

Esperimento di ‘charge breeding’ con cannone elettronico a catodo cavo

*Vincenzo Variale (INFN-Bari, Bari), Gennady I. Kuznetsov, Marina Batasova (BINP SB RAS, Novosibirsk)
Tarcisio Clauser, Antonio C. Rainò (Università di Bari, Bari; INFN-Bari, Bari)*

Abstract

Il ‘charge breeding’ è in dispositivo, usato nella produzione di fasci radioattivo (RIB) con la tecnica ISOL (Isotope Separation on Line), che incrementa lo stato di carica di ioni $1+$, in esso iniettati, fino a $n+$. Tale dispositivo è utilizzato per ottimizzare e ridurre i costi della riaccelerazione degli elementi radioattivi prodotti da un fascio primario. In alcuni esperimenti possono essere richiesti RIB continui ad una certa energia. Il dispositivo di ‘charge breeding’ basato su sorgenti di tipo EBIS non può raggiungere un funzionamento in continua in quanto gli ioni con alto stato di carica $n+$, prodotti nella trappola EBIS, sono estratti dalla stessa parte da cui sono iniettati gli ioni $1+$, ossia, dal collettore di elettroni. In questa proposta, si prevede di usare una EBIS con cannone elettronico a catodo cavo per provare a realizzare un ‘charge breeding’ che abbia la possibilità di funzionare anche in continua, con un duty cycle più elevato. Infatti un sistema di iniezione degli ioni $1+$ dalla parte del catodo dovrebbe permettere oltre ad una maggiore facilità di estrazione degli ioni $n+$ anche la possibilità di raggiungere, almeno in linea di principio, il funzionamento in CW.

INTRODUZIONE

E’ in via di ridefinizione il progetto SPES presso i LNL che anche in questa ultima versione prevede una tecnica di charge breeding che ha lo scopo di ottimizzare l’efficienza di accelerazione secondaria degli ioni radioattivi abbattendone ulteriormente i costi.

Già alcuni anni fa, durante la progettazione del ‘primo’ SPES come facility di ioni radioattivi ai LNL, in parallelo, è stato finanziato dal gruppo5 un progetto di R&D (suddiviso, nel tempo, praticamente in tre esperimenti) sulla tecnica del ‘charge breeding’.

Nel primo esperimento, BRIC, si è progettata e realizzata una EBIS (relativamente a basso costo) per charge breeding su cui era montato un quadrupolo a rf col fine di realizzare un contenimento selettivo degli ioni per aumentare la efficienza di

charge breeding.

Gli esperimenti finanziati successivamente, TASK e COSE, hanno permesso di mettere in evidenza, sia attraverso un codice di simulazione (BRICTEST) che sperimentalmente, l’esistenza di tale effetto anche per ioni molto pesanti (come lo Xe). I suddetti esperimenti di test per charge breeding hanno suscitato un certo interesse anche in campo europeo in quanto, in questi ultimi anni, è stato ottenuto, dal nostro gruppo, anche un finanziamento europeo come un R&D delle tecniche di charge breeding nell’ambito del progetto EURISOL_DS.

Negli esperimenti, eseguiti precedentemente, comunque, pur avendo come fine l’ottimizzazione del processo di charge breeding basato su EBIS, non era mai affrontata la delicata sperimentazione che comporta il ‘charge breeding’ vero e proprio. Ossia, la iniezione di ioni con stato di carica $1+$, provenienti dal complesso ‘Target di produzione elementi radioattivi + sorgente di ioni, nella sorgente ad alto stato di carico EBIS. Dove gli ioni, portati a uno stato di carica $n+$, vengono estratti per l’accelerazione secondaria.

Con l’esperimento TEBREC (TEst BREeding Charge) si vuole utilizzare il dispositivo BRIC realizzato in precedenza [1] per poter fare un reale esperimento di charge breeding. In particolare si vuole sperimentare una nuova tecnica di iniezione degli ioni $1+$ nella trappola EBIS che permetterebbe, in linea di principio, di dare al dispositivo di charge breeding un funzionamento in CW.

