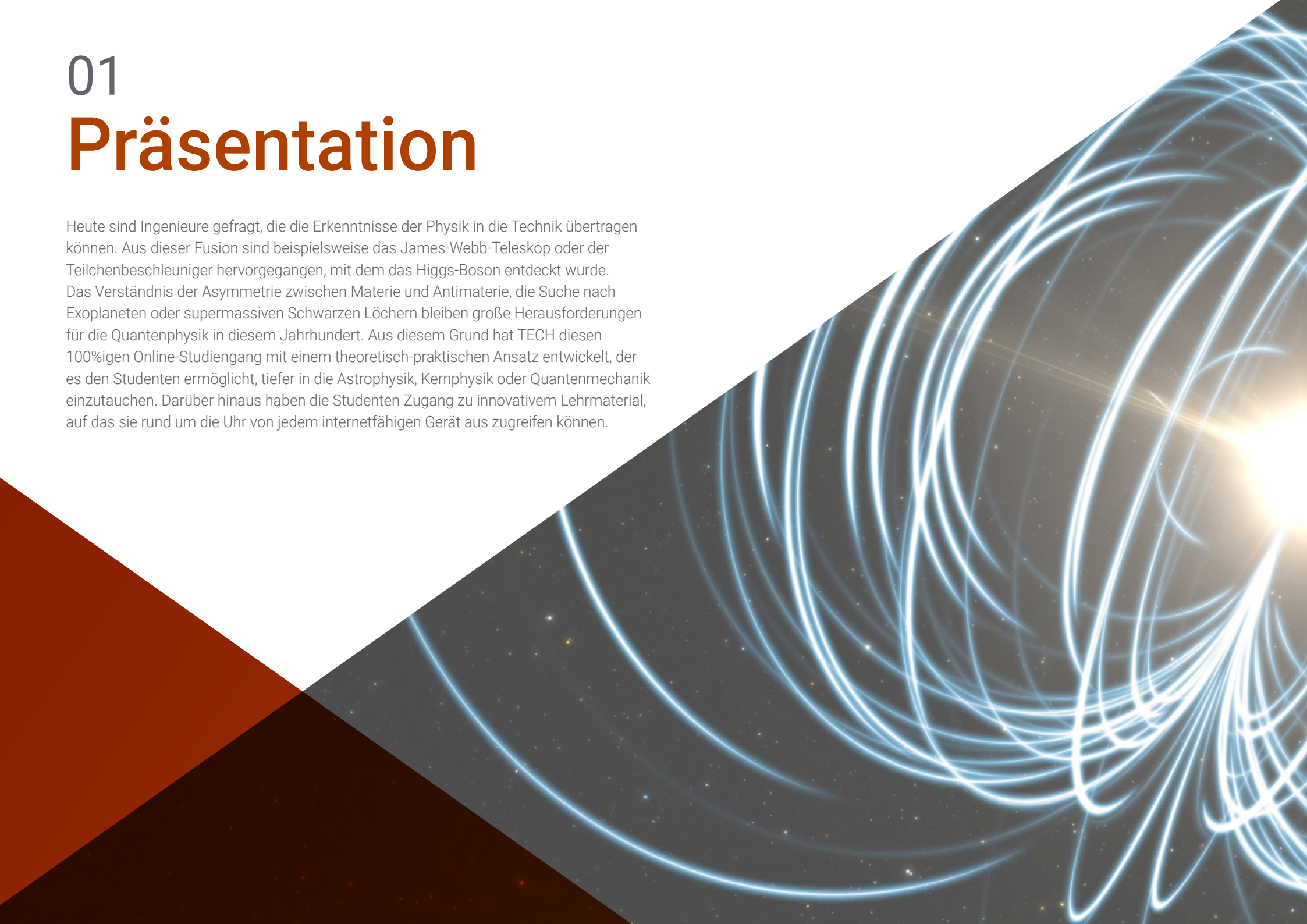
---

Seite 40

# 01

# Präsentation

Heute sind Ingenieure gefragt, die die Erkenntnisse der Physik in die Technik übertragen können. Aus dieser Fusion sind beispielsweise das James-Webb-Teleskop oder der Teilchenbeschleuniger hervorgegangen, mit dem das Higgs-Boson entdeckt wurde. Das Verständnis der Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, die Suche nach Exoplaneten oder supermassiven Schwarzen Löchern bleiben große Herausforderungen für die Quantenphysik in diesem Jahrhundert. Aus diesem Grund hat TECH diesen 100%igen Online-Studiengang mit einem theoretisch-praktischen Ansatz entwickelt, der es den Studenten ermöglicht, tiefer in die Astrophysik, Kernphysik oder Quantenmechanik einzutauchen. Darüber hinaus haben die Studenten Zugang zu innovativem Lehrmaterial, auf das sie rund um die Uhr von jedem internetfähigen Gerät aus zugreifen können.



“

*Ein privater Masterstudiengang, der zu 100% online durchgeführt wird, mit einem Lehrplan, der 24 Stunden am Tag verfügbar ist, so dass Sie die wichtigsten Konzepte der Quantenphysik vertiefen können, wann immer Sie wollen”*

Das Forschungsgebiet der Quantenphysik bietet ein breites Spektrum an Entwicklungslinien mit großem Potenzial für Ingenieure, die sich für diesen Bereich der Forschung und Entdeckung der Energieerzeugung, der ultrakalten Atome, der gefangenen Ionen oder der Photonik entscheiden.

Die jüngsten Fortschritte in diesem Bereich haben zahlreiche Wege für Studien und Tätigkeiten in anderen Disziplinen wie der Astrophysik, der Kosmologie, der Chemie, der Biologie, der Medizin oder der künstlichen Intelligenz eröffnet: Möglichkeiten, die so groß sind wie das Universum selbst. Aus diesem Grund hat TECH diesen Privaten Masterstudiengang in Quantenphysik entwickelt, der es den Studenten ermöglicht, sich in nur 12 Monaten die fortgeschrittensten Kenntnisse über die gängigsten physikalischen Prozesse in der Planeten- und Sonnenphysik, die Studien von Paul Dirac oder Richard Feynman und die Quantenfeldtheorie anzueignen.

All dies im Rahmen eines ausschließlich online angebotenen Programms, das es ihnen ermöglicht, sich nach Belieben mit Einsteins Gleichungen, der Schwarzschild-Lösung, Dunkler Materie und Energie oder der Thermodynamik des frühen Universums zu beschäftigen. Die Fallstudien helfen ihnen auch, die Praxis in ihre tägliche Arbeit zu integrieren.

Diese akademische Einrichtung bietet somit eine ausgezeichnete Gelegenheit für Ingenieure, die ihre Karriere durch eine qualitativ hochwertige akademische Weiterbildung vorantreiben möchten, die mit ihren beruflichen und/oder persönlichen Verpflichtungen vereinbar ist. Sie benötigen lediglich ein elektronisches Gerät mit Internetanschluss, um die auf der virtuellen Plattform angebotenen Inhalte abrufen zu können. Da es keine Anwesenheit im Hörsaal und keine festen Unterrichtszeiten gibt, können sich die Studenten die Unterrichtsstunden nach ihren eigenen Bedürfnissen einteilen.

Dieser **Privater Masterstudiengang in Quantenphysik** enthält das vollständigste und aktuellste Programm auf dem Markt. Die hervorstechendsten Merkmale sind:

- ♦ Die Entwicklung von Fallstudien, die von Experten für Physik vorgestellt werden
- ♦ Der anschauliche, schematische und äußerst praxisnahe Inhalt vermittelt alle für die berufliche Praxis unverzichtbaren wissenschaftlichen und praktischen Informationen
- ♦ Die praktischen Übungen, bei denen der Selbstbewertungsprozess zur Verbesserung des Lernens durchgeführt werden kann
- ♦ Sein besonderer Schwerpunkt liegt auf innovativen Methoden
- ♦ Theoretische Vorträge, Fragen an den Experten, Diskussionsforen zu kontroversen Themen und individuelle Reflexionsarbeit
- ♦ Die Verfügbarkeit des Zugangs zu Inhalten von jedem festen oder tragbaren Gerät mit Internetanschluss



*Mit den in diesem privaten Masterstudiengang erworbenen Kenntnissen werden Sie in der Lage sein, zur Lösung der Probleme im Zusammenhang mit der Dunklen Materie beizutragen“*



*In der multimedialen Bibliothek des Studiengangs lernen Sie die wichtigsten Beiträge zur Quantenphysik von Richard Feynman, Paul Dirac, Peter Higgs und Schrödinger kennen“*

Zu den Lehrkräften des Programms gehören Fachleute aus der Branche, die ihre Erfahrungen in diese Fortbildung einbringen, sowie anerkannte Spezialisten aus führenden Unternehmen und angesehenen Universitäten.

Die multimedialen Inhalte, die mit der neuesten Bildungstechnologie entwickelt wurden, werden der Fachkraft ein situiertes und kontextbezogenes Lernen ermöglichen, d. h. eine simulierte Umgebung, die eine immersive Fortbildung bietet, die auf die Ausführung von realen Situationen ausgerichtet ist.

Das Konzept dieses Studiengangs konzentriert sich auf problemorientiertes Lernen, bei dem die Fachkraft versuchen muss, die verschiedenen Situationen aus der beruflichen Praxis zu lösen, die ihr im Laufe des Studiengangs gestellt werden. Zu diesem Zweck wird sie von einem innovativen interaktiven Videosystem unterstützt, das von renommierten Experten entwickelt wurde.

*Klicken Sie jetzt und erwerben Sie eine Qualifikation, mit der Sie Ihre Karriere als Ingenieur im Bereich der Quantenphysik vorantreiben können.*

*Schreiben Sie sich für einen privaten Masterstudiengang ein, der Sie in die Lage versetzt, die wichtigsten Probleme der Quantenmechanik zu lösen.*



# 02 Ziele

TECH hat diesen Studiengang mit dem Hauptziel entwickelt, den Studenten die fortschrittlichsten und umfassendsten Informationen über die Quantenphysik zu vermitteln. Zu diesem Zweck werden multimediale Lehrmittel zur Verfügung gestellt, die es den Studenten ermöglichen, die Quantensysteme, die Kosmologie, das Konzept der Relativitätstheorie und die wichtigsten Autoren auf diesem Gebiet zu beherrschen. Ebenso wird das Dozententeam, das Teil dieses Programms ist, die Fachleute anleiten, damit sie diese Ziele leicht erreichen können.





