

# Mastère Spécialisé Physique Quantique



**tech** université  
technologique

## Mastère Spécialisé Physique Quantique

- » Modalité: en ligne
- » Durée: 12 mois
- » Qualification: TECH Université Technologique
- » Horaire: à votre rythme
- » Examens: en ligne

Accès au site web: [www.techtitute.com/fr/ingenierie/master/master-physique-quantique](http://www.techtitute.com/fr/ingenierie/master/master-physique-quantique)

# Sommaire

01

Présentation

---

*page 4*

02

Objectifs

---

*page 8*

03

Direction de la formation

---

*page 14*

04

Compétences

---

*page 18*

05

Structure et contenu

---

*page 18*

06

Méthodologie

---

*page 34*

07

Diplôme

---

*page 42*



# 01

# Présentation

Aujourd'hui, il faut des ingénieurs capables de transférer les connaissances de la physique à la technologie. Cette fusion a donné naissance, par exemple, au télescope James Webb ou à l'accélérateur de particules qui a permis de découvrir le boson de Higgs. Ainsi, en ce siècle, la compréhension de l'asymétrie entre matière et antimatière, la recherche d'exoplanètes ou de trous noirs supermassifs continuent d'être un grand défi pour la physique quantique. C'est pourquoi TECH a créé ce diplôme 100% en ligne avec une approche théorique-pratique qui permettra aux diplômés d'approfondir l'astrophysique, la physique nucléaire ou la mécanique quantique. De plus, les étudiants ont accès à un support pédagogique innovant, accessible 24 heures sur 24 depuis n'importe quel appareil doté d'une connexion Internet.





“

*Un Mastère Spécialisé 100% en ligne, avec un syllabus disponible 24 heures sur 24, pour que vous puissiez progresser quand vous le souhaitez dans les concepts clés de la Physique Quantique"*

Le domaine de la recherche en Physique Quantique offre un large éventail de lignes de développement avec un grand potentiel pour les professionnels de l'ingénierie qui décident d'entrer dans ce champ d'exploration et de découverte dans la production d'énergie, les atomes ultra-froids, les ions piégés ou la photonique.

Les avancées récentes dans ce domaine ont ouvert de multiples voies d'étude et d'action dans d'autres disciplines telles que l'astrophysique, la cosmologie, la chimie, la biologie, la médecine ou l'intelligence artificielle: des possibilités aussi vastes que l'univers lui-même. C'est pourquoi TECH a conçu ce Mastère Spécialisé, qui permettra aux diplômés d'atteindre, en seulement 12 mois, les connaissances les plus avancées sur les processus physiques les plus courants de la physique planétaire et solaire, les études de Paul Dirac ou Richard Feynman et la théorie quantique des champs.

Tout cela, en outre, à travers un programme enseigné exclusivement en ligne, qui leur permettra de se plonger, quand ils le souhaitent, dans les équations d'Einstein, la solution de Schwarzschild, la matière et les énergies sombres ou la thermodynamique de l'univers primitif. Les études de cas les aideront également à intégrer cette pratique dans leur travail quotidien.

Cette institution académique offre donc une excellente opportunité aux spécialistes de l'ingénierie qui souhaitent faire progresser leur carrière grâce à une formation universitaire de haute qualité, compatible avec leurs responsabilités professionnelles et/ou personnelles. Tout ce dont ils ont besoin, c'est d'un appareil électronique avec une connexion internet pour pouvoir consulter le contenu hébergé sur la plateforme virtuelle. Sans présence en classe ni horaires fixes, ce programme donne également aux étudiants la liberté de répartir la charge d'enseignement en fonction de leurs besoins.

Ce **Mastère Spécialisé en Physique Quantique** contient le programme académique le plus complet et le plus actuel du marché. Les principales caractéristiques sont les suivantes:

- ♦ Le développement d'études de cas présentées par des experts en physique
- ♦ Les contenus graphiques, schématiques et éminemment pratiques avec lesquels ils sont conçus fournissent des informations scientifiques et sanitaires essentielles à la pratique professionnelle
- ♦ Des exercices où le processus d'auto-évaluation peut être réalisé pour améliorer l'apprentissage
- ♦ Il met l'accent sur les méthodologies innovantes
- ♦ Des cours théoriques, des questions à l'expert, des forums de discussion sur des sujets controversés et un travail de réflexion individuel
- ♦ La possibilité d'accéder aux contenus depuis n'importe quel appareil fixe ou portable doté d'une connexion internet



*Grâce aux connaissances acquises dans ce Mastère Spécialisé, vous serez en mesure de contribuer à la résolution des problèmes de la matière noire"*

“

*La bibliothèque de ressources multimédias de ce cours vous permettra de connaître les principales contributions à la Physique Quantique de Richard Feynman, Paul Dirac, Peter Higgs et Schrödinger"*

Le corps enseignant du programme englobe des spécialistes réputés dans le domaine et qui apportent à ce programme l'expérience de leur travail, ainsi que des spécialistes reconnus dans de grandes sociétés et des universités prestigieuses.

Son contenu multimédia, développé avec les dernières technologies éducatives, permettra aux professionnels d'apprendre de manière située et contextuelle, c'est-à-dire dans un environnement simulé qui leur fournira une formation immersive programmée pour les entraîner dans des situations réelles.

La conception de ce programme est axée sur l'apprentissage par les problèmes, grâce auquel les professionnels devront essayer de résoudre les différentes situations de pratique professionnelle auxquelles ils seront confrontés tout au long de l'année universitaire. À cette fin, ils seront aidés par un système innovant de vidéos interactives produites par des experts reconnus.

*Cliquez maintenant et entrez dans un diplôme qui vous permettra de faire progresser votre carrière professionnelle en tant qu'ingénieur dans le domaine de la Physique Quantique.*

*Inscrivez-vous à un Mastère Spécialisé qui vous permettra de résoudre les principaux problèmes de la mécanique quantique.*

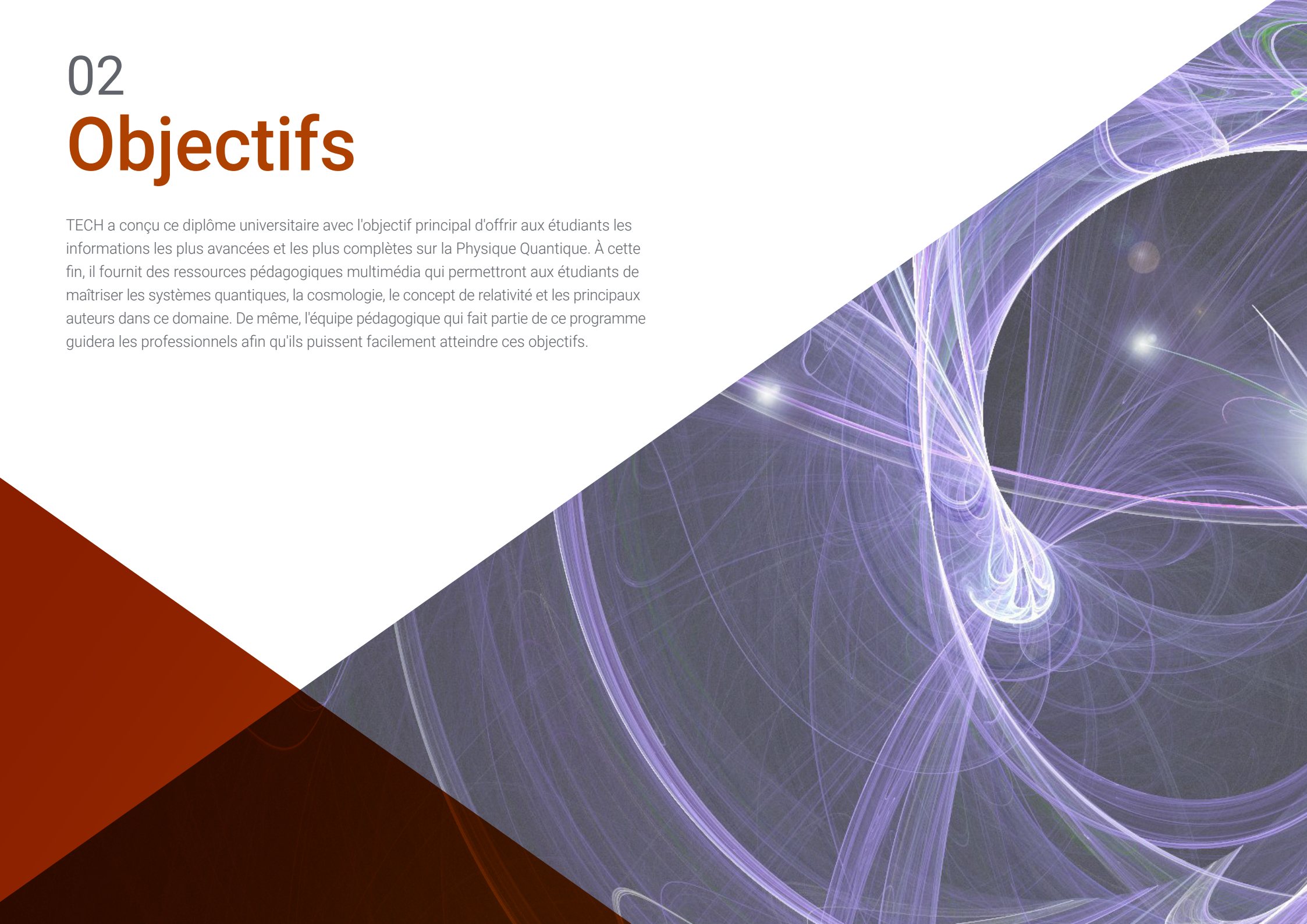




# 02

# Objectifs

TECH a conçu ce diplôme universitaire avec l'objectif principal d'offrir aux étudiants les informations les plus avancées et les plus complètes sur la Physique Quantique. À cette fin, il fournit des ressources pédagogiques multimédia qui permettront aux étudiants de maîtriser les systèmes quantiques, la cosmologie, le concept de relativité et les principaux auteurs dans ce domaine. De même, l'équipe pédagogique qui fait partie de ce programme guidera les professionnels afin qu'ils puissent facilement atteindre ces objectifs.