L’ ESPERIMENTO

Presso i LNL è già assemblata una EBIS di test usata per il passato esperimento [1]. La progettazione delle modifiche da apportare a tale apparato sperimentale per fare un esperimento di charge breeding è in via di definizione, come verrà mostrato di seguito.

Non avendo a disposizione elementi radiattivi ci si propone di usare una comune sorgente a superficie di ioni $1+$. Gli ioni $1+$, normalmente, per un charge breeding basato su EBIS, vengono iniettati

attraverso un canale ottico fino al collettore della EBIS, dal quale poi vengono pure estratti una volta che hanno raggiunto lo stato di carica $n+$. Tale sistema di iniezione, oltre ad aumentare la complicazione del funzionamento lo rende intrinsecamente impulsato con un duty cycle che, a seconda del grado di complicazione del sistema iniettore - estrattore, può risultare anche abbastanza basso. Gli ioni $1+$ ed $n+$, infatti, essendo iniettati ed estratti, rispettivamente dallo stesso foro del collettore dell'EBIS, hanno bisogno di un deflettore elettrostatico ed un sistema di guida impulsato per farlo senza interferire gli uni con gli altri.

Il nostro esperimento, invece, prevede di provare l'iniezione degli ioni $1+$ nel charge breeder invece che dalla parte del collettore dalla parte del cannone elettronico, utilizzando un catodo anulare o cavo (hollow cathode). L'utilizzo di tale tipo di catodo permetterebbe, infatti, di lasciare libero il collettore solo per l'estrazione degli ioni $n+$ (vedi schema di fig.1). Una tale configurazione aumenterebbe di sicuro notevolmente il 'duty cycle' del dispositivo ed in linea di principio, permettendo una iniezione continua degli ioni $1+$ nel charge breeder, potrebbe arrivare a funzionare in continua, a patto che lo stato di carica desiderato non richiedesse un valore di j_{etc} (parametro di breeder) troppo elevato. Gli ioni $1+$, infatti, possono essere iniettati continuamente nella trappola di BRIC purché abbiano un'energia leggermente superiore alla tensione dell'anodo che fa da barriera longitudinale alla trappola.

Tale test, ovviamente, comporterà una modifica del cannone elettronico per poter inserire l'hollow cathode attraverso il quale iniettare gli ioni $1+$.

Un cannone elettrico con catodo 'hollow' è stato già studiato e sperimentato qualche anno fa quando fu proposto per l' 'electron cooling' del progetto CRISTAL allora in fase di studio ai LNL [2,3,4]. In tale studio era, già allora, attivamente coinvolto il BINP di Novosibirsk che darà il suo contributo anche per questo esperimento nella realizzazione del 'hollow' cathode.

Una prima parte di finanziamento (circa 3 kE), accordatoci sulle dotazioni di gruppo 5 per il 2007 ha permesso di effettuare uno studio preliminare sulla possibilità di usare il dispositivo esistente BRIC per la realizzazione dell'esperimento di charge breeding richiesto. Le conclusioni di tale studio fatto in collaborazione con alcuni colleghi del BINP di Novosibirsk (temporaneamente ospiti dei LNL) sono riassunte di seguito.

Una prima conclusione di tale studio preliminare è che il disegno del cannone con catodo 'hollow' del tipo di ref. [2,3,4] non può essere utilizzato per il nostro esperimento per diversi motivi. Tale catodo, infatti, sembra non adatto a produrre le alte densità di correnti necessarie per il 'charge breeding' almeno con il valore di campo magnetico attualmente disponibile (1.6 kG) per il foceggiamento del fascio di elettroni. Inoltre, la sua configurazione non permetterebbe di usare il tubo del cannone esistente di BRIC in quanto troppo stretto per ospitare le opportune modifiche meccaniche.