“

*Das Ziel von TECH sind Sie. Bringen Sie Ihre Karriere als Ingenieur voran, indem Sie sich die neuesten Kenntnisse über Supersymmetrie, Strings und Extradimensionen aneignen”*



## Allgemeine Ziele

---

- ♦ Erwerben grundlegender Konzepte der Astrophysik
- ♦ Erwerben grundlegender Kenntnisse über Feynman-Diagramme, wie sie gezeichnet werden und ihre Nützlichkeit
- ♦ Erlernen und Anwenden von Näherungsmethoden zur Untersuchung von Quantensystemen
- ♦ Beherrschen der Klein-Gordon-Gleichung, der Dirac-Gleichung und des elektromagnetischen Feldes



*Sie erwerben die umfassendsten Kenntnisse über die häufigsten Symmetriebrechungen“*



## Spezifische Ziele

---

### Modul 1. Einführung in die moderne Physik

- ♦ Erkennen und Beurteilen des Vorhandenseins von physikalischen Prozessen im täglichen Leben und sowohl in spezifischen (medizinische Anwendungen, Flüssigkeitsverhalten, Optik oder Strahlenschutz) als auch in allgemeinen Szenarien (Elektromagnetismus, Thermodynamik oder klassische Mechanik)
- ♦ In der Lage sein, Computerwerkzeuge zur Lösung und Modellierung physikalischer Probleme zu verwenden
- ♦ Kennenlernen der neuen Entwicklungen und Fortschritte auf dem Gebiet der Physik, sowohl theoretisch als auch experimentell
- ♦ Entwickeln von Kommunikationsfähigkeiten, um Berichte und Dokumente zu schreiben oder diese effektiv zu präsentieren

### Modul 2. Mathematische Methoden

- ♦ Aneignen grundlegender Begriffe von metrischen und Hilberträumen
- ♦ Erwerben von Kenntnissen über die Eigenschaften linearer Operatoren und des Sturm-Liouville-Problems
- ♦ Kennen der Gruppentheorie, der Gruppendarstellung, der Tensorrechnung und ihrer Anwendungen in der Physik

### Modul 3. Quantenphysik I

- ♦ Anwenden der grundlegenden Konzepte der Quantenphysik und deren Formulierung in Gesetzen und Theorien
- ♦ Kennen der häufigsten physikalischen Prozesse in der Quantenphysik
- ♦ Kennen der Postulate der Quantenphysik
- ♦ Wissen, wie man die für die Quantenphysik charakteristischen mathematischen Werkzeuge anwendet, um Probleme der Quantenmechanik zu lösen

#### Modul 4. Astrophysik

- ♦ Verstehen und Anwenden mathematischer und numerischer Methoden, die in der Astrophysik üblich sind
- ♦ Kennenlernen der neuen Entwicklungen und Fortschritte auf dem Gebiet der Astrophysik, sowohl theoretisch als auch experimentell
- ♦ Verstehen der häufigsten physikalischen Prozesse in der Kosmologie
- ♦ Kennen der gängigsten physikalischen Prozesse in der Planeten- und Sonnenphysik

#### Modul 5. Quantenphysik II

- ♦ Verstehen der atomaren Modelle mit der Variationsmethode
- ♦ Beherrschen des intrinsischen Drehimpulses
- ♦ Verstehen der zeitabhängigen Störungstheorie
- ♦ Verstehen und Anwenden der WKB-Methode

#### Modul 6. Kern- und Teilchenphysik

- ♦ Erwerben von Grundkenntnissen der Kern- und Teilchenphysik
- ♦ In der Lage sein, zwischen den verschiedenen Kernzerfallsprozessen zu unterscheiden
- ♦ Kennen der Feynman-Diagramme, ihrer Verwendung und wie man sie zeichnet
- ♦ Wissen, wie man relativistische Kollisionen berechnet

#### Modul 7. Quantenfeldtheorie

- ♦ Erwerben grundlegender Begriffe der Quantenfeldtheorie
- ♦ Kennen der Hauptprobleme der Quantisierung einiger Felder und Wissen, wie man sie löst
- ♦ Wissen, wie man Amplituden von Wechselwirkungen zwischen Teilchen aus Feynman-Diagrammen berechnet

- ♦ Kennen der CPT-Symmetrien, der häufigsten Symmetrieverletzungen und des CPT-Symmetrie-Erhaltungssatzes

#### Modul 8. Allgemeine Relativitätstheorie und Kosmologie

- ♦ Erwerben grundlegender Kenntnisse der allgemeinen Relativitätstheorie
- ♦ Anwenden von Kenntnissen der Infinitesimalrechnung und Algebra auf die Untersuchung der Gravitation unter Verwendung der allgemeinen Relativitätstheorie
- ♦ Kennenlernen der Einstein-Gleichungen im Tensor-Format
- ♦ Erwerben von Grundkenntnissen über die Kosmologie und das frühe Universum

#### Modul 9. Hochenergiephysik

- ♦ Anwenden der Kenntnisse der Quantenfeldtheorie und der Mathematik der Gruppentheorie und Darstellungen auf die Elementarteilchenphysik
- ♦ Kennen der Mechanismen der spontanen Symmetriebrechung und des Higgs-Mechanismus
- ♦ Kennen der Grundlagen der Neutrinophysik, ihrer Massen und Oszillationen
- ♦ Kennen der Feynman-Regeln für Quantenelektrodynamik, Quantenchromodynamik und schwache Wechselwirkung
- ♦ Erwerben von Grundkenntnissen über die Yang-Mills-Theorie

#### Modul 10. Quanteninformation und Quantencomputing

- ♦ Aneignen grundlegender Begriffe der klassischen und der Quanteninformation
- ♦ Identifizieren der gebräuchlichsten Algorithmen zur Quantenverschlüsselung von Information
- ♦ Erwerben grundlegender Kenntnisse über semiklassische und Quantentheorien der Licht-Materie-Wechselwirkung
- ♦ Kennenlernen der gängigsten Implementierungen von Quanteninformation

# 03

## Kompetenzen

Die Struktur dieses privaten Masterstudiengangs wurde entwickelt, um die Kompetenzen und Fähigkeiten von Ingenieuren auf dem Gebiet der Quantenphysik zu verbessern. Am Ende der 1.500 Unterrichtsstunden werden die Studenten in der Lage sein, die erlernten Konzepte der Quantenfeldtheorie und die physikalischen Gesetze auf subatomarer Ebene anzuwenden oder die verschiedenen mathematischen Formulierungen zu entwickeln, die in diesem Programm vorgestellt werden. Die Simulationen von Fallstudien sind von großem Nutzen für Fachleute, die die gezeigten Methoden in ihre tägliche Praxis integrieren können.



“

*Diese akademische Weiterbildung zeigt Ihnen aus theoretischer und praktischer Sicht die Möglichkeiten der Anwendung der Gesetze der Physik und der Untersuchung der Milchstraße”*



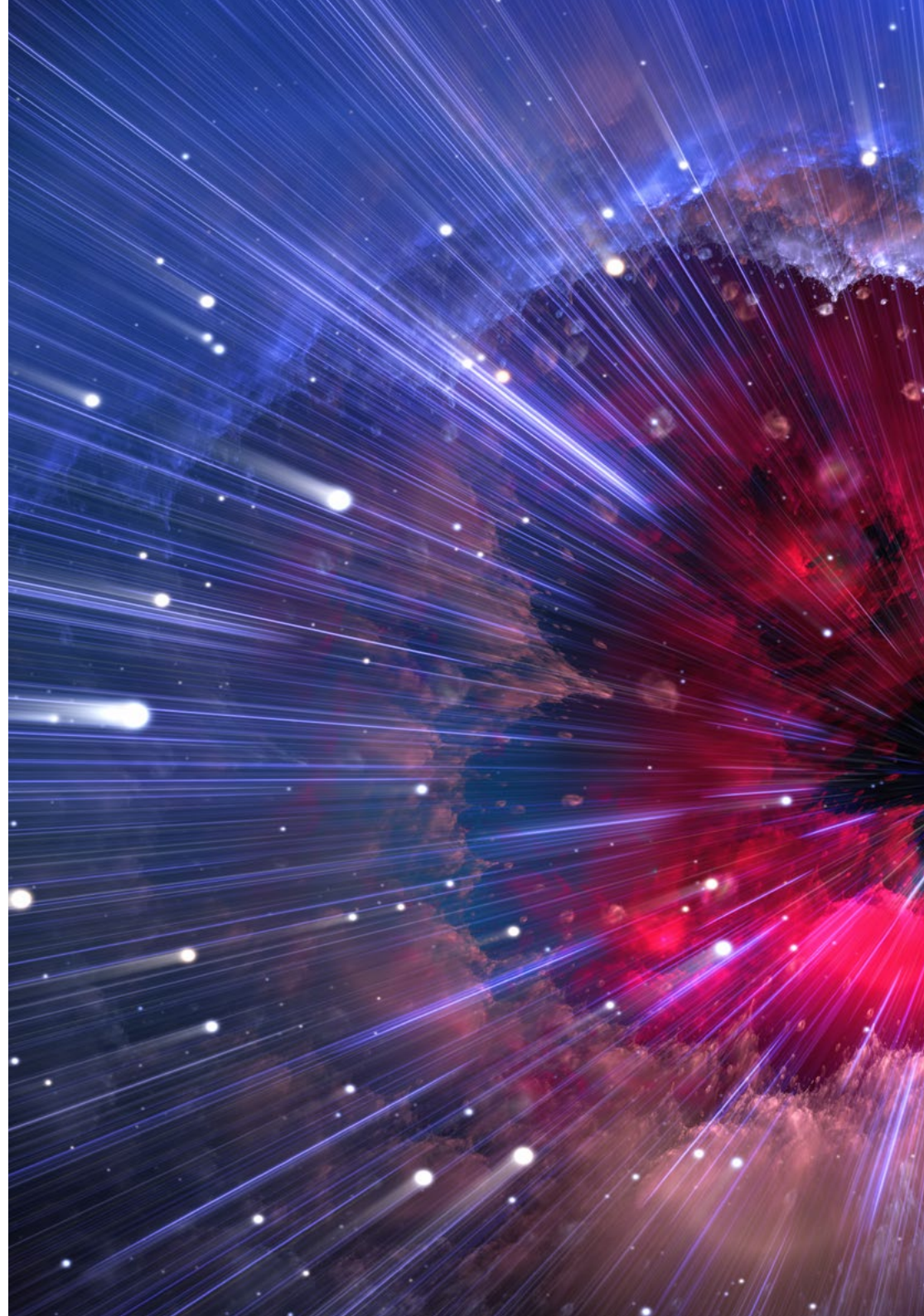
## Allgemeine Kompetenzen

---

- ♦ Wissen, wie das Universum auf kosmologischer und stellarer Ebene funktioniert
- ♦ Wissen, wie man die Schwarzschild-Lösung und ihre Konsequenzen anwendet
- ♦ Verstehen der Konsequenzen des Äquivalenzprinzips
- ♦ Bestimmen der Masse eines Doppelsternsystems