“

*L'objectif de TECH, c'est vous. Faites progresser votre carrière d'ingénieur grâce aux connaissances les plus récentes sur le fonctionnement de la supersymétrie, des cordes et des dimensions supplémentaires"*









## Objectifs spécifiques

### Module 1. Introduction à la Physique moderne

- Identifier et évaluer la présence de processus physiques dans la vie quotidienne et dans des scénarios spécifiques (applications médicales, comportement des fluides, optique ou radioprotection) et communs (électromagnétisme, thermodynamique ou mécanique classique)
- Être capable d'utiliser des outils informatiques pour résoudre et modéliser des problèmes physiques
- Se familiariser avec les nouveaux développements et les avancées dans le domaine de la physique, tant théorique qu'expérimentale
- Développer des compétences en communication, afin de rédiger des rapports et des documents, ou d'en faire des présentations efficaces

### Module 2. Méthodes mathématiques

- Acquérir les notions de base des espaces métriques et de Hilbert
- Acquérir des connaissances sur les caractéristiques des opérateurs linéaires et la théorie de Sturm-Liouville
- Connaître la théorie des groupes, la représentation des groupes, le calcul tensoriel et ses applications à la physique

### Module 3. Physique Quantique I

- Appliquer les concepts fondamentaux de la Physique Quantique et leur articulation dans les lois, les théories, et les théories de la Physique Quantique
- Se familiariser avec les processus physiques les plus courants en Physique Quantique
- Connaître les postulats de la Physique Quantique
- Savoir appliquer les outils mathématiques caractéristiques de la Physique Quantique pour résoudre des problèmes de mécanique quantique

#### Module 4. Astrophysique

- ♦ Comprendre et utiliser les méthodes mathématiques et numériques couramment utilisées en astrophysique
- ♦ Se familiariser avec les nouveaux développements et les avancées dans le domaine de l'astrophysique, tant sur le plan théorique qu'expérimental
- ♦ Comprendre les processus physiques les plus courants en cosmologie
- ♦ Comprendre les processus physiques les plus courants en physique planétaire et solaire

#### Module 5. Physique Quantique II

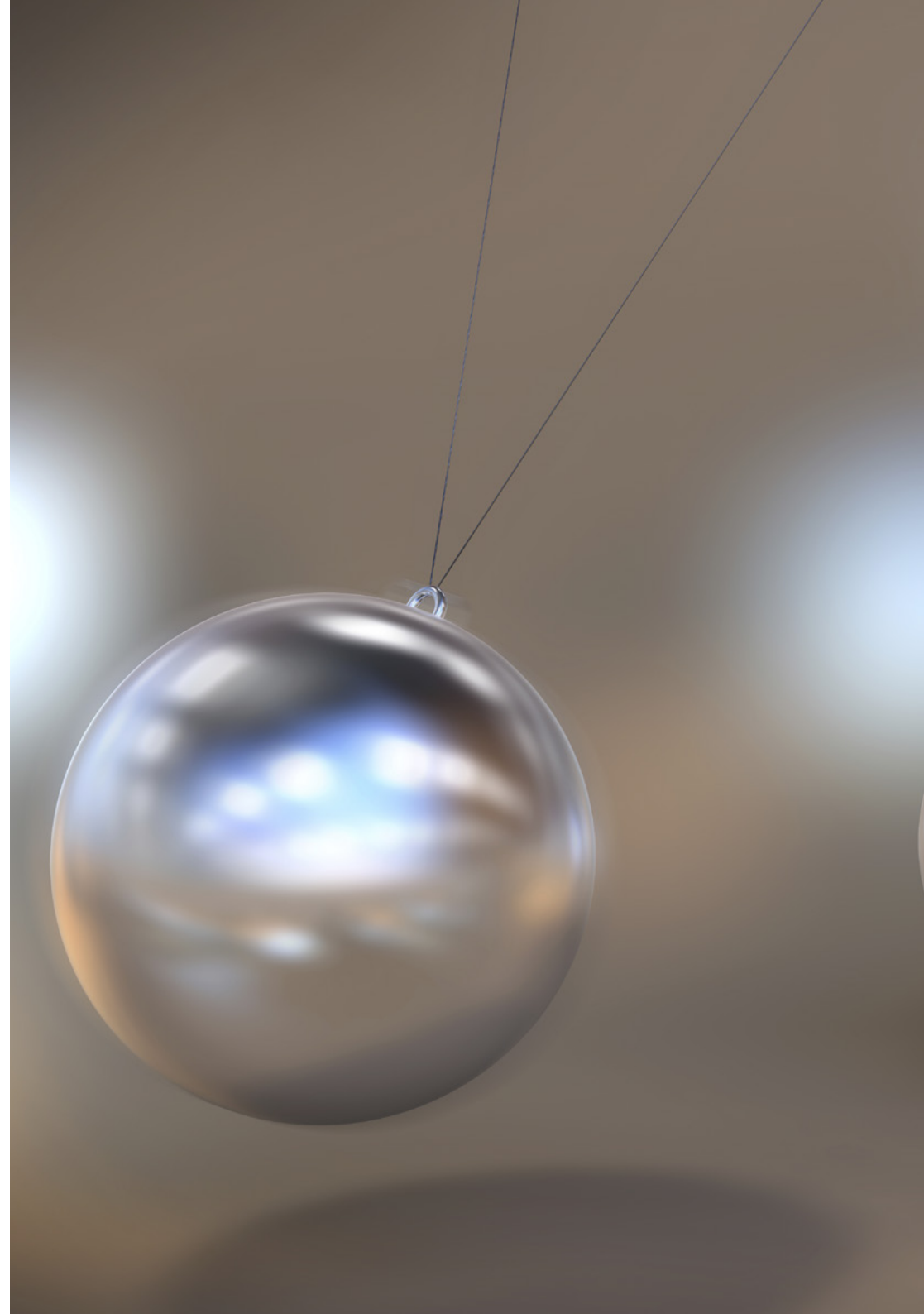
- ♦ Connaître les modèles atomiques avec la méthode variationnelle
- ♦ Maîtriser le moment angulaire intrinsèque
- ♦ Comprendre la théorie des perturbations dépendant du temps
- ♦ Comprendre et savoir appliquer la méthode WKB

#### Module 6. Physique nucléaire et physique des particules

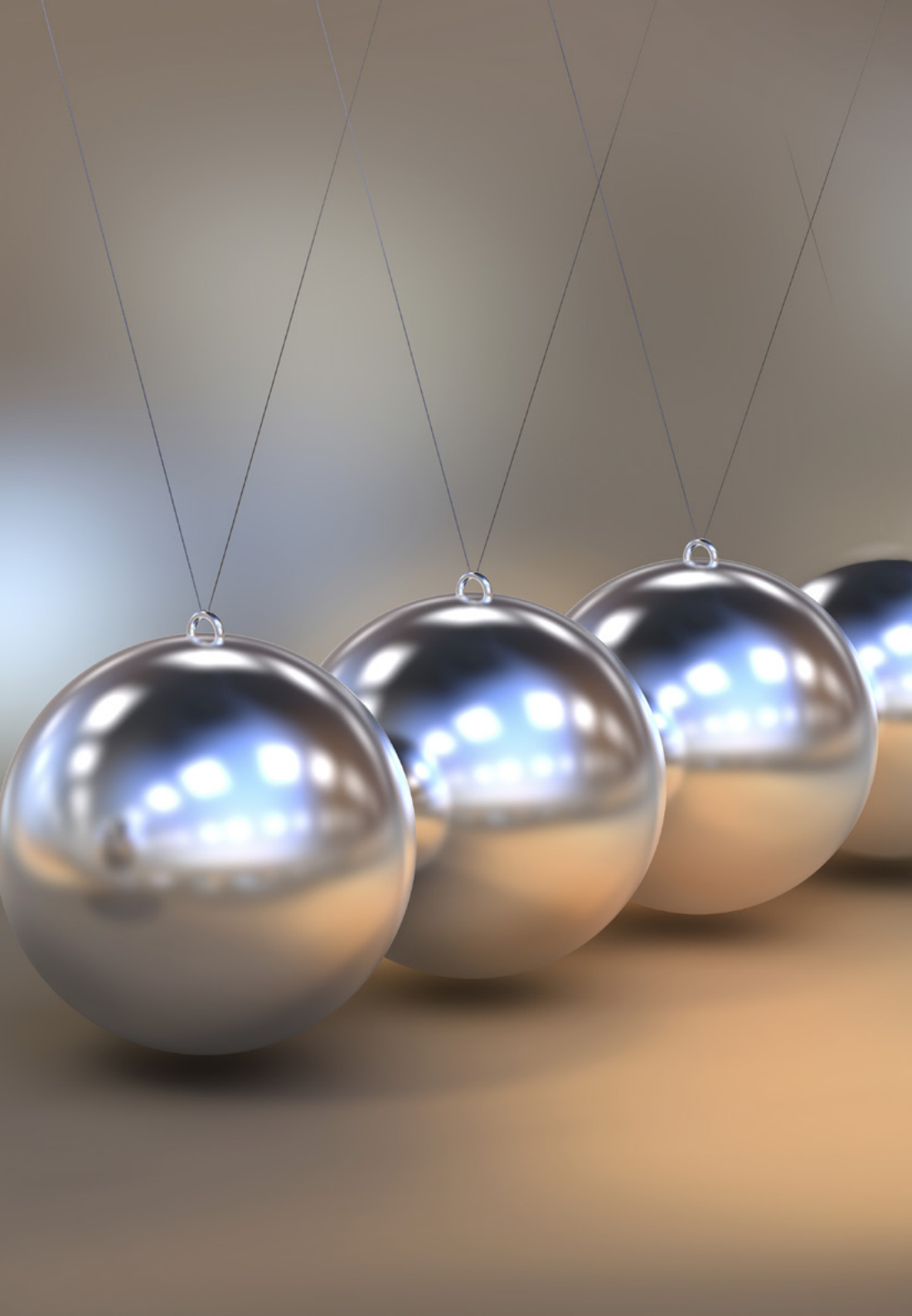
- ♦ Obtenir des connaissances de base en physique nucléaire et en physique des particules
- ♦ Être capable de distinguer les différents processus de désintégration nucléaire
- ♦ Connaître les diagrammes de Feynman, leur utilisation et savoir les dessiner
- ♦ Savoir calculer les collisions relativistes

