

Cours de physique des particules (MA1 ou MA2) Année académique 2023-24 PHYSF-416 (5ECTS)

CHAPITRE 0: INFORMATION



Barbara Clerbaux

IIHE (VUB) G.1.11/D1

Tel: 02 629 32 14

0491 61 3443

barbara.clerbaux@ulb.be

Laurent Thomas

IIHE (VUB) Office: G.0.22/D1

laurent.thomas@ulb.be

Info sur le cours : voir UV

- Horaires
- Locaux
- Livres de références
- Transparents
- Laboratoire

B. Clerbaux - PHYSF416 - 2023/24

Objectifs du cours

- Etudier quelques unes des questions clefs en physique des particules, principalement celles qui ont permis de conforter le Modèle Standard de la physique des particules (MS) mais aussi quelques questions qui restent ouvertes.
- L'argumentation s'appuyera essentiellement sur les résultats expérimentaux pertinents qui seront décrits et interprétés dans le cadre du MS.
- Les différents concepts nécessaires à leur compréhension seront introduits de manière phénoménologique.

Prérequis

- Introduction à la physique des particules:
 - Aspects phénoménologiques: Chapitres 1 à 4 de "Introduction to Elementary Particles", David Griffiths, 2nd Revised Edition (2008), Wiley-VCH
 - □ Aspects expérimentaux : chapitres 2 et 3 de "Particle and fundamental interactions", S. Braibant, G. Giacomelli and M. Spurio, (2012), Springer
 - ou PHYS-F-305 partie "Physique des particules"
- Un cours de mécanique quantique classique
- Un cours d'électrodynamique classique
- Un cours de relativité restreinte

Références

- "Introduction to Elementary Particles", David Griffiths, 2nd Revised Edition (2008),
 Wiley-VCH (pdf téléchargeable)
- "Introduction to High Energy Physics", D. H. Perkins, Cambridge University Press (4th edition), ISBN 0 521 621968
- "Particle Physics", B.R.Martin and G. Shaw, Wiley, 3rd edition (2008)
- "An introduction to the Standard Model of Particle Physics", W.N. Cottingham and D.A. Greenwood, Cambridge
- "Modern Particle Physics", Mark Thomson, Cambridge.

Ces livres sont disponibles en prêt à la bibliothèque de l'IIHE, certains en plusieurs exemplaires.



Organisation pratique

Cours ex-cathedra

~15 cours le mardi et/ou le jeudi, au 1er quadrimestre.

Pas de syllabus mais diaporama avec de nombreuses illustrations.

Le diaporama est disponible sur voir Université Virtuelle : http://uv.ulb.ac.be/

■ Travaux pratiques

3 x 3h de laboratoire: analyse de données de l'expérience CMS, faite en classe.

Rapport individuel à remettre

Un agenda est disponible sur l'UV, et sera mis à jour si nécessaire

Organisation pratique

Horaire cours	PHYS-F-	416 : 2023-24
---------------	---------	---------------

Semaii	ne date	mardi 14-16	jeudi 10-12
S1	12 et 14 sept		
S2	19 et 21 sept	Chl: Intro+ChapII	ChII: Symétries et lois + ChIII
S3	26 et 28 sept	Chill: Model. I. fond.	fin chapIII + ChIV: Etude I faible
S4	3 et 5 oct	ChIV: Etude I faible + ChV: Etude I.E	F ChIV+ChV: Etude I. EF
S5	10 et 12 oct	ChV: Etude I. EF	ChV: Etude I. EF
S6	17 et 19 oct	??? fin ChV et ChVI: Violation CP	ChVI: Violation CP
S7	24 et 26 oct	ChVI: Violation CP	recup
S8	31 et 2 nov	tampon/congé	tampon
	9 7 et 9 nov	ChVII: Oscillations v	Labo1 (3h) de 10:00 à 13:00
	10 14 et 16 nov	ChVIII: Oscillations v	Labo1 (3h) de 10:00 à 13:00
	11 21 et 23 nov	ChIX : Oscillations v	Labo2 (3h) de 10:00 à 13:00
	12 28 et 30 nov	ChX: Oscillations v	facultatif : labo Q/R
	13 5 et 7 déc	cours si nécessaire : fin neutrino	recup
	14 12 et 14 déc	recup (date limite remise rapport)	recup
	15 19 et 21 déc	tampon	tampon

Cours: VUB - building G - first floor - G/G.1.03/D1 (room J. Sacton)

Labo: VUB - building G - ground floor - G/G.0.45 (Z room)

B. Clerbaux - PHYSF416 - 2023/24

.

Organisation pratique

■ Evaluation

- Examen oral en janvier: deux ou trois questions sur le cours (et les TP). Une bonne compréhension est exigée, une connaissance des ordres de grandeur mais pas des valeurs précises (tables disponibles). Préparation de la question principale avec notes.
- □ Le labo: participation + rapport : coté sur 20.
- □ Cote finale: La cote du labo et celle de l'examen seront pondérées proportionnellement aux nombres d'ECTS respectifs : 6/20 (labo) 14/20 (examen), à condition d'avoir 40% des points pour les deux, sinon, il sera tenu compte uniquement de la cote la plus basse.