“

*Steigern Sie Ihre berufliche Karriere, indem Sie die wichtigsten Postulate der Quantenmechanik mit dieser Qualifikation beherrschen. Schreiben Sie sich jetzt ein”*





## Spezifische Kompetenzen

---

- ♦ Entwickeln eines offenen und kritischen Geistes, der zum Verständnis physikalischer Gesetze auf subatomarer Ebene beiträgt
- ♦ Verstehen der Auswirkungen von Gravitationswellen auf die Materie
- ♦ Verwenden atomarer Modelle mit der Variationsmethode
- ♦ Anwenden der Postulate der Quantenmechanik

# 04

## Struktur und Inhalt

TECH hat einen Privaten Masterstudiengang in Quantenphysik entwickelt, der auf den neuesten und fortschrittlichsten Erkenntnissen auf diesem Gebiet basiert. In den zehn Modulen des Studiengangs können sich Ingenieure mit Astrophysik, der Dynamik der Quantenmechanik, den Problemen der Dunklen Materie oder den jüngsten Fortschritten in der Kosmologie befassen. Darüber hinaus können die Studenten dank des *Relearning*-Systems die Inhalte auf eine natürlichere Art und Weise durcharbeiten und sogar die langen Studienzeiten, die bei anderen Methoden üblich sind, verkürzen.





“

*Praktische Fallstudien machen den Einstieg  
in die Feynman-Regeln leicht”*

## Modul 1. Einführung in die moderne Physik

- 1.1. Einführung in die medizinische Physik
  - 1.1.1. Wie man die Physik in der Medizin anwendet
  - 1.1.2. Die Energie geladener Teilchen in Geweben
  - 1.1.3. Photonen in Geweben
  - 1.1.4. Anwendungen
- 1.2. Einführung in die Teilchenphysik
  - 1.2.1. Einführung und Ziele
  - 1.2.2. Quantisierte Teilchen
  - 1.2.3. Grundlegende Kräfte und Ladungen
  - 1.2.4. Erkennung von Teilchen
  - 1.2.5. Klassifizierung der fundamentalen Teilchen und Standardmodell
  - 1.2.6. Jenseits des Standardmodells
  - 1.2.7. Aktuelle Theorien zur Verallgemeinerung
  - 1.2.8. Hochenergie-Experimente
- 1.3. Teilchenbeschleuniger
  - 1.3.1. Prozesse in Teilchenbeschleunigern
  - 1.3.2. Linearbeschleuniger
  - 1.3.3. Zyklotrone
  - 1.3.4. Synchrotrone
- 1.4. Einführung in die Kernphysik
  - 1.4.1. Nukleare Stabilität
  - 1.4.2. Neue Methoden in der Kernspaltung
  - 1.4.3. Kernfusion
  - 1.4.4. Synthese von superschweren Elementen
- 1.5. Einführung in die Astrophysik
  - 1.5.1. Das Sonnensystem
  - 1.5.2. Geburt und Tod eines Sterns
  - 1.5.3. Erforschung des Weltraums
  - 1.5.4. Exoplaneten
- 1.6. Einführung in die Kosmologie
  - 1.6.1. Berechnung von Entfernungen in der Astronomie
  - 1.6.2. Berechnung von Geschwindigkeiten in der Astronomie
  - 1.6.3. Dunkle Materie und dunkle Energie
  - 1.6.4. Die Expansion des Universums
  - 1.6.5. Gravitationswellen
- 1.7. Geophysik und Atmosphärenphysik
  - 1.7.1. Geophysik
  - 1.7.2. Atmosphärenphysik
  - 1.7.3. Meteorologie
  - 1.7.4. Klimawandel
- 1.8. Einführung in die Physik der kondensierten Materie
  - 1.8.1. Aggregatzustände der Materie
  - 1.8.2. Allotrope der Materie
  - 1.8.3. Krystalline Feststoffe
  - 1.8.4. Weiche Materie
- 1.9. Einführung in die Quanteninformatik
  - 1.9.1. Einführung in die Quantenwelt
  - 1.9.2. Qubits
  - 1.9.3. Mehrere Qubits
  - 1.9.4. Logikgatter
  - 1.9.5. Quantenprogramme
  - 1.9.6. Quantencomputer
- 1.10. Einführung in die Quantenkryptographie
  - 1.10.1. Klassische Information
  - 1.10.2. Quanteninformation
  - 1.10.3. Quantenverschlüsselung
  - 1.10.4. Protokolle in der Quantenkryptographie

## Modul 2. Mathematische Methoden

- 2.1. Prähilbertraum
  - 2.1.1. Vektorielle Räume
  - 2.1.2. Positives hermitesches Skalarprodukt
  - 2.1.3. Modulus eines Vektors
  - 2.1.4. Schwarzsche Ungleichung
  - 2.1.5. Minkowski-Ungleichung
  - 2.1.6. Orthogonalität
  - 2.1.7. Dirac-Notation
- 2.2. Topologie der metrischen Räume
  - 2.2.1. Definition des Abstands
  - 2.2.2. Definition des metrischen Raums
  - 2.2.3. Elemente der Topologie des metrischen Raums
  - 2.2.4. Konvergente Sequenzen
  - 2.2.5. Cauchy-Folgen
  - 2.2.6. Vollständiger metrischer Raum
- 2.3. Hilberträume
  - 2.3.1. Hilbertraum: Definition
  - 2.3.2. Herbartsche Basis
  - 2.3.3. Schrödinger vs. Heisenberg. Lebesgue-Integral
  - 2.3.4. Kontinuierliche Formen eines Hilbertraums
  - 2.3.5. Änderung der Basismatrix
- 2.4. Lineare Operationen
  - 2.4.1. Lineare Operatoren: grundlegende Konzepte
  - 2.4.2. Inverser Operator
  - 2.4.3. Adjungierter Operator
  - 2.4.4. Selbst-adjungierter oder beobachtbarer Operator
  - 2.4.5. Positiv definitiver Operator
  - 2.4.6. Unitärer Operator und Wechsel der Basis
  - 2.4.6. Antiunitärer Operator
  - 2.4.7. Projektor
- 2.5. Sturm-Liouville-Problem
  - 2.5.1. Eigenwert-Theoreme
  - 2.5.2. Eigenvektor-Theoreme
  - 2.5.3. Sturm-Liouville-Problem
  - 2.5.4. Wichtige Theoreme für das Sturm-Liouville-Problem
- 2.6. Einführung in die Gruppentheorie
  - 2.6.1. Definition und Eigenschaften von Gruppen
  - 2.6.2. Symmetrien
  - 2.6.3. Untersuchung der Gruppen  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  und  $SU(N)$
  - 2.6.4. Lie-Algebra
  - 2.6.5. Gruppen und Quantenphysik
- 2.7. Einführung in Darstellung
  - 2.7.1. Definitionen
  - 2.7.2. Grundlegende Darstellung
  - 2.7.3. Ergänzende Darstellung
  - 2.7.4. Einheitliche Darstellung
  - 2.7.5. Produkt von Darstellungen
  - 2.7.6. Young-Diagramme
  - 2.7.7. Ökubo-Theorem
  - 2.7.8. Anwendungen in der Teilchenphysik
- 2.8. Einführung in Tensoren
  - 2.8.1. Definition des kovarianten und kontravarianten Tensors
  - 2.8.2. Kronecker-Delta
  - 2.8.3. Levi-Civita-Tensor
  - 2.8.4. Untersuchung von  $SO(N)$  und  $SO(3)$
  - 2.8.5. Untersuchung von  $SU(N)$
  - 2.8.6. Beziehung zwischen Tensoren und Darstellungen
- 2.9. Gruppentheorie angewandt auf die Physik
  - 2.9.1. Gruppe der Translationen
  - 2.9.2. Lorentz-Gruppe
  - 2.9.3. Diskrete Gruppen
  - 2.9.4. Kontinuierliche Gruppen

- 2.10. Darstellungen und Teilchenphysik
  - 2.10.1. Darstellungen von  $SU(N)$ -Gruppen
  - 2.10.2. Fundamentale Darstellungen
  - 2.10.3. Multiplikation von Darstellungen
  - 2.10.4. Ökubo-Theorem und *Eightfold Ways*

