

Nouvelles sondes --- Les neutrinos

La disponibilité de faisceaux intenses et purs de neutrinos d'énergie incidente variable offrirait l'opportunité unique de répondre à certaines des questions ouvertes concernant les réactions neutrino-noyau ainsi que d'améliorer notre connaissance des modes d'isospin et de spin-isospin.

Modes de spin-isospin et d'isospin

Depuis très longtemps la désintégration β des noyaux et la capture muonique sont utilisés pour étudier l'interaction faible ainsi que la structure des noyaux. C'est à l'aide de ces processus faibles que beaucoup d'informations sur les transitions vers les modes de spin-isospin et d'isospin tels que la résonance de Gamow-Teller ou bien l'état isobarique analogue ont été obtenues. Il faut noter qu'en dépit des efforts déployés, le problème du « quenching » des états des Gamow-Teller reste une question non résolue. En ce qui concerne les transitions vers les états interdits de plus haute multipolarité, à l'heure actuelle, seuls les états « spin-dipole » ont été étudiés par les réactions d'échange de charge comme (p,n) ou (n,p). Le processus de capture muonique fournit également de l'information globale sur certains de ces états. Toutefois, dans ce cas, seul un nombre restreint des états peut être peuplé car l'énergie transférée au noyau est limitée. Dans ce contexte, les neutrinos représentent une sonde très intéressante pour l'étude des modes d'isospin et de spin-isospin de plus haute multipolarité, en particulier de leur centroïde, de leur largeur ainsi que des probabilités de transition. Ces transitions pourraient également être affectées par un « quenching ». L'énergie transférée au noyau est déterminée par l'énergie incidente des neutrinos, qui peut être variée, en modifiant la source de neutrinos. L'importance relative des transitions vers les états de plus haute multipolarité change au fur et à mesure que l'énergie des neutrinos augmente (Figure 1). La disponibilité d'une source de neutrinos d'énergie variable permettrait d'étudier ces modes et leur importance relative pour des énergies croissantes des neutrinos.

Réactions neutrino-noyau

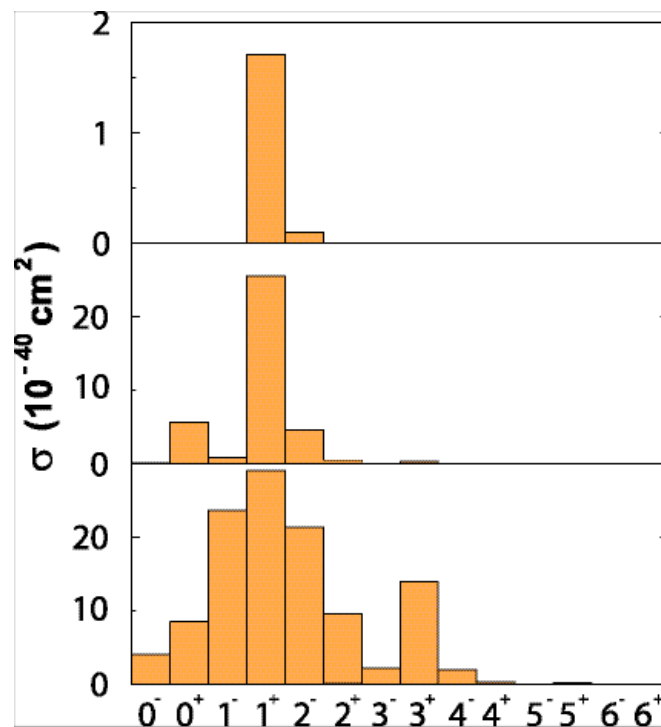
Les réactions induites par des neutrinos sur le noyau sont à l'heure actuelle d'un grand intérêt pour divers domaines de la physique comme la physique des hautes énergies et l'astrophysique. En effet, les noyaux sont souvent utilisés pour détecter les neutrinos émis dans l'explosion d'une supernova de type II ou dans les expériences de neutrinos (e.g. d'oscillation). Ces réactions interviennent aussi dans la synthèse des éléments lourds lors du processus-r. Il existe à présent peu de données expérimentales : une mesure dans le deuton, plusieurs dans le carbone et une dans le fer. Les prédictions théoriques sont, dans ce contexte, indispensables. En particulier, on passe d'une région où les corrélations nucléaires sont importantes (pour des énergies incidentes d'une dizaine à quelques dizaines de MeV) à une région où les degrés de libertés nucléoniques sont prédominants (quand l'énergie des neutrinos devient de l'ordre des plusieurs centaines de MeV voir des GeV). Du point de vue théorique les modèles utilisés dans le premier cas sont le modèle en couches, l'Approximation des Phases Aléatoires avec échange de charge (avec des particules ou des Quasi-particules), les Théories Effectives, alors qu'à très haute énergie le noyau est traité en tant que Gaz de Fermi (avec des corrections, comme celles dues au Principe d'exclusion de Pauli). L'interpolation entre ces deux régions se situe entre l'ensemble des questions ouvertes, au même titre que le problème de l'extrapolation de notre connaissance de ces réactions des

noyaux stables vers les noyaux loin de la vallée de stabilité qui interviennent dans les calculs de nucléosynthèse.

Projets futurs

À présent les études mentionnées ci-dessus ne peuvent être réalisées vu l'absence de faisceaux de neutrinos de basse énergie, et de faisceaux où l'énergie peut être variée facilement. En 2000, une proposition pour une installation de neutrinos de basse énergie a été faite, i.e. ORLAND, qui aurait exploité la désintégration β des muons au repos en tant que source de neutrinos. Récemment une nouvelle méthode pour la production des neutrinos a été introduite: les beta-beams. Elle consiste à utiliser la désintégration β des noyaux accélérés pour produire des faisceaux purs de ν_e et de anti- ν_e . L'Helium-6 et le Neon-18 sont les meilleurs candidats en tant qu'émetteurs beta-beam. L'énergie des neutrinos peut être modifiée en variant l'énergie des ions. Une installation beta-beams de basse énergie telle qu'elle a été proposée offrirait l'opportunité unique de réaliser des études systématiques des interactions neutrino-noyau ainsi que des modes d'isospin et de spin-isospin de haute multipolarité. D'autres propriétés des neutrinos comme le moment magnétique pourraient être étudiées. La production des ces faisceaux pourrait se faire dans le cadre d'une extension du projet EURISOL et d'une installation beta-beam de haute énergie au CERN qui aurait pour but, entre autre, d'étudier la violation de CP dans le secteur des leptons. L'étude de faisabilité d'une installation beta-beam de basse énergie sera réalisée - conjointement au projet de haute énergie - au sein du « Design Study » de EURISOL.

Fig. 1: Contribution des états de différentes multipolarités à la section efficace totale de réaction $^{208}\text{Pb}(\nu_e, e^-)^{208}\text{Bi}$ pour diverses énergies incidentes des neutrinos, i.e. $E_\nu=15\text{ MeV}$ (haut), 30 MeV (milieu), 50 MeV (bas). Les états 0^+ et 1^+ correspondent aux transitions vers l'état isobarique analogue et la résonance de



Gamow-Teller respectivement. Les états $0^-, 1^-, 2^-$ se réfèrent aux transitions vers les états « Spin-Dipole ».