#### Module 7. Théorie quantique des champs

- ♦ Acquérir les notions de base de la théorie quantique des champs
- ♦ Connaître les principaux problèmes de quantification de certains champs et savoir comment ils sont résolus
- ♦ Savoir calculer les amplitudes des interactions entre particules à partir des diagrammes de Feynman
- ♦ Connaître les symétries C, P, T, les violations de symétrie les plus courantes et le théorème de conservation de la symétrie C







### **Module 8. Relativité générale et cosmologie**

- ◆ Acquérir les notions de base de la relativité générale
- ◆ Appliquer les connaissances du calcul et de l'algèbre à l'étude de la gravité à l'aide de la théorie de la relativité générale
- ◆ Acquérir la connaissance des équations d'Einstein sous forme tensorielle
- ◆ Acquérir des connaissances de base sur la cosmologie et l'univers primitif

### **Module 9. Physique des hautes énergies**

- ◆ Appliquer les connaissances de la théorie quantique des champs et les mathématiques de la théorie des groupes et des représentations à la physique des particules élémentaires
- ◆ Connaissance des mécanismes de rupture spontanée de symétrie et du mécanisme de Higgs
- ◆ Avoir des connaissances sur la physique des neutrinos, leurs masses et leurs oscillations
- ◆ Connaître les règles de Feynman pour l'électrodynamique quantique, la chromodynamique quantique et l'interaction faible
- ◆ Acquérir les notions de base de la théorie de Yang-Millis

### **Module 10. Information et informatique quantique**

- ◆ Acquérir les notions de base de l'information classique et quantique
- ◆ Identifier les algorithmes les plus courants pour le cryptage quantique de l'information
- ◆ Acquérir une compréhension de base des théories semi-quantiques et quantiques de l'interaction lumière-matière
- ◆ Connaître les implémentations les plus courantes de l'information quantique



00

# Direction de la formation

Ce programme académique dispose du personnel enseignant le plus spécialisé sur le marché de l'éducation actuel. Il s'agit des spécialistes sélectionnés par TECH pour développer l'ensemble de l'itinéraire. Ainsi, sur la base de leur propre expérience et des données les plus récentes, ils ont conçu le contenu le plus actuel qui offre une garantie de qualité dans un sujet aussi pertinent.



“

*TECH vous offre le personnel enseignant le plus spécialisé dans le domaine d'étude. Inscrivez-vous maintenant et profitez de la qualité que vous méritez”*

## Directeur invité international

Le Docteur Philipp Kammerlander est un expert expérimenté en **Physique Quantique**, très apprécié par les membres de la communauté académique internationale. Depuis qu'il a rejoint le **Quantum Center** de Zurich en tant que *Public Program Officer*, il a joué un rôle crucial dans la création de **réseaux de collaboration** entre les institutions impliquées dans la **science** et la **technologie quantiques**. Sur la base de ses résultats probants, il a pris le rôle de **Directeur Exécutif** de cette institution.

Dans le cadre de cette fonction professionnelle, l'expert a coordonné diverses activités telles que des **ateliers et des conférences**, en collaboration avec différents départements de l'Institut Fédéral Suisse de Technologie de Zurich (ETH). Il a également contribué à la **collecte de fonds** et à la création de structures internes plus durables pour soutenir le développement rapide des fonctions du centre qu'il représente.

En outre, il s'intéresse à des concepts novateurs tels que la **théorie de l'information quantique** et le **traitement de l'information**. Sur ces sujets, il a conçu des programmes d'études et dirigé leur développement devant plus de 200 étudiants. Grâce à son excellence dans ces domaines, il a reçu des distinctions notables telles que le **Golden Owl Award** et le **VMP Assistant Award** pour son engagement et ses compétences pédagogiques.

Outre ses travaux au Quantum Center et à l'ETH Zurich, ce chercheur possède une vaste expérience dans l'industrie technologique. Il a travaillé comme **ingénieur logiciel indépendant**, concevant et testant des **applications d'analyse commerciale** basées sur la **norme ACTUS** pour les **contrats intelligents**. Il a également été consultant chez abaQon AG. Son parcours diversifié et ses réalisations significatives dans le monde universitaire et dans l'industrie soulignent sa polyvalence et son dévouement à l'innovation et à l'éducation dans le domaine de la science quantique.





## Dr. Kammerlander, Philipp

---

- Directeur Exécutif du Quantum Center Zurich, Suisse
- Professeur à l'Institut Fédéral de Technologie de Zurich, Suisse
- Gestionnaire de programmes publics entre différentes institutions suisses
- Ingénieur Logiciel Indépendant chez Ariadne Business Analytics AG
- Consultant chez abaQon AG
- Doctorat en Physique Théorique et Théorie de l'Information Quantique à l'ETH Zurich
- Master en Physique à l'ETH de Zurich

“

*Grâce à TECH, vous pourrez apprendre avec les meilleurs professionnels du monde”*

03

# Compétences

La structure de ce Mastère Spécialisé a été créée dans le but d'améliorer les compétences et les aptitudes des professionnels de l'ingénierie dans le domaine de la Physique Quantique. Ainsi, à l'issue des 1.500 heures d'enseignement, les diplômés seront en mesure d'appliquer les concepts acquis sur la théorie des champs quantiques, les lois physiques au niveau subatomique ou de développer les différentes formulations mathématiques présentées dans ce programme. Les simulations d'études de cas seront d'une grande utilité pour les professionnels, qui pourront intégrer les méthodologies présentées dans leur pratique quotidienne.





“

*Cet enseignement académique vous montrera d'un point de vue théorique et pratique les possibilités d'application des lois de la physique et l'étude de la Voie lactée"*





## Compétences générales

---

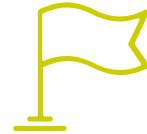
- Savoir comment l'univers fonctionne à l'échelle cosmologique et stellaire
- Savoir appliquer la solution de Schwarzschild et ses conséquences
- Comprendre les conséquences du principe d'équivalence
- Déterminer la masse d'un système binaire

“

*Boostez votre carrière professionnelle en maîtrisant les principaux postulats de la mécanique quantique avec ce diplôme. Inscrivez-vous maintenant"*







## Compétences spécifiques

---

- ◆ Développer un esprit ouvert et critique, la clé pour comprendre les lois physiques au niveau subatomique
- ◆ Comprendre les effets des ondes gravitationnelles sur la matière
- ◆ Utiliser des modèles atomiques avec la méthode variationnelle
- ◆ Appliquer les postulats de la mécanique quantique



# 04

# Structure et contenu

TECH a créé un Mastère Spécialisé en Physique Quantique basé sur les connaissances les plus actuelles et les plus avancées dans ce domaine. Ainsi, tout au long des 10 modules qui composent le programme d'études, les professionnels de l'ingénierie pourront se plonger dans l'astrophysique, la dynamique de la mécanique quantique, les problèmes de la matière noire ou les dernières avancées en cosmologie. En outre, grâce au système *Relearning*, les diplômés pourront progresser dans les contenus de manière plus naturelle, en réduisant même les longues heures d'étude qui sont si courantes dans d'autres méthodologies.