### Modul 3. Quantenphysik

- 3.1. Ursprünge der Quantenphysik
  - 3.1.1. Schwarzkörperstrahlung
  - 3.1.2. Photoelektrischer Effekt
  - 3.1.3. Compton-Effekt
  - 3.1.4. Spektren und atomare Modelle
  - 3.1.5. Pauli-Ausschlussprinzip
    - 3.1.5.1. Zeeman-Effekt
    - 3.1.5.2. Stern-Gerlach-Versuch
  - 3.1.6. De-Broglie-Wellenlänge und das Doppelspaltexperiment
- 3.2. Mathematische Formulierung
  - 3.2.1. Hilbertraum
  - 3.2.2. Dirac-Notation: Bra-Ket
  - 3.2.3. Inneres Produkt und äußeres Produkt
  - 3.2.4. Lineare Operatoren
  - 3.2.5. Hermitesche Operatoren und Diagonalisierung
  - 3.2.6. Tensorsumme und -produkt
  - 3.2.7. Matrix-Dichte
- 3.3. Postulate der Quantenmechanik
  - 3.3.1. Postulat 1: Definition des Zustands
  - 3.3.2. Postulat 2: Definition der Observablen
  - 3.3.3. Postulat 3: Definition von Messungen
  - 3.3.4. Postulat 4: Wahrscheinlichkeit von Messungen
  - 3.3.5. Postulat 5: Dynamik



- 3.4. Anwendung der Postulate der Quantenmechanik
  - 3.4.1. Die Wahrscheinlichkeit von Ergebnissen. Statistik
  - 3.4.2. Unbestimmtheit
  - 3.4.3. Zeitliche Entwicklung der erwarteten Werte
  - 3.4.4. Kompatibilität und Kommutation von Observablen
  - 3.4.5. Pauli-Matrizen
- 3.5. Dynamik der Quantenmechanik
  - 3.5.1. Darstellung der Positionen
  - 3.5.2. Darstellung von Momenten
  - 3.5.3. Schrödingergleichung
  - 3.5.4. Ehrenfest-Theorem
  - 3.5.5. Virialsatz
- 3.6. Potentialbarriere
  - 3.6.1. Unendlicher Potentialtopf
  - 3.6.2. Endlicher Potentialtopf
  - 3.6.3. Potentialstufe
  - 3.6.4. Delta-Potential
  - 3.6.5. Tunneleffekt
  - 3.6.6. Freies Teilchen
- 3.7. Einfacher eindimensionaler harmonischer Oszillator
  - 3.7.1. Analogie zur klassischen Mechanik
  - 3.7.2. Hamiltonoperator und Energieeigenwerte
  - 3.7.3. Analytische Methode
  - 3.7.4. "Verschwommene" Zustände
  - 3.7.5. Kohärente Zustände
- 3.8. Operatoren und dreidimensionale Observablen
  - 3.8.1. Überblick über die Begriffe der multivariablen Kalkulation
  - 3.8.2. Positionsoperator
  - 3.8.3. Linearer Impuls-Operator
  - 3.8.4. Orbitaler Drehimpuls
  - 3.8.5. *Ladder Operators*
  - 3.8.6. Hamiltonoperator

- 3.9. Dreidimensionale Eigenwerte und Eigenfunktionen
  - 3.9.1. Positionoperator
  - 3.9.2. Linearer Impulsoperator
  - 3.9.3. Bahndrehimpulsoperator und sphärische Harmonischen
  - 3.9.4. Winkelgleichung
- 3.10. Dreidimensionale Potentialbarriere
  - 3.10.1. Freies Teilchen
  - 3.10.2. Teilchen in einem Kasten
  - 3.10.3. Zentrale Potentiale und radiale Gleichung
  - 3.10.4. Unendlicher sphärischer Potentialtopf
  - 3.10.5. Wasserstoffatom
  - 3.10.6. Dreidimensionaler harmonischer Oszillator

## Modul 4. Astrophysik

- 4.1. Einführung
  - 4.1.1. Kurze Geschichte der Astrophysik
  - 4.1.2. Instrumentierung
  - 4.1.3. Skala der beobachteten Größenordnungen
  - 4.1.4. Berechnung der astronomischen Entfernungen
  - 4.1.5. Farbindex
- 4.2. Spektrallinien
  - 4.2.1. Historische Einführung
  - 4.2.2. Kirchhoffsche Regeln
  - 4.2.3. Beziehung zwischen Spektrum und Temperatur
  - 4.2.4. Doppler-Effekt
  - 4.2.5. Spektrograf
- 4.3. Strahlungsfeld-Studie
  - 4.3.1. Vorläufige Definitionen
  - 4.3.2. Opazität
  - 4.3.3. Optische Tiefe
  - 4.3.4. Mikroskopische Quellen der Opazität
  - 4.3.5. Gesamtopazität
  - 4.3.6. Extinktion
  - 4.3.7. Struktur der Spektrallinien
- 4.4. Sterne
  - 4.4.1. Klassifizierung von Sternen
  - 4.4.2. Methoden zur Bestimmung der Masse eines Sterns
  - 4.4.3. Doppelsterne
  - 4.4.4. Klassifizierung von Doppelsternen
  - 4.4.5. Bestimmung der Massen eines Doppelsternsystems
- 4.5. Lebensdauern von Sternen
  - 4.5.1. Merkmale eines Sterns
  - 4.5.2. Geburt eines Sterns
  - 4.5.3. Leben eines Sterns. Hertzsprung-Russell-Diagramm
  - 4.5.4. Tod eines Sterns
- 4.6. Tod von Sternen
  - 4.6.1. Weiße Zwerge
  - 4.6.2. Supernovae
  - 4.6.3. Neutronensterne
  - 4.6.4. Schwarze Löcher
- 4.7. Untersuchung der Milchstraße
  - 4.7.1. Form und Abmessungen der Milchstraße
  - 4.7.2. Dunkle Materie
  - 4.7.3. Phänomen der Gravitationslinse
  - 4.7.4. Schwach wechselwirkende massive Teilchen
  - 4.7.5. Scheibe und Halo der Milchstraße
  - 4.7.6. Spiralförmige Struktur der Milchstraße
- 4.8. Galaxienhaufen
  - 4.8.1. Einführung
  - 4.8.2. Klassifizierung von Galaxien
  - 4.8.3. Galaktische Photometrie
  - 4.8.4. Lokale Gruppe: Einführung
- 4.9. Großräumige Verteilung von Galaxien
  - 4.9.1. Form und Alter des Universums
  - 4.9.2. Kosmologisches Standardmodell
  - 4.9.3. Bildung der kosmologischen Strukturen
  - 4.9.4. Beobachtungsmethoden in der Kosmologie

- 4.10. Dunkle Materie und dunkle Energien
  - 4.10.1. Entdeckung und Eigenschaften
  - 4.10.2. Implikationen für die Verteilung der gewöhnlichen Materie
  - 4.10.3. Probleme mit der Dunklen Materie
  - 4.10.4. Mögliche Teilchen der Dunklen Materie
  - 4.10.5. Dunkle Energie und Konsequenzen