Considerazioni sia sulla qualità che sulla compressione del fascio di elettroni generato ci suggeriscono di andare verso la scelta del catodo piano (fig.2(b)). Con tale scelta, infatti, pur avendo una densità di corrente, j_e , un po' più bassa, si ha un ottimo recupero del fascio di elettroni nel collettore il quale dovrebbe rimanere praticamente identico a quello usato nel dispositivo BRIC (vedi fig.3).

In fig. 4 è mostrato come il catodo piano studiato può essere inserito nel cannone di BRIC senza problemi. Le altre modifiche del dispositivo BRIC previste per la realizzazione dell'esperimento sono, in breve, dimezzare la lunghezza della trappola EBIS ed eliminare la parte all'ingresso del collettore che potrebbe da problemi in alto vuoto (vedi report esperimento COSE [5]). Anche la lunghezza del TOF per l'analisi degli stati di carica degli ioni sarà dimezzata per ottenere una migliore efficienza di raccolta degli ioni nella trappola EBIS.

Nello studio preliminare fatto quest'anno è stato disegnato anche un canale di iniezione degli ioni $1+$ nella trappola EBIS. Tale canale di iniezione

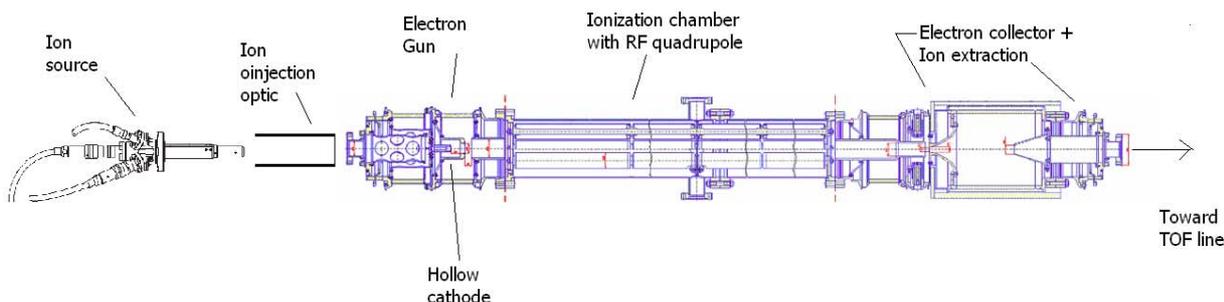


Fig. 1. Schema con iniezione degli ioni $1+$ dal cannone elettronico.

