

Physique des particules
PHY-3501
Professeur : Luc Marleau
Département de Physique, génie physique et optique, Université Laval
SESSION: HIVER 2023
Calendrier des travaux et projets

Calendrier:

	Date	Pondération/note finale	Matériel couvert
Exercices–Série 1	: 1 FÉVRIER 2023	15%	Ch. 1,2,3 de IPP
Exercices–Série 2	: 15 MARS 2023	15%	Ch. 4,5,6 de IPP
Exercices–Série 3	: 12 AVRIL 2023	15%	Ch. 7 de IPP
Projet - travail écrit (version pdf)	: 19 AVRIL 2023	40%	
Projet - présentation orale	: À DÉTERMINER	15%	

Attention:

- *Vérifiez régulièrement les dates de remise des travaux ; elles sont sujettes à changement.*
- *Vérifiez régulièrement les instructions et les énoncés ; il peut y avoir des corrections de dernière minute et les devoirs sont ajoutés en cours de session.*
- *Tout retard dans la remise des travaux sera pénalisé de 50% par jour ouvrable de retard.*
- Les séries d'exercices peuvent être fait par équipe de deux ou individuellement. Une simple réponse ne suffit pas, le développement compte aussi. Compléter les calculs jusqu'au bout. Les unités sont une partie indispensable de la réponse.
- Les intructions pour le projet (écrit et présentation) sont énoncés plus loin.
- Les travaux doivent être remis sous forme papier. Veuillez imprimer (s'il y a lieu), numéroter et brochez les pages de votre travail! 5% des points pourront être attribués à la qualité de la présentation et à l'exactitude de la langue.

IPP : **Introduction à la physique des particules**, Auteur : Luc Marleau , Editions Ellipses (Paris) : Références sciences, Date de parution : 26.04.2022, LIVRE ISBN : 9782340066236, FORMAT NUMÉRIQUE ISBN : 9782340067875

Physique des particules - PHY-3501
Professeur : Luc Marleau
Département de Physique, génie physique et optique, Université Laval
SESSION: HIVER 2023
Exercices-Série 1
DATE DE REMISE: 1 FÉVRIER 2023

1. Types d'interactions

Identifiez le type d'interaction (faible, forte ou électromagnétique) qui intervient dans les réactions suivantes :

- (a) le rayonnement α (émission de noyaux d'hélium) ;
- (b) le rayonnement β (flux d'électrons) ;
- (c) le rayonnement γ (photons de grande énergie) ;
- (d) la désintégration du muon $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$;
- (e) l'annihilation de l'électron et du positron $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$;
- (f) l'attraction entre les neutrons et protons ;
- (g) la désintégration d'un antipion $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$;
- (h) la désintégration d'un lambda $\Lambda \rightarrow p^+ + \pi^-$;
- (i) la répulsion de 2 protons ;
- (j) l'attraction entre 2 électrons dans un milieu supraconducteur (Note : on parle bien ici d'une **attraction**).

2. Unités naturelles

- (a) Convertissez les quantités suivantes en unités naturelles :
 - i. l'unité de force $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$;
 - ii. la masse du proton $m_p = 1.672 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
 - iii. constante de Coulomb $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$;
 - iv. constante de structure fine $\alpha_{em} = ke^2/(\hbar c) \approx 1/137$;
 - v. constante de Boltzmann $k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$.
- (b) Les expressions suivantes sont écrites en unités naturelles. Retournez aux unités SISI en réintroduisant les symboles \hbar et c :
 - i. équation de Schrödinger $-\frac{1}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi(x, t) + V(x)\psi(x, t) = i \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t)$;
 - ii. onde plane $\psi(x, t) = e^{-i(px-Et)}$;
 - iii. énergies relativistes $E^2 = p^2 + m^2$, $E = \gamma m = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} m$;
 - iv. longueur d'onde $\lambda = \frac{2\pi}{p} = \frac{2\pi}{\sqrt{E^2-m^2}}$;
 - v. portée maximale d'une interaction $R \approx \Delta t \approx \frac{1}{m}$.

3. Dynamique relativiste

- (a) Quelle est la quantité de mouvement d'un proton dont l'énergie cinétique est de 1 MeV ?
- (b) Le temps de vie moyen du méson μ au repos est de $2 \times 10^{-6} \text{ s}$. Dans une expérience, on mesure un temps de vie moyen de $4 \times 10^{-6} \text{ s}$. Quelle est la vitesse moyenne des particules μ dans le laboratoire ?
- (c) Un proton passe du repos à une vitesse de $0.9c$. Quel est son changement en énergie ?
- (d) Un électron a une vitesse de $0.3c$. Quelle est l'énergie nécessaire pour tripler cette vitesse ?
- (e) Près d'un noyau massif, un photon de 2 MeV est absorbé par un électron quasi stationnaire. Si l'énergie de recul du noyau est négligeable, quelle est la vitesse finale de l'électron ?
- (f) Quelle doit être la vitesse d'une particule pour que son énergie cinétique soit égale à son énergie de masse ?

