

THESE de DOCTORAT du PÔLE THÉORIE



LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES DEUX
INFINIS IRÈNE JOLIOT-CURIE
Pôle de Physique Théorique
Bât. 100, F-91406 ORSAY CEDEX
Tél (33)-(0)1-6915-4100



Alireza Dehghani

Université Paris-Saclay, CNRS/IN2P3, IJCLab, 91405
Orsay, France

Reactions with antiprotons in the theory of cold nuclear collisions

Réactions avec des antiprotons dans la théorie des collisions froides nucléaires

New antiproton experiments at CERN AD have once again sparked interest in theoretical studies of nuclear systems with antiprotons. In a challenging attempt, the antiProton Unstable Matter Annihilation (PUMA) experiment aims to study surface properties of stable and unstable nuclei using antiprotonic probes. To provide theoretical support for the experiment, we use the No-Core Shell Model/Resonating Group Method (NCSM/RGM) to establish a fully *ab initio* framework for studying antiproton-nucleus systems at low energies. We begin by highlighting some interesting aspects of antiprotonic physics, i.e., the formation of exotic atoms and annihilation into mesons. After discussing the elements of nucleon-antinucleon ($N\bar{N}$) interaction, we present a detailed description of the NCSM/RGM formalism adapted to study these systems. Specifically, we explain how we modified the formalism by removing the antisymmetrization of the total wavefunction under the exchange of particles between target and projectile constituents. We find that the $N\bar{N}$ interaction has significantly larger two-body matrix elements compared to the NN counterpart; therefore, one has to achieve exceptionally large model spaces to assure convergence of the NCSM/RGM potential, which is expanded in a harmonic oscillator basis. Furthermore, we face some numerical artifacts when we introduce this strong $N\bar{N}$ interaction into the NCSM/RGM formalism. We try to explain their origins and provide an approach to overcome these issues. We will present our results for antiprotonic systems with proton, deuteron, triton, helium-3, and helium-4 targets. These include observables such as phase shift, atomic and nuclear quasibound state energies, scattering length, annihilation density, and reaction cross section. This work shows the applicability of the method to these systems and provides a machinery that can be extended to heavier antiprotonic systems.

THESE de DOCTORAT du PÔLE THÉORIE



LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES DEUX
INFINIS IRÈNE JOLIOT-CURIE
Pôle de Physique Théorique
Bât. 100, F-91406 ORSAY CEDEX
Tél (33)-(0)1-6915-4100



Les nouvelles expériences sur les antiprotons menées à l'AD du CERN ont de nouveau suscité un intérêt pour les études théoriques des systèmes nucléaires contenant des antiprotons. Dans une tentative ambitieuse, l'expérience PUMA (antiProton Unstable Matter Annihilation) vise à étudier les propriétés de surface des noyaux stables et instables à l'aide de sondes antiprotoniques. Afin d'apporter un soutien théorique à cette expérience, nous utilisons la No-Core Shell Model/Resonating Group Method (NCSM/RGM) pour établir un cadre entièrement *ab initio* pour l'étude des systèmes antiproton-noyau à basse énergie. Nous commençons par mettre en évidence certains aspects intéressants de la physique des antiprotons, notamment la formation d'atomes exotiques et l'annihilation en mésons. Après avoir discuté des éléments de l'interaction nucléon-antinucléon ($N\bar{N}$), nous présentons une description détaillée du formalisme NCSM/RGM adapté à l'étude de ces systèmes. Plus précisément, nous expliquons comment nous avons modifié le formalisme en supprimant l'antisymétrisation de la fonction d'onde totale sous l'échange de particules entre les constituants du projectile et de la cible. Nous constatons que l'interaction $N\bar{N}$ présente des éléments de matrice à deux corps significativement plus grands que ceux de l'interaction NN . Il est donc nécessaire d'atteindre des espaces modèles exceptionnellement grands pour assurer la convergence du potentiel NCSM/RGM, qui est développé sur une base d'oscillateur harmonique. Par ailleurs, l'introduction de cette forte interaction $N\bar{N}$ dans le formalisme NCSM/RGM entraîne certains artefacts numériques. Nous tentons d'expliquer leur origine et proposons également une approche pour surmonter ces problèmes. Nous présentons nos résultats pour des systèmes antiprotoniques ayant pour cibles le proton, le deuteron, le triton, l'hélium-3 et l'hélium-4. Ceux-ci incluent des observables telles que le déphasage, les énergies des états quasi-liés atomiques et nucléaires, la longueur de diffusion, la densité d'annihilation, et la section efficace de réaction. Ce travail démontre l'applicabilité de la méthode à ces systèmes et fournit un cadre qui peut être étendu à des systèmes antiprotoniques plus lourds.

Tuesday 30th September 2025, 14:00
IJCLab, Build. 100, Salle des
Conseils