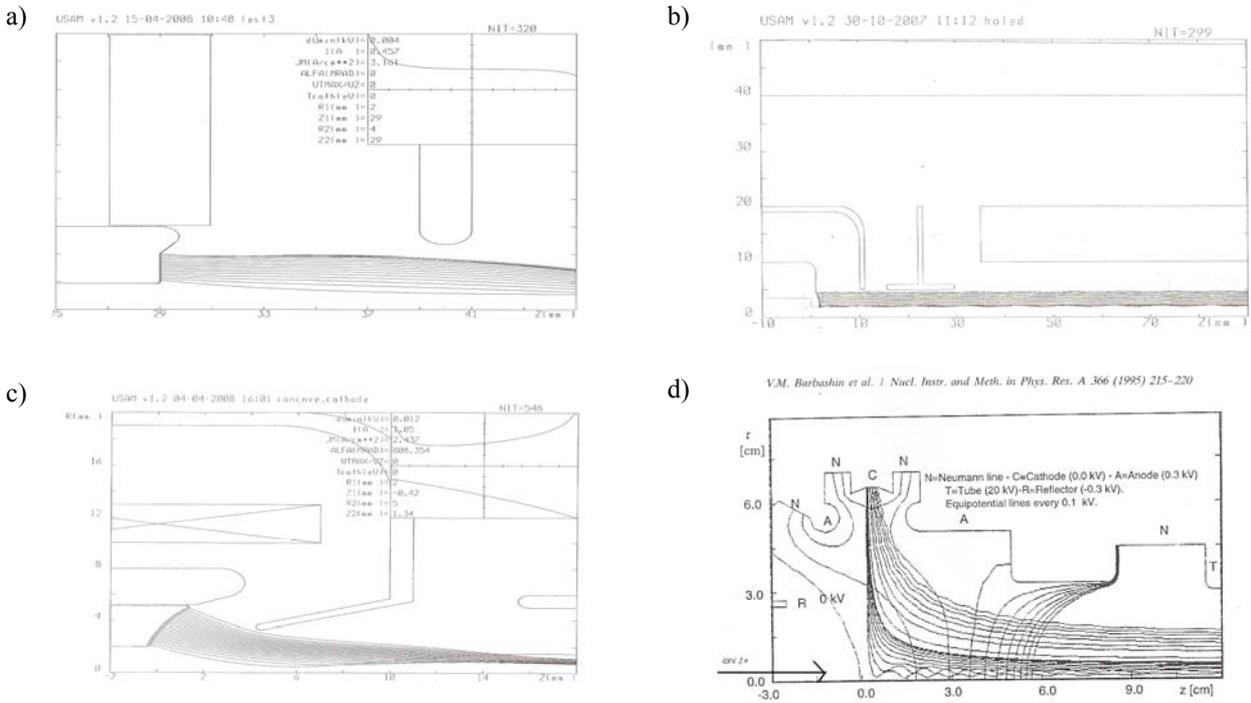


Fig. 2. Cannoni di elettroni con vari tipi di hollow cathode: a) catodo planare; b) catodo convesso; c) catodo concavo; d) catodo cilindrico.

ne è stato progettato in modo che gli ioni 1+ della sorgente arrivino dentro la trappola della EBIS dove avverrà il charge breeding con il minimo di energia possibile per rendere più efficiente il loro impatto con gli elettroni generati nel cannone con hollow cathode.

Il disegno del canale di trasporto degli ioni 1+ dalla sorgente fino alla trappola EBIS con iniezione attraverso il catodo cavo è stato studiato in linea di massima per valutarne le esigenze ed i costi. Le simulazioni di tale disegno sono mostrate in fig. 5.

CONCLUSIONI

L'esperimento TEBREC si prevede possa essere della durata di due anni. La progettazione dettagliata del canale di trasporto degli ioni 1+ dalla sorgente alla trappola EBIS attraverso il catodo già iniziata quest'anno si concluderà nella prima metà del prossimo anno. La realizzazione, quindi, degli elettrodi del canale si dovrebbe avere prima della fine della prossima estate. Nello stesso tempo si procederà con l'acquisto della sorgente di 'superficie' degli ioni 1+ e del test della stessa. La

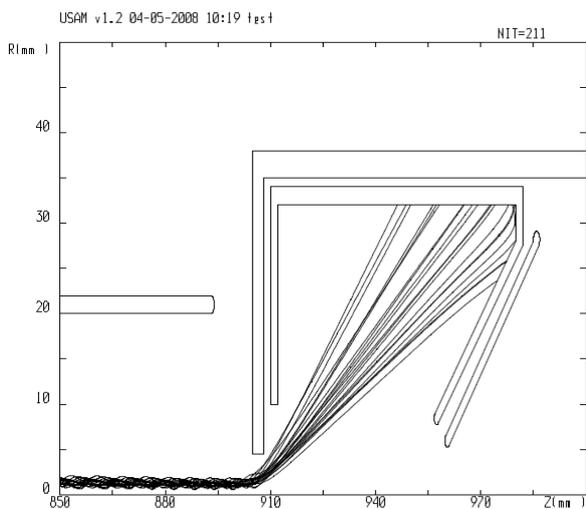


Fig. 3. Simulazione delle traiettorie degli elettroni entranti nel collettore alla fine della trappola EBIS per il caso del catodo piano.