“

*Des études de cas pratiques vous permettent  
d'entrer facilement dans les règles de Feynman”*

## Module 1. Introduction à la Physique moderne

- 1.1. Introduction à la physique médicale
  - 1.1.1. Comment appliquer la physique à la médecine
  - 1.1.2. Énergie des particules chargées dans les tissus
  - 1.1.3. Photons à travers les tissus
  - 1.1.4. Applications
- 1.2. Introduction à la physique des particules
  - 1.2.1. Introduction et objectifs
  - 1.2.2. Particules quantifiées
  - 1.2.3. Forces et charges fondamentales
  - 1.2.4. Détection des particules
  - 1.2.5. Classification des particules fondamentales et modèle standard
  - 1.2.6. Au-delà du modèle standard
  - 1.2.7. Théories actuelles de la généralisation
  - 1.2.8. Expériences à haute énergie
- 1.3. Les accélérateurs de particules
  - 1.3.1. Procédés des accélérateurs de particules
  - 1.3.2. Accélérateurs linéaires
  - 1.3.3. Cyclotrons
  - 1.3.4. Synchrotrons
- 1.4. Introduction à la physique nucléaire
  - 1.4.1. Stabilité nucléaire
  - 1.4.2. Nouvelles méthodes de fission nucléaire
  - 1.4.3. La fusion nucléaire
  - 1.4.4. Synthèse des éléments superlourds
- 1.5. Introduction à l'astrophysique
  - 1.5.1. Le système solaire
  - 1.5.2. Naissance et mort d'une étoile
  - 1.5.3. L'exploration de l'espace
  - 1.5.4. Exoplanètes
- 1.6. Introduction à la cosmologie
  - 1.6.1. Calcul des distances en astronomie
  - 1.6.2. Calcul des vitesses en astronomie
  - 1.6.3. Matière noire et énergie noire
  - 1.6.4. L'expansion de l'univers
  - 1.6.5. Les ondes gravitationnelles
- 1.7. Géophysique et physique de l'atmosphère
  - 1.7.1. Géophysique
  - 1.7.2. Physique de l'atmosphère
  - 1.7.3. Météorologie
  - 1.7.4. Changement climatique
- 1.8. Introduction à la physique de la matière
  - 1.8.1. États agrégés de la matière
  - 1.8.2. Allotropes de la matière
  - 1.8.3. Solides cristallins
  - 1.8.4. Matière molle
- 1.9. Introduction à l'informatique quantique
  - 1.9.1. Introduction au monde quantique
  - 1.9.2. Qubits
  - 1.9.3. Qubits multiples
  - 1.9.4. Portes logiques
  - 1.9.5. Programmes quantiques
  - 1.9.6. Ordinateurs quantiques
- 1.10. Introduction à la cryptographie quantique
  - 1.10.1. L'information quantique
  - 1.10.2. L'information quantique
  - 1.10.3. Le chiffrement quantique
  - 1.10.4. Protocoles en cryptographie quantique



## Module 2. Méthodes mathématiques

- 2.1. Espaces préhilbertiens
  - 2.1.1. Espaces vectoriels
  - 2.1.2. Produit scalaire hermétique positif
  - 2.1.3. Module d'un vecteur
  - 2.1.4. Inégalité de Schwartz
  - 2.1.5. Inégalité de Minkowsky
  - 2.1.6. Orthogonalité
  - 2.1.7. Notation de Dirac
- 2.2. Topologie des espaces métriques
  - 2.2.1. Définition de la distance
  - 2.2.2. Définition de l'espace métrique
  - 2.2.3. Éléments de la topologie de l'espace métrique
  - 2.2.4. Séquences convergentes
  - 2.2.5. Séquences de Cauchy
  - 2.2.6. Espace métrique complet
- 2.3. Espaces de Hilbert
  - 2.3.1. Espace de Hilbert: définition
  - 2.3.2. Base hilbertienne
  - 2.3.3. Schrödinger vs. Heisenberg. Intégrale de Lebesgue
  - 2.3.4. Formes continues d'un espace de Hilbert
  - 2.3.5. Changement de matrice de base
- 2.4. Opérations linéaires
  - 2.4.1. Opérateurs linéaires: concepts de base
  - 2.4.2. Opérateur inverse
  - 2.4.3. Opérateur adjoint
  - 2.4.4. Opérateur auto-attaché ou observable
  - 2.4.5. Opérateur défini positif
  - 2.4.6. Opérateur anti-unitaire
  - 2.4.6. Opérateur anti-unitaire
  - 2.4.7. Projecteur
- 2.5. Théorie de Sturm-Liouville
  - 2.5.1. Théorèmes des valeurs propres
  - 2.5.2. Théorèmes des vecteurs propres
  - 2.5.3. Problème de Sturm-Liouville
  - 2.5.4. Théorèmes importants pour la théorie de Sturm-Liouville
- 2.6. Introduction à la théorie des groupes
  - 2.6.1. Définition et caractéristiques des groupes
  - 2.6.2. Symétries
  - 2.6.3. Étude des groupes  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  et  $SU(N)$
  - 2.6.4. Algèbre de Lie
  - 2.6.5. Groupes et Physique Quantique
- 2.7. Introduction aux représentations
  - 2.7.1. Définitions
  - 2.7.2. Représentation fondamentale
  - 2.7.3. Représentation adjointe
  - 2.7.4. Représentation unitaire
  - 2.7.5. Produit de représentations
  - 2.7.6. Tables de Young
  - 2.7.7. Théorème d'Okubo
  - 2.7.8. Applications à la physique des particules
- 2.8. Introduction aux tenseurs
  - 2.8.1. Définition du tenseur covariant / contravariant
  - 2.8.2. Delta de Kronecker
  - 2.8.3. Tenseur de Levi-Civita
  - 2.8.4. Étude de  $SO(N)$  /  $SO(3)$
  - 2.8.5. Étude de  $SU(N)$
  - 2.8.6. Relation entre les représentations du tenseur /
- 2.9. Théorie des groupes appliquée à la physique
  - 2.9.1. Groupe de translations
  - 2.9.2. Groupe de Lorentz
  - 2.9.3. Groupes discrets
  - 2.9.4. Groupes continus

- 2.10. Représentations et physique des particules
  - 2.10.1. Représentations des groupes  $SU(N)$
  - 2.10.2. Représentations fondamentales
  - 2.10.3. Multiplication de représentations
  - 2.10.4. Théorème d'Okubo et *Eightfold Ways*

### Module 3. Physique Quantique

- 3.1. Origines de la Physique Quantique
  - 3.1.1. Rayonnement du corps noir
  - 3.1.2. Effet photoélectrique
  - 3.1.3. L'effet Compton
  - 3.1.4. Spectres et modèles atomiques
  - 3.1.5. Le principe d'exclusion de Pauli
    - 3.1.5.1. Effet Zeeman
    - 3.1.5.2. Expérience de Stern-Gerlach
  - 3.1.6. La longueur d'onde de De Broglie et l'expérience de la double fente
- 3.2. Formulation mathématique
  - 3.2.1. Espace de Hilbert
  - 3.2.2. Nomenclature de Dirac: Bra - ket
  - 3.2.3. Produit interne et produit externe
  - 3.2.4. Opérateurs linéaires
  - 3.2.5. Opérateurs hermétiques et diagonalisation
  - 3.2.6. Addition et produit tensoriel
  - 3.2.7. Densité matricielle
- 3.3. Postulats de la mécanique quantique
  - 3.3.1. Postulat 1: définition de l'état
  - 3.3.2. Postulat 2: définition des observables
  - 3.3.3. Postulat 3: définition des mesures
  - 3.3.4. Postulat 4: probabilité des mesures
  - 3.3.5. Postulat 5: dynamique





- 3.4. Application des postulats de la mécanique quantique
  - 3.4.1. Probabilité des résultats. Statistiques
  - 3.4.2. L'indétermination
  - 3.4.3. Évolution temporelle des valeurs attendues
  - 3.4.4. Compatibilité et commutation des observables
  - 3.4.5. Matrices de Pauli
- 3.5. Dynamique de la mécanique quantique
  - 3.5.1. Représentation des positions
  - 3.5.2. Représentation du momentum
  - 3.5.3. Équation de Schrödinger
  - 3.5.4. Théorème d'Ehrenfest
  - 3.5.5. Théorème de Virial
- 3.6. Barrières de potentiel
  - 3.6.1. Puits carré infini
  - 3.6.2. Puits carré fini
  - 3.6.3. Étape potentielle
  - 3.6.4. Potentiel delta
  - 3.6.5. Effet tunnel
  - 3.6.6. Particule libre
- 3.7. Oscillateur harmonique simple quantique unidimensionnel
  - 3.7.1. Analogie avec la mécanique classique
  - 3.7.2. Hamiltonien et valeurs propres de l'énergie
  - 3.7.3. Méthode d'analyse
  - 3.7.4. États "flous"
  - 3.7.5. États cohérents
- 3.8. Opérateurs et observables tridimensionnels
  - 3.8.1. Révision des notions de calcul multivariable
  - 3.8.2. Opérateur de position
  - 3.8.3. Opérateur de quantité de mouvement linéaire
  - 3.8.4. Moment angulaire orbital
  - 3.8.5. Opérateurs en échelle
  - 3.8.6. Hamiltonien

- 3.9. Valeurs propres et fonctions propres tridimensionnelles
  - 3.9.1. Opérateur de position
  - 3.9.2. Opérateur de quantité de mouvement linéaire
  - 3.9.3. Équation angulaire
  - 3.9.4. Équation angulaire
- 3.10. Barrières de potentiel tridimensionnelles
  - 3.10.1. Particule libre
  - 3.10.2. Particule dans une boîte
  - 3.10.3. Potentiels centraux et équation radiale
  - 3.10.4. Puits sphérique infini
  - 3.10.5. Atome d'hydrogène
  - 3.10.6. Oscillateur harmonique tridimensionnel