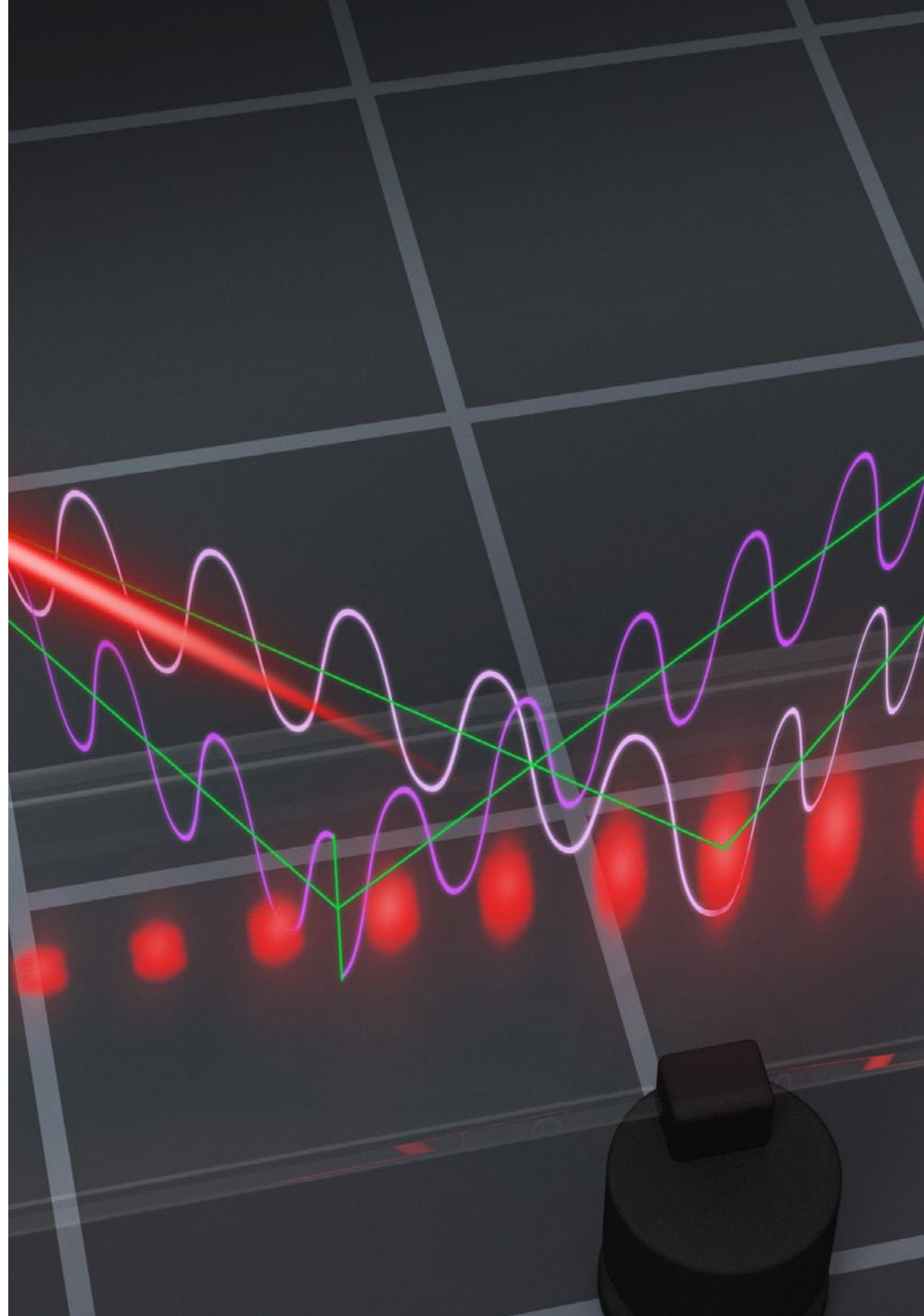
## Modul 5. Quantenphysik II

- 5.1. Beschreibungen der Quantenmechanik: Bilder oder Darstellungen
  - 5.1.1. Schrödinger-Bild
  - 5.1.2. Heisenberg-Bild
  - 5.1.3. Dirac-Bild oder Wechselwirkungsdarstellung
  - 5.1.4. Bildumschaltung
- 5.2. Harmonischer Oszillator
  - 5.2.1. Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren
  - 5.2.2. Wellenfunktionen der Fock-Zustände
  - 5.2.3. Kohärente Zustände
  - 5.2.4. Zustände der geringsten Unbestimmtheit
  - 5.2.5. "Gequetschte" Zustände
- 5.3. Drehimpuls
  - 5.3.1. Rotationen
  - 5.3.2. Drehimpulsschalter
  - 5.3.3. Drehimpuls-Basis
  - 5.3.4. Skalen-Operatoren
  - 5.3.5. Matrix-Darstellung
  - 5.3.6. Intrinsischer Drehimpuls: Spin
  - 5.3.7. Spin-Fälle:  $1/2$ ,  $1$ ,  $3/2$
- 5.4. Mehrkomponenten-Wellenfunktionen: Spinoren
  - 5.4.1. Einkomponentige Wellenfunktionen: Spin 0
  - 5.4.2. Zweikomponenten-Wellenfunktionen: Spin  $1/2$
  - 5.4.3. Erwartete Werte der Spin-Observablen
  - 5.4.4. Atomare Zustände
  - 5.4.5. Addition von Drehimpulsen
  - 5.4.6. Clebsch-Gordan-Koeffizienten
- 5.5. Untersuchung von Verbundsystemen
  - 5.5.1. Unterscheidbare Teilchen
  - 5.5.2. Ununterscheidbare Teilchen
  - 5.5.3. Der Fall der Photonen: Experiment mit einem halbtransparenten Spiegel
  - 5.5.4. Quantenverschränkung
  - 5.5.5. Bellsche Ungleichungen
  - 5.5.6. EPR-Paradoxon
  - 5.5.7. Bellsche Ungleichung
- 5.6. Einführung in approximative Methoden: Variationsmethode
  - 5.6.1. Einführung in die Variationsmethode
  - 5.6.2. Lineare Variationen
  - 5.6.3. Rayleigh-Ritzsches Variationsverfahren
  - 5.6.4. Harmonischer Oszillator: Untersuchung durch Variationsmethoden
- 5.7. Untersuchung von atomaren Modellen mit der Variationsmethode
  - 5.7.1. Wasserstoffatom
  - 5.7.2. Helium-Atom
  - 5.7.3. Ionisiertes Wasserstoffmolekül
  - 5.7.4. Diskrete Symmetrien
    - 5.7.4.1. Parität
    - 5.7.4.2. Zeitumkehr
- 5.8. Einführung in die Störungstheorie
  - 5.8.1. Zeitunabhängige Störungen
  - 5.8.2. Nicht entarteter Fall
  - 5.8.3. Degenerierter Fall
  - 5.8.4. Feinstruktur des Wasserstoffatoms
  - 5.8.5. Zeeman-Effekt
  - 5.8.6. Spin-Spin-Kopplungskonstante. Hyperfeinstruktur
  - 5.8.7. Zeitabhängige Störungstheorie
    - 5.8.7.1. 2-Niveau-Atom
    - 5.8.7.2. Sinusoidale Störungen

- 5.9. Adiabatische Näherung
  - 5.9.1. Einführung in die adiabatische Näherung
  - 5.9.2. Adiabatisches Theorem
  - 5.9.3. Berry-Phase
  - 5.9.4. Aharonov-Bohm-Effekt
- 5.10. Wentzel-Kramers-Brillouin-Näherung (WKB)
  - 5.10.1. Einführung in die WKB-Methode
  - 5.10.2. Klassischer Bereich
  - 5.10.3. Tunnel-Effekt
  - 5.10.4. Verbindungsformeln

## Modul 6. Kern- und Teilchenphysik

- 6.1. Einführung in die Kernphysik
  - 6.1.1. Periodensystem der Elemente
  - 6.1.2. Wichtige Entdeckungen
  - 6.1.3. Atomare Modelle
  - 6.1.4. Wichtige Definitionen. Skalen und Einheiten in der Kernphysik
  - 6.1.5. Segré-Diagramm
- 6.2. Nukleare Eigenschaften
  - 6.2.1. Bindungsenergie
  - 6.2.2. Semiempirische Massenformel
  - 6.2.3. Fermi-Gas-Modell
  - 6.2.4. Nukleare Stabilität
    - 6.2.4.1. Alpha-Zerfall
    - 6.2.4.2. Beta-Zerfall
    - 6.2.4.3. Kernspaltung
  - 6.2.5. Nukleare Deexcitation
  - 6.2.6. Doppelter Betazerfall





- 6.3. Nukleare Dispersion
  - 6.3.1. Interne Struktur: Studie zur Streuung
  - 6.3.2. Wirkungsquerschnitt
  - 6.3.3. Rutherford-Experiment: Rutherfords Wirkungsquerschnitt
  - 6.3.4. Mottscher Wirkungsquerschnitt
  - 6.3.5. Impulsübertragung und Formfaktoren
  - 6.3.6. Nukleare Ladungsverteilung
  - 6.3.7. Neutronenstreuung
- 6.4. Kernstruktur und starke Wechselwirkung
  - 6.4.1. Nukleon-Streuung
  - 6.4.2. Gebundene Zustände. Deuterium
  - 6.4.3. Starke Kernwechselwirkung
  - 6.4.4. Magische Zahlen
  - 6.4.5. Das Schichtmodell des Atomkerns
  - 6.4.6. Kernspin und Parität
  - 6.4.7. Die elektromagnetischen Momente des Kerns
  - 6.4.8. Kollektive Kernanregungen: Dipolschwingungen, Schwingungszustände und Rotationszustände
- 6.5. Kernstruktur und starke Wechselwirkung II
  - 6.5.1. Klassifizierung von Kernreaktionen
  - 6.5.2. Kinematik der Reaktionen
  - 6.5.3. Erhaltungsgesetze
  - 6.5.4. Nukleare Spektroskopie
  - 6.5.5. Das Modell des zusammengesetzten Kerns
  - 6.5.6. Direkte Reaktionen
  - 6.5.7. Elastische Streuung
- 6.6. Einführung in die Teilchenphysik
  - 6.6.1. Teilchen und Antiteilchen
  - 6.6.2. Fermionen und Baryonen
  - 6.6.3. Das Standardmodell der Elementarteilchen: Leptonen und Quarks
  - 6.6.4. Das Quark-Modell
  - 6.6.5. Intermediäre Vektorbosonen
- 6.7. Dynamik der Elementarteilchen
  - 6.7.1. Die vier fundamentalen Wechselwirkungen
  - 6.7.2. Quantenelektrodynamik
  - 6.7.3. Quantenchromodynamik
  - 6.7.4. Schwache Wechselwirkung
  - 6.7.5. Zerfall und Erhaltungssätze
- 6.8. Relativistische Kinematik
  - 6.8.1. Lorentz-Transformationen
  - 6.8.2. Quadriektoren
  - 6.8.3. Energie und linearer Impuls
  - 6.8.4. Kollisionen
  - 6.8.5. Einführung in die Feynman-Diagramme
- 6.9. Symmetrien
  - 6.9.1. Gruppen, Symmetrien und Erhaltungssätze
  - 6.9.2. Spin und Drehimpuls
  - 6.9.3. Addition von Drehimpulsen
  - 6.9.4. Flavour-Symmetrien
  - 6.9.5. Parität
  - 6.9.6. Ladungskonjugation
  - 6.9.7. CP-Verletzung
  - 6.9.8. Umkehrung der Zeit
  - 6.9.9. Beibehaltung der CPT
- 6.10. Verknüpfte Zustände
  - 6.10.1. Schrödinger-Gleichung für zentrale Potentiale
  - 6.10.2. Wasserstoffatom
  - 6.10.3. Feinstruktur
  - 6.10.4. Hyperfeinstruktur
  - 6.10.5. Positronium
  - 6.10.6. Quarkonium
  - 6.10.7. Leichte Mesonen
  - 6.10.8. Baryonen

