

"Études de manipulation d'antiprotons de basse énergie et production d'antihydrogène"

Le Modèle Standard prédit que chaque particule possède une antiparticule de masse identique et de charge opposée, pourtant l'asymétrie matière-antimatière observée dans l'Univers reste inexpliquée. Tester la conservation CPT avec de l'antimatière constitue ainsi une sonde de nouvelle physique potentielle. Le Modèle Standard n'incluant pas la gravité, une autre voie vers une nouvelle physique avec l'antimatière consiste à tester le principe d'équivalence faible, sur lequel repose la théorie de la Relativité Générale. L'expérience GBAR, installée auprès de l'anneau décélérateur ELENA, qui fait partie de l'Antimatter Factory du CERN, vise à mesurer l'accélération de chute libre de l'antihydrogène, produit sous la forme d'un ion $\bar{H}^+$ refroidissable via deux réactions successives d'échange de charge entre un faisceau d'antiprotons de très basse énergie et un nuage de positronium (Ps).

Cette thèse contribue à trois étapes de ce programme. Un écart entre la transmission simulée (100%) et mesurée (68%) du faisceau d'antiprotons décéléré à travers le piège d'accumulation de GBAR a motivé une mesure de l'émittance transverse du faisceau ELENA, à l'aide d'une méthode de balayage adaptée aux lentilles électrostatiques Einzel de GBAR. À l'énergie nominale de 100 keV, l'émittance mesurée est en accord avec le modèle d'optique du faisceau ELENA, mais à 6 keV elle est environ deux fois plus grande que prévu, un effet attribué à la charge d'espace et confirmé par des simulations SIMION et RF-Track. L'émittance du faisceau extrait du piège a également été mesurée, montrant que le champ de fuite du piège dégrade encore davantage le faisceau, avec un compromis entre confinement et qualité du faisceau selon le champ de piégeage (3 T contre 5 T).

La section efficace de la première réaction d'échange de charge, $\bar{p} + \text{Ps} \rightarrow \bar{H} + e^-$, est mesurée pour la première fois à 4 et 6 keV, donnant respectivement $(10,6 \pm 4,8)$ et $(20,2 \pm 2,6) \times 10^{-16} \text{ cm}^2$, en excellent accord avec un modèle théorique à trois corps exact. En raison d'une large gamme de prédictions pour la seconde réaction, $\bar{H} + \text{Ps} \rightarrow \bar{H}^+ + e^-$, une campagne de mesure dédiée a été menée pour la réaction équivalente côté matière, en utilisant le faisceau H^- d'ELENA et un schéma de photodissociation (dans le cadre du projet ANR SPHINX) pour produire des atomes d'hydrogène.

Les premiers résultats du projet SPHINX sont présentés : un excès de $1,82 \sigma$ est observé à 6 keV, cohérent avec un signal proche du seuil cinématique de la réaction, mais encore dominé par un bruit de fond commun dont l'origine probable et les stratégies d'atténuation sont discutées.