## Module 4. Astrophysique

- 4.1. Introduction
  - 4.1.1. Brève histoire de l'astrophysique
  - 4.1.2. Instrumentation
  - 4.1.3. Échelle des magnitudes d'observation
  - 4.1.4. Le calcul des distances astronomiques
  - 4.1.5. L'indice de couleur
- 4.2. Les raies spectrales
  - 4.2.1. Introduction historique
  - 4.2.2. Les lois de Kirchhoff
  - 4.2.3. Relation entre le spectre et la température
  - 4.2.4. L'effet Doppler
  - 4.2.5. Spectrographe
- 4.3. Étude du champ de rayonnement
  - 4.3.1. Définitions préliminaires
  - 4.3.2. Opacité
  - 4.3.3. Profondeur optique
  - 4.3.4. Sources microscopiques d'opacité
  - 4.3.5. Opacité totale
  - 4.3.6. Extinction
  - 4.3.7. Structure des raies spectrales
- 4.4. Étoiles
  - 4.4.1. Classification des étoiles
  - 4.4.2. Méthodes de détermination de la masse d'une étoile
  - 4.4.3. Les étoiles binaires
  - 4.4.4. Classification des étoiles binaires
  - 4.4.5. Détermination des masses d'un système binaire
- 4.5. Durée de vie des étoiles
  - 4.5.1. Caractéristiques d'une étoile
  - 4.5.2. Naissance d'une étoile
  - 4.5.3. Vie d'une étoile. Diagrammes de Hertzsprung - Russell
  - 4.5.4. La mort d'une étoile
- 4.6. La mort des étoiles
  - 4.6.1. Les naines blanches
  - 4.6.2. Supernovae
  - 4.6.3. Les étoiles à neutrons
  - 4.6.4. Les trous noirs
- 4.7. Étude de la Voie lactée
  - 4.7.1. Forme et dimensions de la Voie lactée
  - 4.7.2. La matière noire
  - 4.7.3. Le phénomène de lentille gravitationnelle
  - 4.7.4. Les particules massives en interaction faible
  - 4.7.5. Le disque et le halo de la Voie lactée
  - 4.7.6. Structure spiralée de la Voie lactée
- 4.8. Les amas de galaxies
  - 4.8.1. Introduction
  - 4.8.2. Classification des galaxies
  - 4.8.3. Photométrie galactique
  - 4.8.4. Le groupe logarithmique: introduction
- 4.9. La distribution des galaxies à grande échelle
  - 4.9.1. Forme et âge de l'univers
  - 4.9.2. Modèle cosmologique standard
  - 4.9.3. Formation des structures cosmologiques
  - 4.9.4. Méthodes d'observation en cosmologie

- 4.10. Matière noire et énergies sombres
  - 4.10.1. Découverte et caractéristiques
  - 4.10.2. Implications pour la distribution de la matière ordinaire
  - 4.10.3. Problèmes liés à la matière noire
  - 4.10.4. Particules candidates à la matière noire
  - 4.10.5. L'énergie noire et ses conséquences

## Module 5. Physique Quantique II

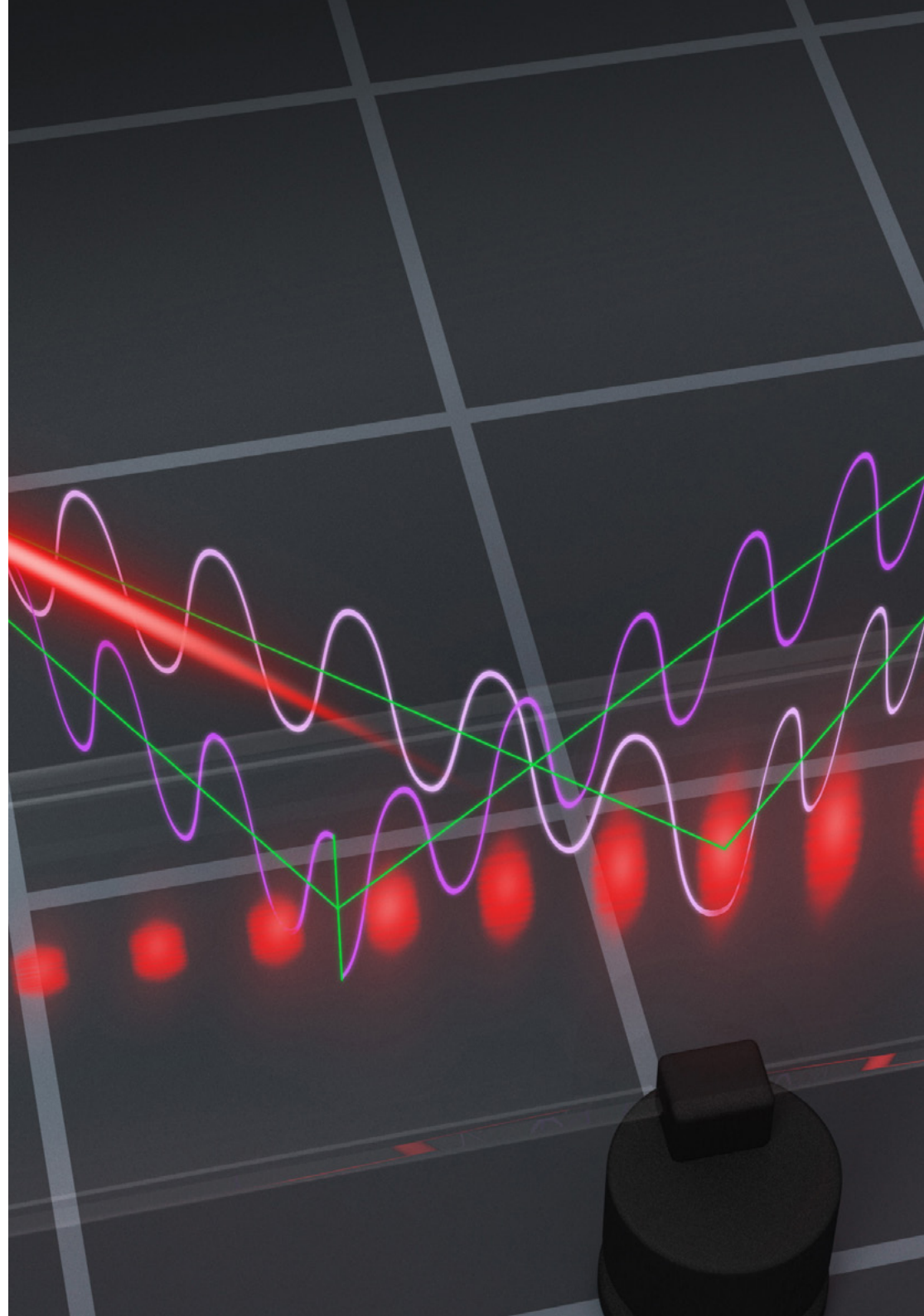
- 5.1. Descriptions de la mécanique quantique: images ou représentations
  - 5.1.1. L'image de Schrödinger
  - 5.1.2. Image d'Heisenberg
  - 5.1.3. Image de Dirac ou d'interaction
  - 5.1.4. Changement d'image
- 5.2. Oscillateur harmonique
  - 5.2.1. Opérateurs de création et d'annihilation
  - 5.2.2. Fonctions d'onde des états de Fock
  - 5.2.3. États cohérents
  - 5.2.4. États de moindre indétermination
  - 5.2.5. États "serrés"
- 5.3. Moment angulaire
  - 5.3.1. Rotations
  - 5.3.2. Commutateurs de moment cinétique
  - 5.3.3. Base de moment angulaire
  - 5.3.4. Opérateurs d'échelle
  - 5.3.5. Représentation matricielle
  - 5.3.6. Moment angulaire intrinsèque: spin
  - 5.3.7. Cas des spins:  $1/2$ ,  $1$ ,  $3/2$
- 5.4. Fonctions d'onde à plusieurs composantes: spinoriales
  - 5.4.1. Fonctions d'onde à une composante: spin 0
  - 5.4.2. Fonctions d'onde à deux composantes: spin  $1/2$
  - 5.4.3. Valeurs attendues de l'observable du spin
  - 5.4.4. États atomiques
  - 5.4.5. Addition du moment angulaire
  - 5.4.6. Coefficients de Clebsch-Gordan
- 5.5. Étude des systèmes composites
  - 5.5.1. Particules distinguables
  - 5.5.2. Particules indiscernables
  - 5.5.3. Cas du photon: expérience du miroir semi-transparent
  - 5.5.4. Intrication quantique
  - 5.5.5. Inégalités de Bell
  - 5.5.6. Paradoxe EPR
  - 5.5.7. Théorème de Bell
- 5.6. Introduction aux méthodes approchées: méthode variationnelle
  - 5.6.1. Introduction à la méthode variationnelle
  - 5.6.2. Variations linéaires
  - 5.6.3. Méthode variationnelle de Rayleigh-Ritz
  - 5.6.4. Oscillateur harmonique: étude par les méthodes variationnelles
- 5.7. Étude de modèles atomiques par la méthode variationnelle
  - 5.7.1. Atome d'hydrogène
  - 5.7.2. Atome d'hélium
  - 5.7.3. Molécule d'hydrogène ionisée
  - 5.7.4. Symétries discrètes
    - 5.7.4.1. Parité
    - 5.7.4.2. Inversion temporelle
- 5.8. Introduction à la théorie des perturbations
  - 5.8.1. Perturbations indépendantes du temps
  - 5.8.2. Cas non dégénéré
  - 5.8.3. Cas dégénéré
  - 5.8.4. Structure fine de l'atome d'hydrogène
  - 5.8.5. Effet Zeeman
  - 5.8.6. Constante de couplage spin-spin. Structure hyperfine
  - 5.8.7. Théorie des perturbations en fonction du temps
    - 5.8.7.1. Atome à deux niveaux
    - 5.8.7.2. Perturbations sinusoïdales



- 5.9. Approximation adiabatique
  - 5.9.1. Introduction à l'approximation adiabatique
  - 5.9.2. Le théorème adiabatique
  - 5.9.3. La phase de Berry
  - 5.9.4. L'effet Aharonov-Bohm
- 5.10. Approximation de Wentzel-Kramers-Brillouin (WKB)
  - 5.10.1. Introduction à la méthode WKB
  - 5.10.2. Région classique
  - 5.10.3. Effet tunnel
  - 5.10.4. Formules de connexion

## Module 6. Physique nucléaire et physique des particules

- 6.1. Introduction à la physique nucléaire
  - 6.1.1. Tableau périodique des éléments
  - 6.1.2. Découvertes importantes
  - 6.1.3. Les modèles atomiques
  - 6.1.4. Définitions importantes. Echelles et unités en physique nucléaire
  - 6.1.5. Diagramme de Segré
- 6.2. Propriétés nucléaires
  - 6.2.1. Énergie de liaison
  - 6.2.2. Formule de masse semi-empirique
  - 6.2.3. Modèle du gaz de Fermi
  - 6.2.4. Stabilité nucléaire
    - 6.2.4.1. La désintégration alpha
    - 6.2.4.2. Décroissance bêta
    - 6.2.4.3. Fission nucléaire
  - 6.2.5. Désexcitation nucléaire
  - 6.2.6. Double désintégration bêta