Matière du cours

B. Clerbaux - PHYSF416 - 2023/24

Plan du cours

- I. Introduction et rappels
- II. Symmétries et lois de conservation
- III. Modélisation des interactions fondamentales et prédictions
- IV. Interactions faibles
- V. Interactions électrofaibles
- VI. Violation CP
- VII. Les oscillations des neutrinos
- VIII. Les oscillations des neutrinos: solaires et atmosphériques
- IX. Les oscillations des neutrinos: sources artificielles
- X. Les propriétés des neutrinos

+ labo

Chapitre II : Symétrie et loi de conservation

- II.1. Théorème de Noether
- II.2. Les symétries continues
 - **☐** Translations
 - Rotations
- II.3. Les symétries internes
 - □ Conservation de la charge électrique
 - □ Transformations de jauge
 - □ Rotations dans l'espace des isospins
- II.4. Les symétries discrètes
 - □ La parité P
 - □ La conjugaison de charge C
 - □ L'opérateur CP
 - □ Le théorème CPT

Chapitre III : Modélisation des interactions fondamentales et prédictions

- III.1. Nécessité d'une théorie quantique et relativiste
- III.2. Premières tentatives (Klein-Gordon et Dirac)
- III.3. Ingrédients de QFT
- III.4. Application du formalisme lagrangien en QFT
 - □ I.3.8. Formulation lagrangienne de l'éq. de K-G
 - □ I.3.9. Formulation lagrangienne de l'éq. de Dirac
 - □ I.3.10. Equation de Proca
- III.5. Symétrie de jauge locale
- III.6. Principe du calcul des amplitudes de transition par le calcul des perturbations et diagrammes de Feynman
- III.7. Principe du calcul des taux de désintégration et des sections efficaces d'interaction
- III.8. Résumé

Chapitre IV: Interactions faibles

- IV.1. Introduction
- IV.2. Opérateur parité qui agit sur les spineurs
- IV.3. Conservation de la parité dans QED (et QCD)
- IV.4. Conséquences de la violation de la parité dans les If
- IV.5. Evidence expérimentale de la structure V A
- IV.6. Universalité leptonique
- IV.7. Constante de couplage faible des quarks et angle de Cabibbo
- IV.8. La nécessité d'un 4ème quark: le charme
- IV.9. La matrice CKM
- IV.10. Le triangle d'unitarité

Chapitre V: Interaction electrofaible

- V.1. Introduction
- V.2. Pourquoi les courants neutres (CN)?
- V.3. Propriétés des CN
- V.4. La découverte des CN
- V.5. Contraintes d'unification
- V.6. Prédiction de la masse des bosons W et Z
- V.7. La découverte des bosons W et Z
- V.8. Le LEP et le SLC
- V.9. Tests de précision de la théorie électrofaible
- V. 10. Rôle des états de chiralité dans l'unification
- V. 11. Les mesures d'asymétrie
- V. 12. Le boson scalaire H°
- V. 13. Le Tevatron et le LHC
- V. 14. CMS
- V. 15. Observation du boson scalaire H° au LHC

Chapitre VI: La violation CP

- VI.1. Introduction
- VI.2. CP est-il violé et comment?
- VI.3. Le système K° K°
- VI.4. Evolution dans le temps d'un faisceau de K°
- VI.5. Violation de CP dans les désintégrations de K°
- VI.6. Formalisme de la violation de CP
- VI.7. Violation de CP dans les désintégrations d'autres mésons?
- VI.8. Violation de CP pour les systèmes B°-B°
- VI.9. Les résultats de l'expérience LHCb
- VI.10. Le triangle d'unitarité
- VI.11. Conclusions

Contenu du chapitre VII: Les oscillations de neutrinos Motivations et formalisme

- VII.1. Les neutrinos du Modèle Standard minimum
- VII.2. Le problème des neutrinos solaires
- VII.3. Le mélange de neutrinos:
 - □ VII.3.1. Avec deux neutrinos
 - □ VII.3.2. Généralisation à trois neutrinos

Chapitre VIII: Oscillations des neutrinos solaires et atmosphériques (sources naturelles)

- VIII.1. Caractéristiques des sources et des détecteurs
- VIII.2. Les expériences de détection d'oscillations de neutrinos solaires
- VIII.3. Les expériences de détection d'oscillations de neutrinos atmosphériques

Chapitre IX: Oscillations de neutrinos - Sources artificielles

- IX.1. Introduction
- IX.2. Les expériences de détection d'oscillations de neutrinos auprès des réacteurs
- IX.3. Les expériences de détection d'oscillations de neutrinos auprès des accélérateurs
- IX.4. Conclusions

Chapitre X: Propriétés des neutrinos

- X.1. Contenus en saveur des états de masse:
- X.2. Mesures directes de la masse du neutrino
- **X.3.** Recherche de doubles désintégrations β sans ν
- X.4. Limites cosmologiques
- X.5. Conclusions et questions ouvertes