

Verso una misura con sensibilità di 10^{-29} e·cm del momento di dipolo elettrico (EDM) del deutone

Un valore non nullo dell'EDM (diretto lungo la direzione di spin [1]) di una particella subatomica, rappresenta una violazione della simmetria per inversione temporale, spiegabile soltanto in termini di nuova fisica. Si tratta quindi di una misura con impatto notevole sia in fisica fondamentale che in cosmologia, con conseguenze, tra le altre, riguardo il surplus di materia presente nell'universo [2].

Una sensibilità di 10^{-29} e·cm nella misura dell'EDM del deutone rappresenterebbe un miglioramento di vari ordini di grandezza rispetto al valore esistente per il neutrone e permetterebbe di aprire una finestra di indagine nella regione di previsione dei modelli supersimmetrici e di grande unificazione [3] rappresentando in aggiunta un metodo alternativo e complementare alle misure possibili con LHC.

I primi tentativi di misura di un EDM risalgono agli inizi degli anni '50 tramite lo studio degli effetti prodotti da un campo elettrico estremamente intenso sulla frequenza di precessione delle particelle confinate in trappole magnetiche. Con tale tecnica sono state raggiunte delle sensibilità molto elevate, tra cui, quelle sull'EDM del neutrone ($6 \cdot 10^{-26}$ e·cm [4]) e dell'elettrone ($1.6 \cdot 10^{-27}$ e·cm [5]).

I limiti principali di questi esperimenti risiedono nella produzione e nel controllo del campo elettrico: l'allineamento ed il mantenimento dei valori attualmente raggiunti (~ 2 MV/m) rappresentano delle vere e proprie sfide tecnologiche.

La proposta in oggetto intende utilizzare un metodo innovativo che prende spunto dalle misure della anomalia magnetica ($g-2$) del muone condotti al CERN e a BNL. Tali esperimenti hanno mostrato come un EDM del muone diverso da zero produca un disallineamento tra il piano dell'orbita e quello di precessione dello spin (inizialmente allineati) [6]. In particolare il muone, che nel riferimento del laboratorio è soggetto ad un puro campo magnetico \mathbf{B} , nel suo sistema di riferimento di quiete, per effetto della trasformazione di Lorentz del campo magnetico, risente di un campo elettrico dato dal prodotto $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, che può raggiungere valori dell'ordine di GV/m (per $B \sim$ Tesla). In presenza di un EDM, un campo elettrico così intenso produce un oscillazione dello spin nel piano ortogonale all'orbita con frequenza pari a quella di precessione associata a $g-2$. Purtroppo, tale effetto rappresenta una piccola perturbazione al moto "planare" (di precessione) dello spin, ed è quindi difficilmente rivelabile. (In effetti il limite sull'EDM del muone, ottenuto nella misura dell'anomalia magnetica è di 10^{-18} e·cm).

Si è però dimostrato che una modulazione forzata della velocità delle particelle circolanti per mezzo di oscillazioni di sincrotrone può consentire un sostanziale aumento della sensibilità del metodo, fino a valori molto piccoli dell'EDM ($\sim 10^{-29}$ e·cm nel caso del deutone). In questo approccio [7], argomento della presente proposta, la componente verticale dello spin, proporzionale al valore dell'EDM, viene accumulata attraverso una modulazione della velocità del deutone, ottenuta per mezzo di oscillazioni di sincrotrone. Per poter raggiungere questa accumulazione occorre che le frequenze di precessione e di sincrotrone siano le stesse, ossia che si raggiunga una condizione di risonanza.

Tale proposta [8], presentata a Settembre 2006 al PAC di BNL, è stata accolta molto positivamente [9].

Al di là dell'interesse e della difficoltà tecniche della macchina (necessità di accumulare 10^{12} deutoni di impulso dell'ordine di 1.5 GeV/c per circa un'ora) su cui lavorano un gruppo di esperti principalmente di BNL, la parte centrale della misura riguarda la rivelazione della componente verticale dello spin, che porta l'informazione sull' EDM, e il cui segnale aumenta proporzionalmente al tempo di accumulazione del fascio.

A tale scopo è necessaria una estrazione lenta del fascio di deutoni per mezzo di una jet target per farlo incidere su un bersaglio anulare di carbonio posto sulla linea del fascio. A circa due metri di distanza dal bersaglio verrebbe posizionato il polarimetro che deve consentire una misura dell'asimmetria di conteggio destra-sinistra risultante dalla diffusione deutone-carbonio da cui verrebbe ricavata la polarizzazione verticale del fascio di deutoni.

