

Solution Numérique d'électrodynamique quantique non-perturbative (QED)

Spécialité Physique théorique, mécanique quantique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 1

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 09/05/2021

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [MEZRAG Cédric](#)

+33 1 69 08 87 19

cedric.mezrag@cea.fr

Résumé

Le but du stage est de résoudre numériquement un système d'équations intégral-différentielles décrivant la manière dont l'électron d'un part, et le photon d'autre part, se propage dans le vide.

Sujet détaillé

Le monde de la physique des particules se trouve à la confluence de deux grandes théories du XXe siècle : la relativité spéciale et la mécanique quantique. Une fois combinées, ces deux théories donnent naissance au cadre de la théorie quantique des champs, dont les développements les plus célèbres sont l'électrodynamique quantique (QED), la chromodynamique quantique (QCD) et la théorie électrofaible, ces deux dernières constituant le modèle standard des particules.

Bien que ces théories soient bien établies, dans le sens où leurs Lagrangiens sont connus, une solution algébrique reste hors de portée. Historiquement, les résultats n'ont été obtenus que par la théorie des perturbations, excluant le calcul des propriétés des états liés. Cela pose des difficultés. Par exemple, on ne peut accéder expérimentalement qu'aux états liés de la QCD (proton, noyau, pion...), les quarks et les gluons restant confinés dans ces derniers. Au cours des 20 dernières années, d'importants progrès ont été réalisés dans l'étude des propriétés des états liés en utilisant d'importantes simulations informatiques. Cependant, ces dernières sont réalisées dans l'espace euclidien, ce qui complique fortement l'étude de la région causale.

Pourtant, d'autres approches non perturbatives sont possibles. Parmi elles, les techniques du continuum basées sur la version quantique des équations d'Euler-Lagrange se révèlent prometteuses. Elles consistent en un ensemble infini d'équations intégral-différentielles couplées, tronquées par des hypothèses physiques appropriées. Un nouvel ensemble de 6 équations intégral-différentielles couplées a récemment été dérivé en collaboration avec l'université La Sapienza (Rome). Cet ensemble a la particularité d'être obtenu directement dans l'espace de Minkowski. Par conséquent, il pourrait déclencher de nouvelles études dans la région causale, qui était jusqu'à présent hors de portée des simulations informatiques.

Le candidat au stage se concentrera sur la construction d'un algorithme numérique capable de résoudre la version quantique des équations d'Euler-Lagrange dans la QED. L'objectif est de comprendre comment les fluctuations

quantiques modifient la propagation des électrons et des photons dans le vide. Deux étapes sont envisagées :

1. Le système d'équations sera simplifié de telle sorte que les fluctuations modifiant la propagation des photons soient négligées. Le système est réduit de 6 à 4 équations, décrivant uniquement la propagation des électrons.

2. Si les résultats de la première étape sont prometteurs, la deuxième étape consistera à résoudre le système complet.

Au-delà des deux étapes décrites ici, le présent travail débloquerait la possibilité de calculer les propriétés des états liés dans la région causale. Je m'attends donc à ce que, en cas de succès, les études débouchent sur des publications et aient un impact significatif dans la communauté de la physique des hadrons.

Mots clés

Analyse numérique

Compétences

Solver numérique d'équation différentielles

Logiciels

C++

Numerical solution to Non-perturbative Quantum Electro-Dynamics (QED)

Summary

The aim of the internship is to numerically solve a system of integro-differential equations describing the way in which the electron on the one hand, and the photon on the other hand, propagates in vacuum.

Full description

The world of particle physics lies at the confluence of two major theories of the twentieth century : special relativity and quantum mechanics. Once combined, these two theories give birth to the framework of quantum field theory, whose most famous developments are quantum electro-dynamics (QED), quantum Chromodynamics (QCD) and electro-weak theory, the two latter composing the standard model of particles.

Although these theories are well established, in the sense that their Lagrangian are known, an algebraic solution remains out of reach. Historically, results were obtained only through perturbation theory, precluding the computations of bound states properties. This is certainly an issue, as for instance, one can only experimentally access bound-states of QCD (proton, nuclei, pion...) as quarks and gluons remain confined in the latter. In the last 20 years, important progresses have been done to study bound states properties using heavy computer simulations. However, the latter are performed in Euclidean space, strongly complicating the study of the causal region.

Yet, other non-perturbative approaches are possible. Among them, continuum techniques based on the quantum version of the Euler-Lagrange equations are promising. They consist in an infinite set of coupled integro-differential equations truncated through appropriate physical assumptions. A new set of 6 coupled integro-differential equations has recently been derived in collaboration with the Universiy La Sapienza (Rome). This set has the particularity to be obtained directly in Minkowski space. Therefore, it could trigger new studies in the causal region, which was, until now, out of reach of computer simulations.

The internship candidate will focus on the construction of a numerical algorithm able to solve the quantum version of the Euler-Lagrange equations in QED. The goal is to figure out how the quantum fluctuations modify the propagation of the electrons and photons in the vacuum. Two steps are considered :

1. The set of equation will be simplified in such a way that the fluctuations modifying the photon propagation are neglected. The system is reduced from 6 to 4 equations, describing only the electron propagation.
2. If the results of the first step are promising, solving the full system will be the second step.

Beyond the two steps described here, the present work would unlock the possibility to compute bound-states properties in the causal region. I therefore expect that, if successful, the studies will lead to publications and will have a significant impact in the hadron physics community.

Keywords

Numerical analysis

Skills

Numerical solver of differential equations

Softwares

C++