- 6.3. Dispersion nucléaire
  - 6.3.1. Structure interne: étude de la diffusion
  - 6.3.2. Section efficace
  - 6.3.3. Expérience de Rutherford: section efficace de Rutherford
  - 6.3.4. La section efficace de Mott
  - 6.3.5. Transfert de momentum et facteurs de forme
  - 6.3.6. Distribution de la charge nucléaire
  - 6.3.7. Diffusion des neutrons
- 6.4. Structure nucléaire et interaction forte
  - 6.4.1. Diffusion des nucléons
  - 6.4.2. États limites. Deutérium
  - 6.4.3. Interaction nucléaire forte
  - 6.4.4. Les nombres magiques
  - 6.4.5. Le modèle en couches du noyau
  - 6.4.6. Le spin et la parité nucléaires
  - 6.4.7. Moments électromagnétiques du noyau
  - 6.4.8. Excitations nucléaires collectives: oscillations dipolaires, états vibrationnels et états rotationnels
- 6.5. Structure nucléaire et interaction forte II
  - 6.5.1. Classification des réactions nucléaires
  - 6.5.2. Cinématique des réactions
  - 6.5.3. Lois de conservation
  - 6.5.4. Spectroscopie nucléaire
  - 6.5.5. Le modèle du noyau composé
  - 6.5.6. Les réactions directes
  - 6.5.7. La diffusion élastique
- 6.6. Introduction à la physique des particules
  - 6.6.1. Particules et antiparticules
  - 6.6.2. Fermions et baryons
  - 6.6.3. Le modèle standard des particules élémentaires: leptons et quarks
  - 6.6.4. Le modèle des quarks
  - 6.6.5. Les bosons vectoriels intermédiaires
- 6.7. Dynamique des particules élémentaires
  - 6.7.1. Les quatre interactions fondamentales
  - 6.7.2. L'électrodynamique quantique
  - 6.7.3. La chromodynamique quantique
  - 6.7.4. Interaction faible
  - 6.7.5. Désintégrations et lois de conservation
- 6.8. Cinématique relativiste
  - 6.8.1. Transformations de Lorentz
  - 6.8.2. Quadri-vecteurs
  - 6.8.3. Énergie et quantité de mouvement linéaire
  - 6.8.4. Collisions
  - 6.8.5. Introduction aux diagrammes de Feynman
- 6.9. Symétries
  - 6.9.1. Groupes, symétries et lois de conservation
  - 6.9.2. Spin et moment angulaire
  - 6.9.3. Addition du moment cinétique
  - 6.9.4. Symétries de saveur
  - 6.9.5. Parité
  - 6.9.6. Conjugaison de charges
  - 6.9.7. Violation de la PC
  - 6.9.8. Inversion du temps
  - 6.9.9. Préservation du CPT
- 6.10. États limites
  - 6.10.1. Équation de Schrödinger pour les potentiels centraux
  - 6.10.2. Atome d'hydrogène
  - 6.10.3. Structure fine
  - 6.10.4. Structure hyperfine
  - 6.10.5. Positronium
  - 6.10.6. Quarkonium
  - 6.10.7. Mésons légers
  - 6.10.8. Baryons

## Module 7. Théorie quantique des champs

- 7.1. Théorie classique des champs
  - 7.1.1. Notation et conventions
  - 7.1.2. Formulation lagrangienne
  - 7.1.3. Équations d'Euler Lagrange
  - 7.1.4. Symétries et lois de conservation
- 7.2. Champ de Klein-Gordon
  - 7.2.1. Équation de Klein-Gordon
  - 7.2.2. Quantification du champ de Klein-Gordon
  - 7.2.3. Invariance de Lorentz du champ de Klein-Gordon
  - 7.2.4. Le vide. États du vide et états de Fock
  - 7.2.5. Énergie du vide
  - 7.2.6. Ordre normal: convention
  - 7.2.7. Énergie et quantité de mouvement des états
  - 7.2.8. Étude de la causalité
  - 7.2.9. Propagateur de Klein-Gordon
- 7.3. Champ de Dirac
  - 7.3.1. Équation de Dirac
  - 7.3.2. Matrices de Dirac et leurs propriétés
  - 7.3.3. Représentations des matrices de Dirac
  - 7.3.4. Lagrangien de Dirac
  - 7.3.5. Solution de l'équation de Dirac: ondes planes
  - 7.3.6. Interrupteurs et anti-interrupteurs
  - 7.3.7. Quantification du champ de Dirac
  - 7.3.8. Espace de Fock
  - 7.3.9. Propagateur de Dirac
- 7.4. Champ électromagnétique
  - 7.4.1. Théorie classique du champ électromagnétique
  - 7.4.2. Quantification du champ électromagnétique et ses problèmes
  - 7.4.3. Espace de Fock
  - 7.4.4. Le formalisme de Gupta-Bleuler
  - 7.4.5. Propagateur de photons
- 7.5. Formalisme de la matrice S
  - 7.5.1. Lagrangien et hamiltonien d'interaction
  - 7.5.2. Matrice S: définition et propriétés
  - 7.5.3. Dilatation de Dyson
  - 7.5.4. Théorème de Wick
  - 7.5.5. Image de Dirac
- 7.6. Diagrammes de Feynman dans l'espace de position
  - 7.6.1. Normes Utilitaires
  - 7.6.2. Premier ordre
  - 7.6.3. Deuxième ordre
  - 7.6.4. Processus de dispersion à deux particules
- 7.7. Règles de Feynman
  - 7.7.1. Normalisation des états dans l'espace de Fock
  - 7.7.2. Amplitude de Feynman
  - 7.7.3. Règles de Feynman pour la QED
  - 7.7.4. Invariance de jauge dans les amplitudes
  - 7.7.5. Exemples
- 7.8. Section transversale et taux de désintégration
  - 7.8.1. Définition de la section transversale
  - 7.8.2. Définition de la coupe de désintégration
  - 7.8.3. Exemples avec deux corps dans l'état final
  - 7.8.4. Section transversale non polarisée
  - 7.8.5. Somme sur la polarisation du fermion
  - 7.8.6. Somme sur la polarisation des photons
  - 7.8.7. Exemples
- 7.9. Étude des muons et autres particules chargées
  - 7.9.1. Muons
  - 7.9.2. Particules chargées
  - 7.9.3. Particules scalaires chargées
  - 7.9.4. Règles de Feynman pour la théorie de l'électrodynamique quantique scalaire



- 7.10. Symétries
  - 7.10.1. Parité
  - 7.10.2. Conjugaison de charges
  - 7.10.3. Inversion du temps
  - 7.10.4. Violation de certaines symétries
  - 7.10.5. Symétrie CPT

## Module 8. Relativité générale et cosmologie

- 8.1. La relativité restreinte
  - 8.1.1. Postulats
  - 8.1.2. Transformations de Lorentz en configuration standard
  - 8.1.3. Renforcements
  - 8.1.4. Tenseurs
  - 8.1.5. Cinématique relativiste
  - 8.1.6. Momentum linéaire et énergie relativistes
  - 8.1.7. Covariance de Lorentz
  - 8.1.8. Tenseur de quantité de mouvement et d'énergie
- 8.2. Principe d'équivalence
  - 8.2.1. Principe d'équivalence faible
  - 8.2.2. Expériences sur le principe d'équivalence faible
  - 8.2.3. Référentiels à inertie locale
  - 8.2.4. Principe d'équivalence
  - 8.2.5. Conséquences du principe d'équivalence
- 8.3. Mouvement des particules dans les champs gravitationnels
  - 8.3.1. Limite newtonienne
  - 8.3.2. Limite newtonienne
  - 8.3.3. Redshift gravitationnel et tests
  - 8.3.4. Dilatation du temps
  - 8.3.5. Équation géodésique
- 8.4. Géométrie: concepts nécessaires
  - 8.4.1. Espaces à deux dimensions
  - 8.4.2. Champs scalaires, vectoriels et tensoriels
  - 8.4.3. Tenseur métrique: concept et théorie
  - 8.4.4. Dérivée partielle
  - 8.4.5. Dérivée covariante
  - 8.4.6. Symboles de Christoffel
  - 8.4.7. Dérivées covariantes et tenseurs
  - 8.4.8. Dérivées covariantes directionnelles
  - 8.4.9. Divergence et Laplacien
- 8.5. Espace-temps courbe
  - 8.5.1. Dérivée covariante et transport parallèle: définition
  - 8.5.2. Géodésiques du transport parallèle
  - 8.5.3. Tenseur de courbure riemannien
  - 8.5.4. Tenseur riemannien: définition et propriétés
  - 8.5.5. Tenseur de Ricci: définition et propriétés
- 8.6. Équations d'Einstein: dérivation
  - 8.6.1. Reformulation du principe d'équivalence
  - 8.6.2. Applications du principe d'équivalence
  - 8.6.3. Conservation et symétries
  - 8.6.4. Dérivation des équations d'Einstein à partir du principe d'équivalence
- 8.7. Solution de Schwarzschild
  - 8.7.1. Métrique de Schwarzschild
  - 8.7.2. Éléments de longueur et de temps
  - 8.7.3. Quantités conservées
  - 8.7.4. Équation du mouvement
  - 8.7.5. Théorie de la lumière. Étude dans la métrique de Schwarzschild
  - 8.7.6. Rayon de Schwarzschild
  - 8.7.7. Coordonnées d'Eddington-Finkelstein
  - 8.7.8. Les trous noirs