## Modul 7. Quantenfeldtheorie

- 7.1. Klassische Feldtheorie
  - 7.1.1. Notation und Konventionen
  - 7.1.2. Lagrange-Formalismus
  - 7.1.3. Euler-Lagrange-Gleichungen
  - 7.1.4. Symmetrien und Erhaltungssätze
- 7.2. Klein-Gordon-Feld
  - 7.2.1. Klein-Gordon-Gleichung
  - 7.2.2. Quantisierung des Klein-Gordon-Feldes
  - 7.2.3. Lorentz-Invarianz des Klein-Gordon-Feldes
  - 7.2.4. Vakuum. Vakuumzustände und Fock-Zustände
  - 7.2.5. Vakuumenergie
  - 7.2.6. Normale Ordnung: Konvention
  - 7.2.7. Energie und Impuls von Zuständen
  - 7.2.8. Untersuchung der Kausalität
  - 7.2.9. Klein-Gordon-Propagator
- 7.3. Dirac-Feld
  - 7.3.1. Dirac-Gleichung
  - 7.3.2. Dirac-Matrizen und ihre Eigenschaften
  - 7.3.3. Darstellungen von Dirac-Matrizen
  - 7.3.4. Dirac-Lagrangesche
  - 7.3.5. Lösung der Dirac-Gleichung: ebene Wellen
  - 7.3.6. Schalter und Anti-Schalter
  - 7.3.7. Quantisierung des Dirac-Feldes
  - 7.3.8. Fockraum
  - 7.3.9. Dirac-Propagator
- 7.4. Elektromagnetisches Feld
  - 7.4.1. Klassische elektromagnetische Feldtheorie
  - 7.4.2. Quantisierung des elektromagnetischen Feldes und ihre Probleme
  - 7.4.3. Fockraum
  - 7.4.4. Gupta-Bleuler-Formalismus
  - 7.4.5. Photonen-Propagator
- 7.5. S-Matrix Formalismus
  - 7.5.1. Lagrangian und Wechselwirkungs-Hamiltonoperator
  - 7.5.2. S-Matrix: Definition und Eigenschaften
  - 7.5.3. Dyson-Reihe
  - 7.5.4. Wick-Theorem
  - 7.5.5. Dirac-Darstellung
- 7.6. Feynman-Diagramme im Positionsraum
  - 7.6.1. Wie zeichnet man Feynman-Diagramme? Normen. Hilfsmittel
  - 7.6.2. Erste Ordnung
  - 7.6.3. Zweite Ordnung
  - 7.6.4. Zwei-Teilchen-Dispersionsprozesse
- 7.7. Feynman-Regeln
  - 7.7.1. Normalisierung von Zuständen im Fockraum
  - 7.7.2. Feynman-Amplitude
  - 7.7.3. Feynman-Regeln für QED
  - 7.7.4. Eichtoleranz in Amplituden
  - 7.7.5. Beispiele
- 7.8. Querschnitt und Zerfallsraten
  - 7.8.1. Definition des Querschnitts
  - 7.8.2. Definition der Zerfallsraten
  - 7.8.3. Beispiele mit zwei Körpern im Endzustand
  - 7.8.4. Nichtpolarisierter Querschnitt
  - 7.8.5. Summe über Fermionenpolarisation
  - 7.8.6. Summe über die Photonenpolarisation
  - 7.8.7. Beispiele
- 7.9. Untersuchung von Myonen und anderen geladenen Teilchen
  - 7.9.1. Myonen
  - 7.9.2. Geladene Teilchen
  - 7.9.3. Geladene Skalarteilchen
  - 7.9.4. Feynman-Regeln für die skalare quantenelektrodynamische Theorie

- 7.10. Symmetrien
  - 7.10.1. Parität
  - 7.10.2. Ladungskonjugation
  - 7.10.3. Umkehrung der Zeit
  - 7.10.4. Verletzung einiger Symmetrien
  - 7.10.5. CPT-Symmetrie

## Modul 8. Allgemeine Relativitätstheorie und Kosmologie

- 8.1. Spezielle Relativitätstheorie
  - 8.1.1. Postulate
  - 8.1.2. Lorentz-Transformationen in der Standardkonfiguration
  - 8.1.3. Erhöhungen
  - 8.1.4. Tensoren
  - 8.1.5. Relativistische Kinematik
  - 8.1.6. Relativistischer linearer Impuls und Energie
  - 8.1.7. Lorentz-Kovarianz
  - 8.1.8. Impuls-Energie-Tensor
- 8.2. Äquivalenzprinzip
  - 8.2.1. Schwaches Äquivalenzprinzip
  - 8.2.2. Experimente zum schwachen Äquivalenzprinzip
  - 8.2.3. Lokale Inertialsysteme
  - 8.2.4. Äquivalenzprinzip
  - 8.2.5. Konsequenzen des Äquivalenzprinzips
- 8.3. Teilchenbewegung in Gravitationsfeldern
  - 8.3.1. Flugbahn eines Teilchens unter Schwerkraft
  - 8.3.2. Newtonsche Grenze
  - 8.3.3. Gravitations-Rotverschiebung und Tests
  - 8.3.4. Zeitdilatation
  - 8.3.5. Geodätische Gleichung
- 8.4. Geometrie: notwendige Konzepte
  - 8.4.1. Zweidimensionale Räume
  - 8.4.2. Skalare, Vektor- und Tensorfelder
  - 8.4.3. Metrischer Tensor: Konzept und Theorie
  - 8.4.4. Partielle Ableitung
  - 8.4.5. Kovariante Ableitung
  - 8.4.6. Christoffelsymbole
  - 8.4.7. Kovariante Ableitungen und Tensoren
  - 8.4.8. Richtungsabhängige kovariante Ableitungen
  - 8.4.9. Divergenz und Laplace-Operator
- 8.5. Gekrümmte Raumzeit
  - 8.5.1. Kovariante Ableitung und Paralleltransport: Definition
  - 8.5.2. Geodäten aus parallelem Transport
  - 8.5.3. Riemannscher Krümmungstensor
  - 8.5.4. Riemannscher Tensor: Definition und Eigenschaften
  - 8.5.5. Ricci-Tensor: Definition und Eigenschaften
- 8.6. Einstein-Gleichungen: Ableitung
  - 8.6.1. Umformulierung des Äquivalenzprinzips
  - 8.6.2. Anwendungen des Äquivalenzprinzips
  - 8.6.3. Erhaltung und Symmetrien
  - 8.6.4. Ableitung der Einsteinschen Gleichungen aus dem Äquivalenzprinzip
- 8.7. Schwarzschild-Lösung
  - 8.7.1. Schwarzschild-Metrik
  - 8.7.2. Längen- und Zeitelemente
  - 8.7.3. Erhaltungsgrößen
  - 8.7.4. Gleichung der Bewegung
  - 8.7.5. Ablenkung des Lichts. Studie in der Schwarzschild-Metrik
  - 8.7.6. Schwarzschild-Radius
  - 8.7.7. Eddington-Finkelstein-Koordinaten
  - 8.7.8. Schwarze Löcher

- 8.8. Lineare Schwerkraftgrenze. Konsequenzen
  - 8.8.1. Lineare Schwerkraft: Einführung
  - 8.8.2. Koordinaten-Transformation
  - 8.8.3. Linearisierte Einstein-Gleichungen
  - 8.8.4. Allgemeine Lösung der linearisierten Einstein-Gleichungen
  - 8.8.5. Gravitationswellen
  - 8.8.6. Auswirkungen von Gravitationswellen auf die Materie
  - 8.8.7. Erzeugung von Gravitationswellen
- 8.9. Kosmologie: Einführung
  - 8.9.1. Beobachtung des Universums: Einführung
  - 8.9.2. Kosmologisches Prinzip
  - 8.9.3. Koordinatensystem
  - 8.9.4. Kosmologische Entfernungen
  - 8.9.5. Hubble-Gesetz
  - 8.9.6. Inflation
- 8.10. Kosmologie: Mathematische Studie
  - 8.10.1. Erste Friedmann-Gleichung
  - 8.10.2. Zweite Friedmann-Gleichung
  - 8.10.3. Dichten und Skalenfaktor
  - 8.10.4. Konsequenzen aus den Friedmann-Gleichungen. Krümmung des Universums
  - 8.10.5. Thermodynamik des frühen Universums

## Modul 9. Hochenergiephysik

- 9.1. Mathematische Methoden: Gruppen und Darstellungen
  - 9.1.1. Gruppentheorie
  - 9.1.2.  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  und  $SU(3)$  und  $SU(N)$  Gruppen
  - 9.1.3. Lie-Algebra
  - 9.1.4. Darstellungen
  - 9.1.5. Multiplikation von Darstellungen





- 9.2. Symmetrien
  - 9.2.1. Symmetrien und Erhaltungssätze
  - 9.2.2. CPT-Symmetrien
  - 9.2.3. Verletzung der Symmetrien und Erhaltung der CPT
  - 9.2.4. Drehimpuls
  - 9.2.5. Addition von Drehimpulsen
- 9.3. Feynman-Kalkül: Einführung
  - 9.3.1. Halbwertszeit
  - 9.3.2. Querschnitt
  - 9.3.3. Fermis Goldene Regel für Zerfälle
  - 9.3.4. Fermis Goldene Regel für Dispersionen
  - 9.3.5. Zweikörperstreuung im Massenschwerpunkt-Bezugsrahmen
- 9.4. Anwendung des Feynman-Kalküls: Spielzeugmodell
  - 9.4.1. Spielzeugmodell: Einführung
  - 9.4.2. Feynman-Regeln
  - 9.4.3. Halbwertszeit
  - 9.4.4. Dispersion
  - 9.4.5. Diagramme höherer Ordnung
- 9.5. Quantenelektrodynamik
  - 9.5.1. Dirac-Gleichung
  - 9.5.2. Lösungen der Dirac-Gleichung
  - 9.5.3. Bilineare Kovarianten
  - 9.5.4. Das Photon
  - 9.5.5. Feynman-Regeln für die Quantenelektrodynamik
  - 9.5.6. Casimir-Trick
  - 9.5.7. Renormierung
- 9.6. Quark-Elektrodynamik und Chromodynamik
  - 9.6.1. Feynman-Regeln
  - 9.6.2. Produktion von Hadronen in Elektron-Positron-Kollisionen
  - 9.6.3. Feynman-Regeln für die Chromodynamik
  - 9.6.4. Farbfaktoren
  - 9.6.5. Quark-Antiquark-Wechselwirkung
  - 9.6.6. Quark-Quark-Wechselwirkung
  - 9.6.7. Quantenchromodynamik Paarannihilation