Ingrediente fondamentale nella misura della polarizzazione è la conoscenza del potere analizzante della reazione $d + {}^{12}\text{C}$. I dati a disposizione sono difficili da utilizzare, in quanto contengono il contributo di più canali (elastici ed inelastici) per lo stato finale del carbonio e in quanto ottenuti a energie diverse da quella prevista nel presente progetto.

La nostra proposta è quindi incentrata nella necessità di una nuova misura della sezione d'urto e del potere analizzante del processo $d + {}^{12}\text{C}$, alla medesima energie che sarà utilizzata nell'esperimento finale, cercando di isolare il più possibile il contributo del processo elastico, più sensibile alla componente verticale della polarizzazione del deutone.

Si pensa di eseguire tale misura a COSY (probabilmente all'inizio del prossimo anno), sfruttando i rivelatori lì esistenti, per separare il contributo elastico da quello inelastico attraverso una misura di tempo di volo.

Ad oggi il progetto del polarimetro è ancora ai primi passi, e la tecnologia da utilizzare, deve essere in gran parte definita. A tale scopo, il gruppo italiano vorrebbe studiare la possibilità di utilizzare la tecnologia degli RPC a multi-gap (MRPC) per il polarimetro. Tali rivelatori, utilizzati da ALICE-TOF, permettono un'altissima risoluzione temporale (~ 50 ps), forniscono una risoluzione spaziale del cm e sono in grado di sostenere rates dell'ordine di $1-2$ kHz/cm².

Queste caratteristiche sembrano compatibili con le richieste sul polarimetro ed una prima proposta di questo tipo è stata presentata alla collaborazione.

1. I.B. Khriplovich and S.K. Lamoreaux, *CP-Violation without Strangeness*, Springer-Verlag Eds., (1997).
2. A.D. Sakharov, JETP Lett. **5**, 24 (1967).
3. M. Pospelov and A. Ritz, Ann. Phys. **318**, 119 (2005).
4. P.G. Harris et al., Phys. Rev. Lett. **82**, 904 (1999).
5. B.C. Regan, E.D. Commins, C.J. Schmidt, and D. DeMille, Phys. Rev. Lett. **88**, 071805 (2002).
6. J. Bailey et al., J. Phys. G **4**, 345 (1978).
7. Y.F. Orlov, W.M. Morse, and Y.K. Semertzidis, Phys. Rev Lett. **96**, 214802 (2006).
8. D. Babusci *et al.* http://www.bnl.gov/edm/loi06_8_060905.pdf .
9. BNL-PAC recommendation, *in allegato* .

I proponenti:

D. Babusci, A.Ferrari, P. Levi Sandri, G.Venanzoni
LNF

R. Messi, D. Moricciani,
Sezione INFN di Roma 2

G. Zavattini
Università e Sezione INFN, Ferrara

Marzo 2007

Please find below the recommendation of the NPP PAC from September.

LoI: Search for a Deuteron Electric Dipole Moment Using a Charged Particle Storage Ring

This letter proposes a search for a deuteron electric dipole moment using a stored beam. The goal is a statistical precision of about 10^{-29} e·cm; an appropriate level for an experiment we expect would take a number of years to develop. In this experiment, a longitudinally polarized beam develops a vertical spin component due to the torque of the motional electric field in the ring bending magnets acting on the electric dipole moment. The PAC is enthusiastic about this ingenious new approach to electric dipole moment searches. Because it is a new technique, however, there will be a daunting new set of false edm effects and associated systematic errors to consider. We believe it is very important to identify the most important of these difficulties and address them with a combination of simulation and measurement. We strongly encourage the collaboration to investigate the options for measurements in existing rings with polarized deuteron beams. Development of a program of simulations and tests should include, but not be limited to, complete characterization (intensity, size, energy, polarization) of the tails of the beam and their effects on the measurement, investigations of resonant extraction, considerations of correlations between energy and position in the 'extraction' region, and characterization of the effects of common lattice imperfections. Indeed, short of implementing the resonant enhancement of vertical polarization described in the proposal, measurements of zero left-right asymmetries at the requisite level must be demonstrated. A clear plan for near-term milestones including consideration of these issues (over perhaps a two-year period) should accompany any request to the laboratory for continued support.

Clearly there is enthusiasm for your continuing development of this experiment and I look forward to a plan as suggested in the last sentence of the recommendation.