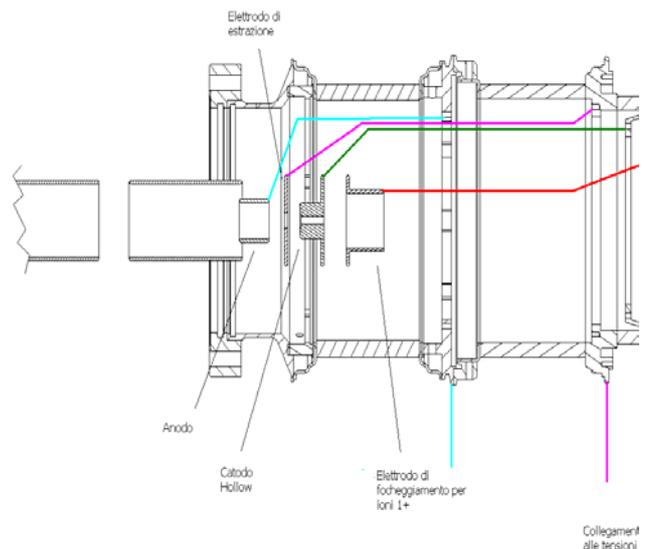


Fig. 4. Struttura del cannone di BRIC con il catodo 'hollow' ed i nuovi elettrodi per l'estrazione dei fasci di elettroni e l'iniezione degli ioni 1+.

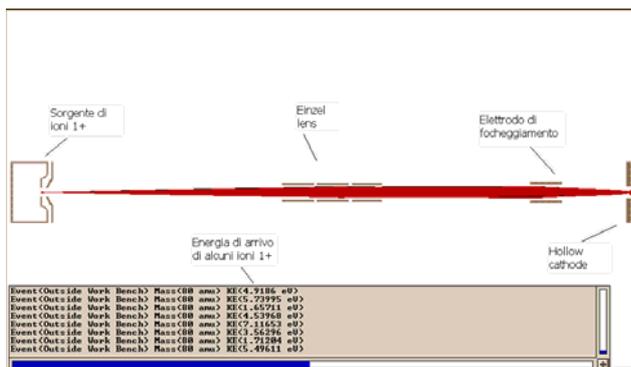


Fig. 5. Simulazione del trasporto del fascio di ioni 1+ attraverso il catodo 'hollow'. L'energia con cui arrivano gli ioni è molto bassa per permettere la loro cattura nella trappola.

progettazione e realizzazione del cannone elettronico con 'hollow cathode' attraverso la modifica del cannone esistente, utilizzato nel passato esperimento, si prevede possa concludersi prima della fine del prossimo anno. L'installazione della sorgente di 'superficie' a monte del cannone e il test dell'iniezione degli ioni +1 attraverso il catodo anulare nella trappola della sorgente EBIS procederà nell'anno successivo. Per la fine dello stesso anno sono previste le misure di 'charge breeding' di alcuni elementi

alcalini (ad es. Cs, Rb) attraverso lo studio della distribuzione dei loro stati di carica finali utilizzando il canale TOF del precedente esperimento.

REFERENCES

- [1] V. Variale, G. Brautti, T. Clauser, A. Rainò, V. Stagno, G. Lamanna, V. Valentino, A. Boggia, Y. Boilmelshtein, P. Logatchov, B. Skarbo and M. Tiunov, "An EBIS for charge state breeding in the SPES project", PRAMANNA- journal of physics, Vol. 59 (2002) 765.
- [2] N. Sharapa and A. V. Shemiakin, Nucl. Instr. And Meth., A336 (1993) 6.
- [3] V. M. Barbashin et al. Nucl. Instr. And Meth., A366 (1995) 215.
- [4] G. Ciullo et al., Rev. Sci. Instrum. Vol. 68 (1997) 1403.
- [5] V. Variale et al., "Selective containment in EBIS for charge breeding applications", NIM in Phys. res. A, 592 (2008) 9-15.