- 8.8. Limite de la gravité linéaire. Conséquences
  - 8.8.1. Gravité linéaire: introduction
  - 8.8.2. Transformation des coordonnées
  - 8.8.3. Équations d'Einstein linéarisées
  - 8.8.4. Solution générale des équations d'Einstein linéarisées
  - 8.8.5. Les ondes gravitationnelles
  - 8.8.6. Effets des ondes gravitationnelles sur la matière
  - 8.8.7. Génération d'ondes gravitationnelles
- 8.9. Cosmologie: introduction
  - 8.9.1. Observation de l'Univers: Introduction
  - 8.9.2. Principe cosmologique
  - 8.9.3. Distances cosmologiques
  - 8.9.4. Distances cosmologiques
  - 8.9.5. La loi de Hubble
  - 8.9.6. Inflation
- 8.10. Cosmologie: étude mathématique
  - 8.10.1. Première équation de Friedmann
  - 8.10.2. Deuxième équation de Friedmann
  - 8.10.3. Densités et facteur d'échelle
  - 8.10.4. Conséquences des équations de Friedmann. Courbure de l'univers
  - 8.10.5. Thermodynamique de l'univers primitif





**Module 9. Physique des hautes énergies**

- 9.1. Méthodes mathématiques: groupes et représentations
  - 9.1.1. Théorie des groupes
  - 9.1.2. Groupes  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  et  $SU(3)$  et  $SU(N)$
  - 9.1.3. Algèbre de Lie
  - 9.1.4. Représentations
  - 9.1.5. Multiplication de représentations
- 9.2. Symétries
  - 9.2.1. Symétries et lois de conservation
  - 9.2.2. Symétries C, P, T
  - 9.2.3. Violation des symétries et conservation de la CPT
  - 9.2.4. Moment angulaire
  - 9.2.5. Addition du moment angulaire
- 9.3. Calcul de Feynman: Introduction
  - 9.3.1. Temps de demi-vie
  - 9.3.2. Section transversale
  - 9.3.3. L'étalon d'or de Fermi pour les désintégrations
  - 9.3.4. Etalon d'or de Fermi pour les dispersions
  - 9.3.5. Diffusion à deux corps dans le référentiel du centre de masse
- 9.4. Application du calcul de Feynman: modèle jouet
  - 9.4.1. Modèle-jouet: introduction
  - 9.4.2. Règles de Feynman
  - 9.4.3. Temps de demi-vie
  - 9.4.4. Dispersion
  - 9.4.5. Diagrammes d'ordre supérieur
- 9.5. L'électrodynamique quantique
  - 9.5.1. Équation de Dirac
  - 9.5.2. Solutions de l'équation de Dirac
  - 9.5.3. Covariants bilinéaires
  - 9.5.4. Le photon
  - 9.5.5. Les règles de Feynman pour l'électrodynamique quantique
  - 9.5.6. Le tour de Casimir
  - 9.5.7. Renormalisation



- 9.6. Électrodynamique des quarks et chromodynamique
  - 9.6.1. Règles de Feynman
  - 9.6.2. Production de hadrons dans les collisions électron-positon
  - 9.6.3. Règles de Feynman pour la chromodynamique
  - 9.6.4. Facteurs de couleur
  - 9.6.5. Interaction quarks-antiquarks
  - 9.6.6. Interaction quark-quark
  - 9.6.7. Annihilation de paires en chromodynamique quantique
- 9.7. Interaction faible
  - 9.7.1. Interaction faible chargée
  - 9.7.2. Règles de Feynman
  - 9.7.3. La désintégration du muon
  - 9.7.4. La désintégration des neutrons
  - 9.7.5. La désintégration des pions
  - 9.7.6. Interaction faible entre quarks
  - 9.7.7. Interaction faible neutre
  - 9.7.8. Unification électrofaible
- 9.8. Théories de jauge
  - 9.8.1. Invariance de jauge locale
  - 9.8.2. Théorie de Yang-Millis
  - 9.8.3. Chromodynamique quantique
  - 9.8.4. Règles de Feynman
  - 9.8.5. Terme de masse
  - 9.8.6. Rupture spontanée de symétrie
  - 9.8.7. Mécanisme de Higgs
- 9.9. L'oscillation des neutrinos
  - 9.9.1. Le problème des neutrinos solaires
  - 9.9.2. Les oscillations de neutrinos
  - 9.9.3. Les masses des neutrinos
  - 9.9.4. Matrice de mélange

- 9.10. Sujets avancés. Brève introduction
  - 9.10.1. Le boson de Higgs
  - 9.10.2. Grande unification
  - 9.10.3. Asymétrie matière-antimatière
  - 9.10.4. Supersymétrie, cordes et dimensions supplémentaires
  - 9.10.5. Matière noire et énergie noire

## Module 10. Information et informatique quantique

- 10.1. Introduction: mathématiques et informatique quantique
  - 10.1.1. Espaces vectoriels complexes
  - 10.1.2. Opérateurs linéaires
  - 10.1.3. Produit scalaire et espaces de Hilbert
  - 10.1.4. Diagonalisation
  - 10.1.5. Produit tensoriel
  - 10.1.6. Fonctions d'opérateur
  - 10.1.7. Théorèmes importants sur les opérateurs
  - 10.1.8. Postulats de la mécanique quantique revisités
- 10.2. États et échantillons statistiques
  - 10.2.1. Le qubit
  - 10.2.2. La matrice de densité
  - 10.2.3. Les systèmes bipartites
  - 10.2.4. La décomposition de Schmidt
  - 10.2.5. Interprétation statistique des états mixtes
- 10.3. Mesures et évolution temporelle
  - 10.3.1. Mesures de von Neumann
  - 10.3.2. Mesures généralisées
  - 10.3.3. Théorème de Neumark
  - 10.3.4. Les canaux quantiques

- 10.4. L'intrication et ses applications
  - 10.4.1. Les états EPR
  - 10.4.2. Codage dense
  - 10.4.3. Téléportation d'états
  - 10.4.4. Matrice de densité et ses représentations
- 10.5. Information classique et quantique
  - 10.5.1. Introduction aux probabilités
  - 10.5.2. Information
  - 10.5.3. Entropie de Shannon et information mutuelle
  - 10.5.4. Communication
    - 10.5.4.1. Le canal binaire symétrique
    - 10.5.4.2. Capacité d'un canal
  - 10.5.5. Théorèmes de Shannon
  - 10.5.6. Différence entre information classique et information quantique
  - 10.5.7. Entropie de von Neumann
  - 10.5.8. Théorème de Schumacher
  - 10.5.9. L'information de Holevo
  - 10.5.10. Information accessible et limite de Holevo
- 10.6. L'informatique quantique
  - 10.6.1. Machines de Turing
  - 10.6.2. Circuits et classification de la complexité
  - 10.6.3. L'ordinateur quantique
  - 10.6.4. Portes logiques quantiques
  - 10.6.5. Algorithmes de Deutsch-Josza et de Simon
  - 10.6.6. Recherche non structurée: l'algorithme de Grover
  - 10.6.7. Méthode de chiffrement RSA
  - 10.6.8. Factorisation: algorithme de Shor
- 10.7. Théorie semi-classique de l'interaction lumière-matière
  - 10.7.1. L'atome à deux niveaux
  - 10.7.2. Le dédoublement AC-Stark
  - 10.7.3. Les oscillations de Rabi
  - 10.7.4. La force dipolaire de la lumière
- 10.8. Théorie quantique de l'interaction lumière-matière
  - 10.8.1. États du champ électromagnétique quantique
  - 10.8.2. Le modèle de Jaynes-Cummings
  - 10.8.3. Le problème de la décohérence
  - 10.8.4. Traitement de l'émission spontanée par Weisskopf-Wigner
- 10.9. Communication quantique
  - 10.9.1. Cryptographie quantique: protocoles BB84 et Ekert91
  - 10.9.2. Inégalités de Bell
  - 10.9.3. Génération de photons uniques
  - 10.9.4. Propagation d'un photon unique
  - 10.9.5. Détection de photons uniques
- 10.10. Calcul et simulation quantiques
  - 10.10.1. Atomes neutres dans des pièges dipolaires
  - 10.10.2. Électrodynamique quantique des cavités
  - 10.10.3. Ions dans les pièges de Paul
  - 10.10.4. Cubes supraconducteurs



*Un programme 100% en ligne qui vous permettra de vous plonger dans l'astrophysique et la cosmologie grâce au contenu multimédia le plus innovant de l'enseignement universitaire"*

05

# Méthodologie

Ce programme de formation offre une manière différente d'apprendre. Notre méthodologie est développée à travers un mode d'apprentissage cyclique: ***le Relearning***.

Ce système d'enseignement est utilisé, par exemple, dans les écoles de médecine les plus prestigieuses du monde et a été considéré comme l'un des plus efficaces par des publications de premier plan telles que le ***New England Journal of Medicine***.







“

*Découvrez Relearning, un système qui renonce à l'apprentissage linéaire conventionnel pour vous emmener à travers des systèmes d'enseignement cycliques: une façon d'apprendre qui s'est avérée extrêmement efficace, en particulier dans les matières qui exigent la mémorisation”*

## Étude de Cas pour mettre en contexte tout le contenu

Notre programme offre une méthode révolutionnaire de développement des compétences et des connaissances. Notre objectif est de renforcer les compétences dans un contexte changeant, compétitif et hautement exigeant.