- 9.7. Schwache Wechselwirkung
  - 9.7.1. Geladene schwache Wechselwirkung
  - 9.7.2. Feynman-Regeln
  - 9.7.3. Muon-Zerfall
  - 9.7.4. Neutronenzerfall
  - 9.7.5. Pionenzerfall
  - 9.7.6. Schwache Wechselwirkung zwischen Quarks
  - 9.7.7. Neutrale schwache Wechselwirkung
  - 9.7.8. Elektroschwache Vereinheitlichung
- 9.8. Eichtheorien
  - 9.8.1. Lokale Ebenenkonstante
  - 9.8.2. Yang-Mills-Theorie
  - 9.8.3. Quantenchromodynamik
  - 9.8.4. Feynman-Regeln
  - 9.8.5. Laufzeit von Massen
  - 9.8.6. Spontane Symmetriebrechung
  - 9.8.7. Higgs-Mechanismus
- 9.9. Neutrino-Oszillation
  - 9.9.1. Das solare Neutrinoproblem
  - 9.9.2. Neutrino-Oszillation
  - 9.9.3. Neutrino-Massen
  - 9.9.4. Mischungsmatrix
- 9.10. Fortgeschrittene Themen. Kurze Einführung
  - 9.10.1. Higgs-Boson
  - 9.10.2. Große vereinheitlichte Theorie
  - 9.10.3. Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie
  - 9.10.4. Supersymmetrie, Strings und Extradimensionen
  - 9.10.5. Dunkle Materie und dunkle Energie

## Modul 10. Quanteninformation und Quantencomputing

- 10.1. Einführung: Mathematik und Quanten
  - 10.1.1. Komplexe Vektorräume
  - 10.1.2. Lineare Operatoren
  - 10.1.3. Skalarprodukt und Hilberträume
  - 10.1.4. Diagonalisierung
  - 10.1.5. Tensorprodukt
  - 10.1.6. Operator-Funktionen
  - 10.1.7. Wichtige Theoreme über Operatoren
  - 10.1.8. Postulate der überarbeiteten Quantenmechanik
- 10.2. Statistische Zustände und Stichproben
  - 10.2.1. Das Qubit
  - 10.2.2. Die Dichtematrix
  - 10.2.3. Zweiteilige Systeme
  - 10.2.4. Die Schmidt-Zerlegung
  - 10.2.5. Statistische Interpretation von Mischzuständen
- 10.3. Messungen und zeitliche Entwicklung
  - 10.3.1. Von-Neumann-Maße
  - 10.3.2. Verallgemeinerte Maße
  - 10.3.3. Neumark-Theorem
  - 10.3.4. Quantenkanäle
- 10.4. Verschränkung und ihre Anwendungen
  - 10.4.1. EPR-Zustände
  - 10.4.2. Dichte Kodierung
  - 10.4.3. Teleportation von Zuständen
  - 10.4.4. Dichtematrix und ihre Darstellungen

- 10.5. Klassische und Quanteninformation
  - 10.5.1. Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung
  - 10.5.2. Information
  - 10.5.3. Shannon-Entropie und gegenseitige Information
  - 10.5.4. Kommunikation
    - 10.5.4.1. Der symmetrische binäre Kanal
    - 10.5.4.2. Kapazität eines Kanals
  - 10.5.5. Shannon-Theorem
  - 10.5.6. Unterschied zwischen klassischer und Quanteninformation
  - 10.5.7. Von-Neumann-Entropie
  - 10.5.8. Schumacher-Theorem
  - 10.5.9. Holevo-Information
  - 10.5.10. Zugängliche Informationen und Holevo-Schranke
- 10.6. Quantencomputing
  - 10.6.1. Turing-Maschinen
  - 10.6.2. Schaltkreise und Komplexitätsklassifizierung
  - 10.6.3. Der Quantencomputer
  - 10.6.4. Quantenlogische Gatter
  - 10.6.5. Deutsch-Josza- und Simon-Algorithmen
  - 10.6.6. Unstrukturierte Suche: Grover's Algorithmus
  - 10.6.7. RSA-Verschlüsselungsmethode
  - 10.6.8. Faktorisierung: Shor's Algorithmus
- 10.7. Semiklassische Theorie der Licht-Materie-Wechselwirkung
  - 10.7.1. Das 2-Niveau-Atom
  - 10.7.2. AC Stark Spaltung
  - 10.7.3. Rabi-Oszillationen
  - 10.7.4. Die dipolare Kraft des Lichts
- 10.8. Quantentheorie der Licht-Materie-Wechselwirkung
  - 10.8.1. Quantenelektromagnetische Feldzustände
  - 10.8.2. Das Jaynes-Cummings-Modell
  - 10.8.3. Das Dekohärenzproblem
  - 10.8.4. Weisskopf-Wigner-Behandlung der spontanen Emission
- 10.9. Quantenkommunikation
  - 10.9.1. Quantenkryptographie: Protokolle BB84 und Ekert91
  - 10.9.2. Bellsche Ungleichungen
  - 10.9.3. Erzeugung von Einzelphotonen
  - 10.9.4. Ausbreitung eines einzelnen Photons
  - 10.9.5. Einzelphotonen-Detektion
- 10.10. Quantencomputer und Simulation
  - 10.10.1. Neutrale Atome in Dipol-Fallen
  - 10.10.2. Quantenelektrodynamik in Hohlräumen
  - 10.10.3. Paul-Ionenkäfig
  - 10.10.4. Supraleitende Qubits



*Ein 100%iges Online-Programm, das es Ihnen ermöglicht, in die Astrophysik und Kosmologie einzutauchen und dabei die innovativsten Multimedia-Inhalte der akademischen Bildung zu nutzen"*

05

# Methodik

Dieses Fortbildungsprogramm bietet eine andere Art des Lernens. Unsere Methodik wird durch eine zyklische Lernmethode entwickelt: **das Relearning**.

Dieses Lehrsystem wird z. B. an den renommiertesten medizinischen Fakultäten der Welt angewandt und wird von wichtigen Publikationen wie dem **New England Journal of Medicine** als eines der effektivsten angesehen.







*Entdecken Sie Relearning, ein System, das das herkömmliche lineare Lernen hinter sich lässt und Sie durch zyklische Lehrsysteme führt: eine Art des Lernens, die sich als äußerst effektiv erwiesen hat, insbesondere in Fächern, die Auswendiglernen erfordern"*

## Fallstudie zur Kontextualisierung aller Inhalte

Unser Programm bietet eine revolutionäre Methode zur Entwicklung von Fähigkeiten und Kenntnissen. Unser Ziel ist es, Kompetenzen in einem sich wandelnden, wettbewerbsorientierten und sehr anspruchsvollen Umfeld zu stärken.

“

*Mit TECH werden Sie eine Art des Lernens erleben, die an den Grundlagen der traditionellen Universitäten auf der ganzen Welt rüttelt"*



*Sie werden Zugang zu einem Lernsystem haben, das auf Wiederholung basiert, mit natürlichem und progressivem Unterricht während des gesamten Lehrplans.*



*Der Student wird durch gemeinschaftliche Aktivitäten und reale Fälle lernen, wie man komplexe Situationen in realen Geschäftsumgebungen löst.*

## Eine innovative und andersartige Lernmethode

Dieses TECH-Programm ist ein von Grund auf neu entwickeltes, intensives Lehrprogramm, das die anspruchsvollsten Herausforderungen und Entscheidungen in diesem Bereich sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene vorsieht. Dank dieser Methodik wird das persönliche und berufliche Wachstum gefördert und ein entscheidender Schritt in Richtung Erfolg gemacht. Die Fallmethode, die Technik, die diesem Inhalt zugrunde liegt, gewährleistet, dass die aktuellste wirtschaftliche, soziale und berufliche Realität berücksichtigt wird.



*Unser Programm bereitet Sie darauf vor, sich neuen Herausforderungen in einem unsicheren Umfeld zu stellen und in Ihrer Karriere erfolgreich zu sein"*

Die Fallmethode ist das von den besten Fakultäten der Welt am häufigsten verwendete Lernsystem. Die Fallmethode wurde 1912 entwickelt, damit Jurastudenten das Recht nicht nur auf der Grundlage theoretischer Inhalte erlernen. Sie bestand darin, ihnen reale komplexe Situationen zu präsentieren, damit sie fundierte Entscheidungen treffen und Werturteile darüber fällen konnten, wie diese zu lösen sind. Sie wurde 1924 als Standardlehrmethode in Harvard etabliert.

Was sollte eine Fachkraft in einer bestimmten Situation tun? Mit dieser Frage konfrontieren wir Sie in der Fallmethode, einer handlungsorientierten Lernmethode. Während des gesamten Programms werden die Studenten mit mehreren realen Fällen konfrontiert. Sie müssen ihr gesamtes Wissen integrieren, recherchieren, argumentieren und ihre Ideen und Entscheidungen verteidigen.

## Relearning Methodology

TECH kombiniert die Methodik der Fallstudien effektiv mit einem 100%igen Online-Lernsystem, das auf Wiederholung basiert und in jeder Lektion 8 verschiedene didaktische Elemente kombiniert.

Wir ergänzen die Fallstudie mit der besten 100%igen Online-Lehrmethode: Relearning.

*Im Jahr 2019 erzielten wir die besten  
Lernergebnisse aller spanischsprachigen  
Online-Universitäten der Welt.*

Bei TECH lernen Sie mit einer hochmodernen Methodik, die darauf ausgerichtet ist, die Führungskräfte der Zukunft zu spezialisieren. Diese Methode, die an der Spitze der weltweiten Pädagogik steht, wird Relearning genannt.

Unsere Universität ist die einzige in der spanischsprachigen Welt, die für die Anwendung dieser erfolgreichen Methode zugelassen ist. Im Jahr 2019 ist es uns gelungen, die Gesamtzufriedenheit unserer Studenten (Qualität der Lehre, Qualität der Materialien, Kursstruktur, Ziele...) in Bezug auf die Indikatoren der besten spanischsprachigen Online-Universität zu verbessern.





In unserem Programm ist das Lernen kein linearer Prozess, sondern erfolgt in einer Spirale (lernen, verlernen, vergessen und neu lernen). Daher wird jedes dieser Elemente konzentrisch kombiniert. Mit dieser Methode wurden mehr als 650.000 Hochschulabsolventen mit beispiellosem Erfolg in so unterschiedlichen Bereichen wie Biochemie, Genetik, Chirurgie, internationales Recht, Managementfähigkeiten, Sportwissenschaft, Philosophie, Recht, Ingenieurwesen, Journalismus, Geschichte, Finanzmärkte und -instrumente fortgebildet. Dies alles in einem sehr anspruchsvollen Umfeld mit einer Studentenschaft mit hohem sozioökonomischem Profil und einem Durchschnittsalter von 43,5 Jahren.