4. Collisionneur HERA

Le collisionneur HERA à Hambourg accélère des protons à 820 GeV pour les entraîner dans une collision de front avec des électrons de 30 GeV.

- (a) Quelle est l'énergie totale dans le centre de masse d'une telle collision ?
- (b) Pourquoi cette asymétrie dans l'énergie des particules ?
- (c) Quelle énergie serait nécessaire à des protons lancés sur des électrons au repos pour générer la même énergie totale dans le centre de masse que pour les collisions électrons-protons de HERA ?

5. Collisionneur LHC

Au collisionneur LHC on prévoit accélérer des faisceaux de protons à 7 TeV chacun en se servant du tunnel du LEP (circonférence de 27 km). Estimez le champ magnétique moyen nécessaire pour courber la trajectoire des protons dans le tunnel. En supposant que l'accélérateur est formé de 1296 aimants supraconducteurs ayant chacun une longueur de 13.5 m (toute la circonférence n'est pas occupée par des aimants), quel est le champ magnétique dans chaque aimant ?

Physique des particules - PHY-3501
Professeur : Luc Marleau
Département de Physique, génie physique et optique, Université Laval
SESSION: HIVER 2023
Description et calendrier du projet

PROJET

	DATE DE REMISE	PONDÉRATION
Projet - travail écrit (version pdf)	: 19 AVRIL 2023	40%
Projet - présentation orale	: À DÉTERMINER	15%

Le projet consiste à rédiger un travail écrit portant la physique des particules et de le présenter sous la forme communication orale.

Les étudiants peuvent travailler seuls ou en équipes formées d'un maximum de 3 personnes.

On s'attend à ce que les projets soient d'un niveau plus élevé que la matière vue pendant le cours ou sur un sujet qui n'a pas été abordé dans le cours mais qui reste pertinent à la physique des particules.

1. Projet - travail écrit :

- Chaque projet doit contenir :
 - une introduction,
 - une table des matières,
 - le corps du texte (avec des sections identifiées à chaque étudiant en cas d'équipe),
 - seulement des images/graphiques libres de droits d'auteurs,
 - une conclusion,
 - une bibliographie (liens html si nécessaires), etc ...
- Chaque section est sous la responsabilité d'un étudiant et constitue sa contribution originale au projet. **Donc, en cas d'équipe, l'auteur de chaque section et ses sources bibliographiques doivent être clairement identifiés.**
- Un étudiant est évalué sur le document écrit global et sur sa contribution individuelle dans une **proportion globale/individuelle de 25/75**. Il est donc important que l'équipe se consulte et voit à ce que le travail soit un ensemble homogène, original et dans un français impeccable.
- La longueur totale du travail écrit est laissée à la discrétion du groupe mais on demande une **contribution individuelle de chaque étudiant d'au moins 10 pages**.
- Les critères d'évaluation sont :
 - le sujet (niveau de difficulté, niveau de la littérature existante),
 - le contenu (synthèse, vulgarisation, logique, clarté, maîtrise du sujet, précision, rigueur, richesse),
 - les références (bibliographie, citations, diversité et pertinence) et
 - la présentation (orthographe, syntaxe, style, équations, figures, tableaux, table des matières, cohérence de l'ensemble).
- Le travail écrit **doit être remis sous forme papier ainsi que sous forme de document électronique**. Ce dernier peut être transmis par courriel ou autre moyen.

2. Projet - présentation orale :

- Chaque étudiant doit ensuite faire une présentation orale mettant en valeur sa contribution individuelle.
- Si le projet est fait en équipe, un seul document visuel (powerpoint ou beamer) est permis et les étudiants font leur présentation tour à tour.
- Chaque étudiant est évalué séparément sur sa communication orale.

(Voir au verso pour une liste de suggestions de sujets)

Voici quelques suggestions de sujets pour le projet. Cette liste est loin d'être exhaustive :

- Certain(s) accélérateur(s) et/ou détecteur(s) ;
- Découverte (réalisée ou anticipée) des certaines particules ;
- Test de loi de conservation. Violation CP ;
- Evidences expérimentales de l'existence des quarks ;
- Largeur de désintégration du Z^0 (nombre de famille) ;
- Brisure de symétrie (mécanisme de Goldstone) ;
- Principe et théories de jauge ;
- Modèles des partons ;
- Technicouleur ;
- Brisure de symétrie (mécanisme de Higgs) ;
- Supercordes ;
- Modèle du sac de MIT ;
- Neutrinos ;
- Théories de jauge sur réseau
- Renormalisation ;
- Supersymétrie ;
- Higgs ;
- Traitement plus poussé de certaines sections des notes de cours ;
- Sujets traités les années précédentes (voir <http://feynman.phy.ulaval.ca/marleau/intl/fr/cours.html#projets>) ;
- Tout autre sujet pertinent à la physique des particules (en cas de doute sur la pertinence, vous pouvez me consulter)...

Attention! Certains sujets sont difficiles à aborder. Par exemple, on peut traiter les supercordes à un niveau plutôt descriptif ou bien à un niveau qui requiert des notions de théorie des champs. Toutefois, il est difficile de trouver un niveau intermédiaire de discussion auquel on s'attend pour le projet.)