“

*Avec TECH, vous pouvez expérimenter une manière d'apprendre qui ébranle les fondations des universités traditionnelles du monde entier”*



*Vous bénéficierez d'un système d'apprentissage basé sur la répétition, avec un enseignement naturel et progressif sur l'ensemble du cursus.*



*L'étudiant apprendra, par des activités collaboratives et des cas réels, à résoudre des situations complexes dans des environnements commerciaux réels.*

## Une méthode d'apprentissage innovante et différente

Cette formation TECH est un programme d'enseignement intensif, créé de toutes pièces, qui propose les défis et les décisions les plus exigeants dans ce domaine, tant au niveau national qu'international. Grâce à cette méthodologie, l'épanouissement personnel et professionnel est stimulé, faisant ainsi un pas décisif vers la réussite. La méthode des cas, technique qui constitue la base de ce contenu, permet de suivre la réalité économique, sociale et professionnelle la plus actuelle.

“

*Notre programme vous prépare à relever de nouveaux défis dans des environnements incertains et à réussir votre carrière”*

La méthode des cas a été le système d'apprentissage le plus utilisé par les meilleures facultés du monde. Développée en 1912 pour que les étudiants en Droit n'apprennent pas seulement le droit sur la base d'un contenu théorique, la méthode des cas consiste à leur présenter des situations réelles complexes afin qu'ils prennent des décisions éclairées et des jugements de valeur sur la manière de les résoudre. En 1924, elle a été établie comme méthode d'enseignement standard à Harvard.

Dans une situation donnée, que doit faire un professionnel? C'est la question à laquelle nous sommes confrontés dans la méthode des cas, une méthode d'apprentissage orientée vers l'action. Tout au long du programme, les étudiants seront confrontés à de multiples cas réels. Ils devront intégrer toutes leurs connaissances, faire des recherches, argumenter et défendre leurs idées et leurs décisions.



## Relearning Methodology

TECH combine efficacement la méthodologie des études de cas avec un système d'apprentissage 100% en ligne basé sur la répétition, qui associe 8 éléments didactiques différents dans chaque leçon.

Nous enrichissons l'Étude de Cas avec la meilleure méthode d'enseignement 100% en ligne: le Relearning.

*En 2019, nous avons obtenu les meilleurs résultats d'apprentissage de toutes les universités en ligne du monde.*

À TECH, vous apprenez avec une méthodologie de pointe conçue pour former les managers du futur. Cette méthode, à la pointe de la pédagogie mondiale, est appelée Relearning.

Notre université est la seule université autorisée à utiliser cette méthode qui a fait ses preuves. En 2019, nous avons réussi à améliorer les niveaux de satisfaction globale de nos étudiants (qualité de l'enseignement, qualité des supports, structure des cours, objectifs...) par rapport aux indicateurs de la meilleure université en ligne.





Dans notre programme, l'apprentissage n'est pas un processus linéaire, mais se déroule en spirale (apprendre, désapprendre, oublier et réapprendre). Par conséquent, chacun de ces éléments est combiné de manière concentrique. Cette méthodologie a permis de former plus de 650.000 diplômés universitaires avec un succès sans précédent dans des domaines aussi divers que la biochimie, la génétique, la chirurgie, le droit international, les compétences en gestion, les sciences du sport, la philosophie, le droit, l'ingénierie, le journalisme, l'histoire, les marchés financiers et les instruments. Tout cela dans un environnement très exigeant, avec un corps étudiant universitaire au profil socio-économique élevé et dont l'âge moyen est de 43,5 ans.

*Le Relearning vous permettra d'apprendre avec moins d'efforts et plus de performance, en vous impliquant davantage dans votre formation, en développant un esprit critique, en défendant des arguments et en contrastant les opinions: une équation directe vers le succès.*

À partir des dernières preuves scientifiques dans le domaine des neurosciences, non seulement nous savons comment organiser les informations, les idées, les images et les souvenirs, mais nous savons aussi que le lieu et le contexte dans lesquels nous avons appris quelque chose sont fondamentaux pour notre capacité à nous en souvenir et à le stocker dans l'hippocampe, pour le conserver dans notre mémoire à long terme.

De cette manière, et dans ce que l'on appelle Neurocognitive context-dependent e-learning, les différents éléments de notre programme sont reliés au contexte dans lequel le participant développe sa pratique professionnelle.

Ce programme offre le support matériel pédagogique, soigneusement préparé pour les professionnels:



### Support d'étude

Tous les contenus didactiques sont créés par les spécialistes qui enseigneront le cours, spécifiquement pour le cours, afin que le développement didactique soit vraiment spécifique et concret.

Ces contenus sont ensuite appliqués au format audiovisuel, pour créer la méthode de travail TECH en ligne. Tout cela, avec les dernières techniques qui offrent des pièces de haute qualité dans chacun des matériaux qui sont mis à la disposition de l'étudiant.



### Cours magistraux

Il existe des preuves scientifiques de l'utilité de l'observation par un tiers expert.

La méthode "Learning from an Expert" renforce les connaissances et la mémoire, et donne confiance dans les futures décisions difficiles.



### Pratiques en compétences et aptitudes

Les étudiants réaliseront des activités visant à développer des compétences et des aptitudes spécifiques dans chaque domaine. Des activités pratiques et dynamiques pour acquérir et développer les compétences et aptitudes qu'un spécialiste doit développer dans le cadre de la mondialisation dans laquelle nous vivons.



### Lectures complémentaires

Articles récents, documents de consensus et directives internationales, entre autres. Dans la bibliothèque virtuelle de TECH, l'étudiant aura accès à tout ce dont il a besoin pour compléter sa formation.







#### Case studies

Ils réaliseront une sélection des meilleures études de cas choisies spécifiquement pour ce diplôme. Des cas présentés, analysés et tutorés par les meilleurs spécialistes de la scène internationale.



#### Résumés interactifs

L'équipe TECH présente les contenus de manière attrayante et dynamique dans des pilules multimédia comprenant des audios, des vidéos, des images, des diagrammes et des cartes conceptuelles afin de renforcer les connaissances. Ce système éducatif unique pour la présentation de contenu multimédia a été récompensé par Microsoft en tant que "European Success Story".



#### Testing & Retesting

Les connaissances de l'étudiant sont périodiquement évaluées et réévaluées tout au long du programme, par le biais d'activités et d'exercices d'évaluation et d'auto-évaluation, afin que l'étudiant puisse vérifier comment il atteint ses objectifs.



# 06 Diplôme

Le Mastère Spécialisé en Physique Quantique vous garantit, en plus de la formation la plus rigoureuse et la plus actuelle, l'accès à un diplôme universitaire de Mastère Spécialisé délivré par TECH Université Technologique.



“

*Terminez ce programme avec succès et recevez votre diplôme sans avoir à vous soucier des voyages ou de la paperasserie”*



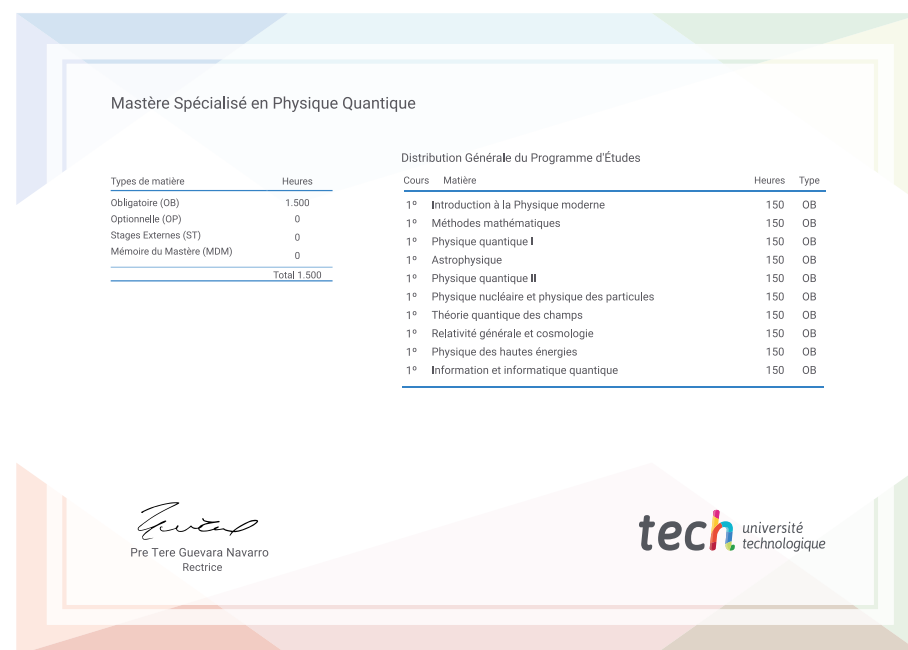
Ce **Mastère Spécialisé en Physique Quantique** contient le programme le plus complet et le plus à jour du marché.

Après avoir réussi l'évaluation, l'étudiant recevra par courrier postal\* avec accusé de réception son correspondant diplôme de **Mastère Spécialisé** délivré par **TECH Université Technologique**.

Le diplôme délivré par **TECH Université Technologique** indiquera la note obtenue lors du Mastère Spécialisé, et répond aux exigences communément demandées par les bourses d'emploi, les concours et les commissions d'évaluation des carrières professionnelles.

Diplôme: **Mastère Spécialisé en Physique Quantique**

N.° d'heures officielles: **1.500 h.**



\*Si l'étudiant souhaite que son diplôme version papier possède l'Apostille de La Haye, TECH EDUCATION fera les démarches nécessaires pour son obtention moyennant un coût supplémentaire.



## Mastère Spécialisé Physique Quantique

- » Modalité: en ligne
- » Durée: 12 mois
- » Qualification: TECH Université Technologique
- » Horaire: à votre rythme
- » Examens: en ligne

# Mastère Spécialisé Physique Quantique