*Das Relearning ermöglicht es Ihnen, mit weniger Aufwand und mehr Leistung zu lernen, sich mehr auf Ihre Spezialisierung einzulassen, einen kritischen Geist zu entwickeln, Argumente zu verteidigen und Meinungen zu kontrastieren: eine direkte Gleichung zum Erfolg.*

Nach den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen der Neurowissenschaften wissen wir nicht nur, wie wir Informationen, Ideen, Bilder und Erinnerungen organisieren, sondern auch, dass der Ort und der Kontext, in dem wir etwas gelernt haben, von grundlegender Bedeutung dafür sind, dass wir uns daran erinnern und es im Hippocampus speichern können, um es in unserem Langzeitgedächtnis zu behalten.

Auf diese Weise sind die verschiedenen Elemente unseres Programms im Rahmen des so genannten Neurocognitive Context-Dependent E-Learning mit dem Kontext verbunden, in dem der Teilnehmer seine berufliche Praxis entwickelt.

Dieses Programm bietet die besten Lehrmaterialien, die sorgfältig für Fachleute aufbereitet sind:



#### Studienmaterial

Alle didaktischen Inhalte werden von den Fachleuten, die den Kurs unterrichten werden, speziell für den Kurs erstellt, so dass die didaktische Entwicklung wirklich spezifisch und konkret ist.

Diese Inhalte werden dann auf das audiovisuelle Format angewendet, um die Online-Arbeitsmethode von TECH zu schaffen. All dies mit den neuesten Techniken, die in jedem einzelnen der Materialien, die dem Studenten zur Verfügung gestellt werden, qualitativ hochwertige Elemente bieten.



#### Meisterklassen

Die Nützlichkeit der Expertenbeobachtung ist wissenschaftlich belegt.

Das sogenannte Learning from an Expert festigt das Wissen und das Gedächtnis und schafft Vertrauen für zukünftige schwierige Entscheidungen.



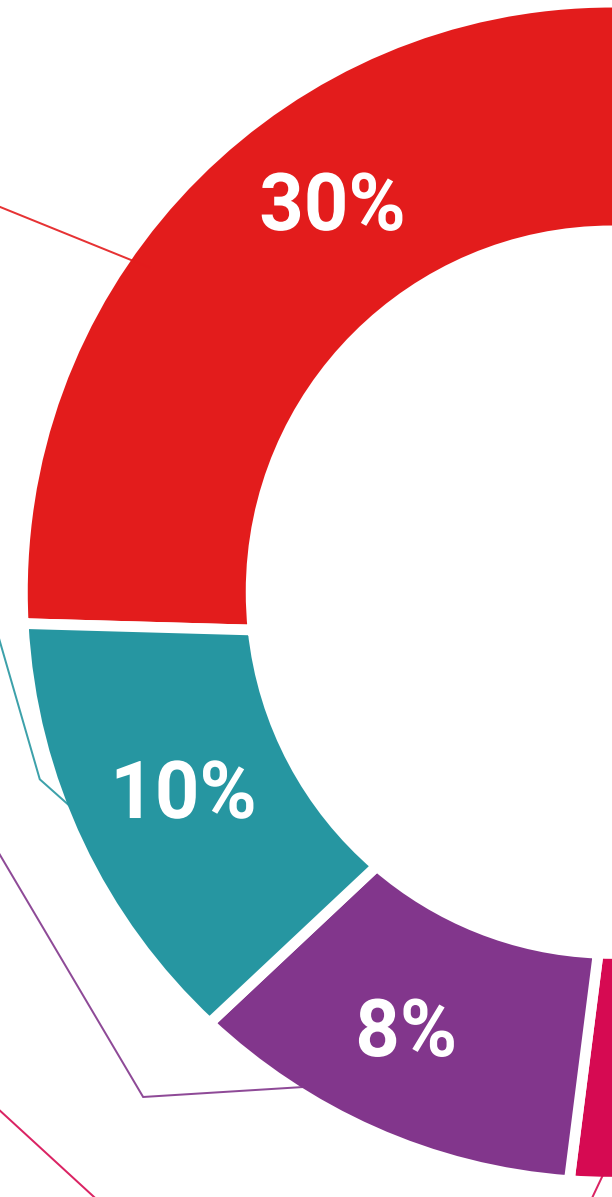
#### Übungen für Fertigkeiten und Kompetenzen

Sie werden Aktivitäten durchführen, um spezifische Kompetenzen und Fertigkeiten in jedem Fachbereich zu entwickeln. Übungen und Aktivitäten zum Erwerb und zur Entwicklung der Fähigkeiten und Fertigkeiten, die ein Spezialist im Rahmen der Globalisierung, in der wir leben, entwickeln muss.



#### Weitere Lektüren

Aktuelle Artikel, Konsensdokumente und internationale Leitfäden, u. a. In der virtuellen Bibliothek von TECH hat der Student Zugang zu allem, was er für seine Fortbildung benötigt.





#### Case Studies

Sie werden eine Auswahl der besten Fallstudien vervollständigen, die speziell für diese Qualifizierung ausgewählt wurden. Die Fälle werden von den besten Spezialisten der internationalen Szene präsentiert, analysiert und betreut.



#### Interaktive Zusammenfassungen

Das TECH-Team präsentiert die Inhalte auf attraktive und dynamische Weise in multimedialen Pillen, die Audios, Videos, Bilder, Diagramme und konzeptionelle Karten enthalten, um das Wissen zu vertiefen.

Dieses einzigartige Bildungssystem für die Präsentation multimedialer Inhalte wurde von Microsoft als "Europäische Erfolgsgeschichte" ausgezeichnet.



#### Testing & Retesting

Die Kenntnisse des Studenten werden während des gesamten Programms regelmäßig durch Bewertungs- und Selbsteinschätzungsaktivitäten und -übungen beurteilt und neu bewertet, so dass der Student überprüfen kann, wie er seine Ziele erreicht.



06

# Qualifizierung

Der Privater Masterstudiengang in Quantenphysik garantiert neben der präzisesten und aktuellsten Fortbildung auch den Zugang zu einem von der TECH Technologischen Universität ausgestellten Diplom.





“

*Schließen Sie dieses Programm erfolgreich ab  
und erhalten Sie Ihren Universitätsabschluss  
ohne lästige Reisen oder Formalitäten”*

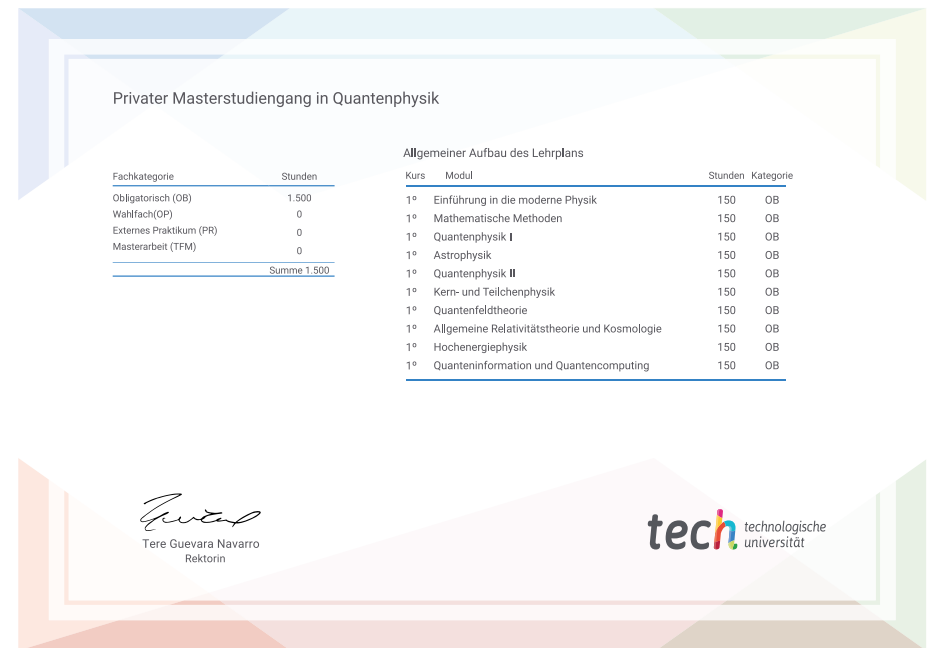
Dieser **Privater Masterstudiengang in Quantenphysik** enthält das vollständigste und aktuellste Programm auf dem Markt.

Sobald der Student die Prüfungen bestanden hat, erhält er/sie per Post\* mit Empfangsbestätigung das entsprechende Diplom, ausgestellt von der **TECH Technologischen Universität**.

Das von **TECH Technologische Universität** ausgestellte Diplom drückt die erworbene Qualifikation aus und entspricht den Anforderungen, die in der Regel von Stellenbörsen, Auswahlprüfungen und Berufsbildungsausschüssen verlangt werden.

Titel: **Privater Masterstudiengang in Quantenphysik**

Anzahl der offiziellen Arbeitsstunden: **1.500 Std.**



\*Haager Apostille. Für den Fall, dass der Student die Haager Apostille für sein Papierdiplom beantragt, wird TECH EDUCATION die notwendigen Vorkehrungen treffen, um diese gegen eine zusätzliche Gebühr zu beschaffen.

zukunft

gesundheit vertrauen menschen  
erziehung information tutoren  
garantie akkreditierung unterricht  
institutionen technologie lernen  
gemeinschaft verpflichtung  
persönliche betreuung innovation  
wissen gegenwart qualität  
online-Ausbildung  
entwicklung instituten  
virtuelles Klassenzimmer

**tech** technologische  
universität

## Privater Masterstudiengang Quantenphysik

- › Modalität: online
- › Dauer: 12 Monate
- › Qualifizierung: TECH Technologische Universität
- › Aufwand: 16 Std./Woche
- › Zeitplan: in Ihrem eigenen Tempo
- › Prüfungen: online

# Privater Masterstudiengang Quantenphysik