La collaborazione PREFER

Giuseppe Ciullo INFN & Università di Ferrara

per conto della collaborazione PREFER

PREFER

Polarization Research for Fusion Experiments and Reactors

Responsabile	Istituto @ città
R. Engels et al.	IKP-FZJ @ Jülich (Germania)
M. Büscher et al.	PGI-FZJ @ Jülich (Germania) ILPP-HH University @ Düsseldorf (Germania)
G. Ciullo et al.	INFN & University @ Ferrara (Italia)
A. A. Vasilyev et al.	PNPI – NRC KI @ Gatchina (Russia)
D. Toporkov	BINP @ Novosibirsk (Russia)
T.P. Rakitzis et al.	IESL-FORTH & University @ Creta (Grecia)

Campi di indagine

- Fusione con combustibile polarizzato.
- I progetti della collaborazione PREFER:
  - Sezione d'urto dipendente da spin (PNPI/FZJ/FE).
  - Produzione e manipolazione di combustibile polarizzato da ricombinazione atomica da pABS (FZJ / PNPI/ FE).
  - Filtraggio di molecole iperpolarizzate da MBS (BINP/HHUD).
  - Eccitazione laser di battimenti quantistici e post-dissociazione UV (IESL/FZJ/HHUD).
  - Sorgenti polarizzate da plasma indotti da laser: produzione, accelerazione e fusione (PGI-FZJ/HHUD).

Combustibile polarizzato per la fusione

Dal punto di vista della fusione nucleare, si hanno *vari vantaggi* dall'utilizzo di **combustibile polarizzato** per la fusione nucleare:

- **Aumento** delle **sezioni d'urto** di fusione,
- **controllo** delle distribuzioni angolari dei prodotti di reazione,
- possibilità di reattori **scremati da neutroni**.

All'atto pratico ci sono ancora una serie di problematica da risolvere:

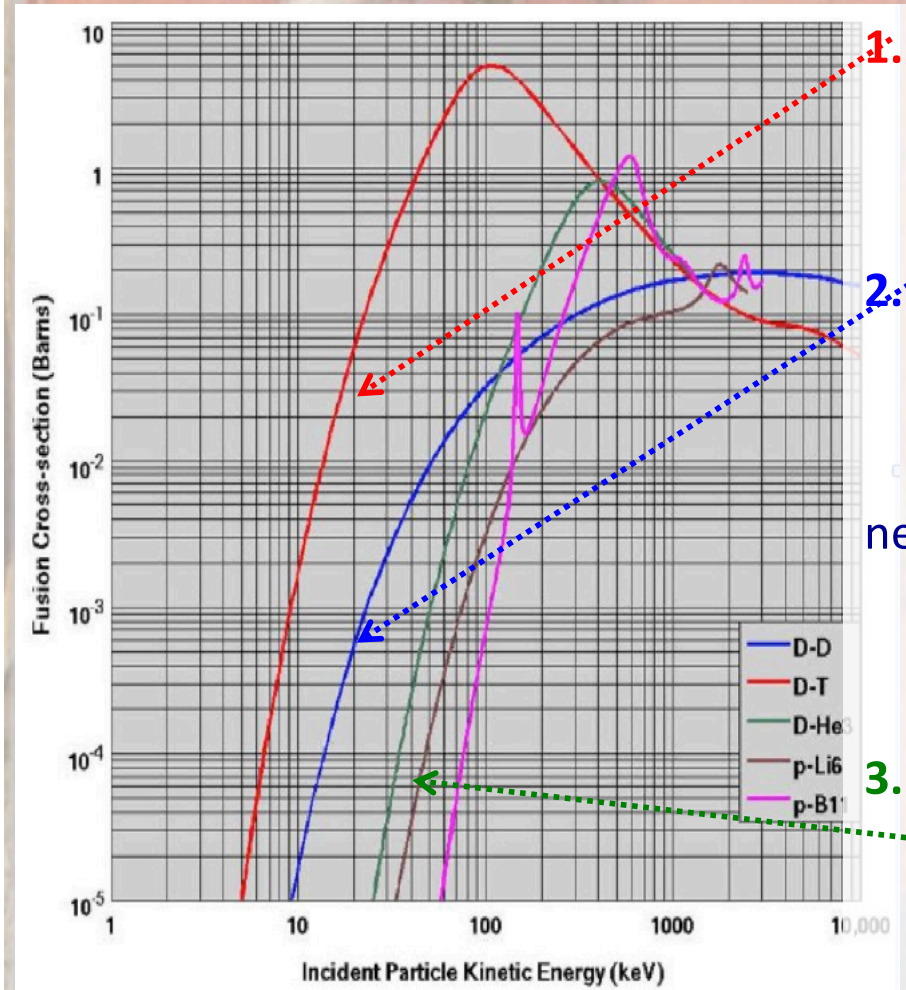
- Combustibile polarizzato, per la fusione sono richieste alto grado di polarizzazione e alte densità (alcuni **ordini di grandezza superiori a** quanto disponibile come bersagli nucleari).
- **Preparazione** del combustibile per il confinamento magnetico o inerziale.
- **Sopravvivenza della polarizzazione** nell'ambiente di fusione.

È una sfida fornire **combustibile polarizzato utile** allo scopo di provare nei presenti (… futuri) ambienti di Fusione! **Comunque** «migliori» bersagli nucleari

G. Ciullo et al. *Nuclear Fusion with Polarized Fuel* - Springer Proc. in Phys. **187** (2016)

Fusione nucleare con combustibile polarizzato

Generazioni di reazioni : ordine crescente per energia



1. Generazione: D + T → ^{4}He + n

1.a) Aumento della sezione d'urto totale**!!**

1.b) sezione d'urto differenziale: distr. ang. *f(θ)* un controllo migliore**!!**

2. Generazione: D + D → T + p o ^{3}He + n

Disponibilità di combustibile (30 g m^{-3} nell'acqua)

2.a) Aumento della sezione d'urto **??**

2.b) sezione d'urto differenziale: controllo nella distr. ang..**??**

<u>Dati mancanti per una risposta esaustiva!!</u>

2.c) Possibilità di soppressione della ^{3}He + n **??** (QSF Quintet Suppression Factor) **??**

3. Generazione: ^{3}He + D → ^{4}He + p

3.a) e 3.b) aspettative come 1.a) and 1.b)

3.c) possibilità di reattori scremati da n, se D+D → ^{3}He + n è soppressa, o ridotta**??**

Dati mancanti sulla reazioni DD dipendente da spin.

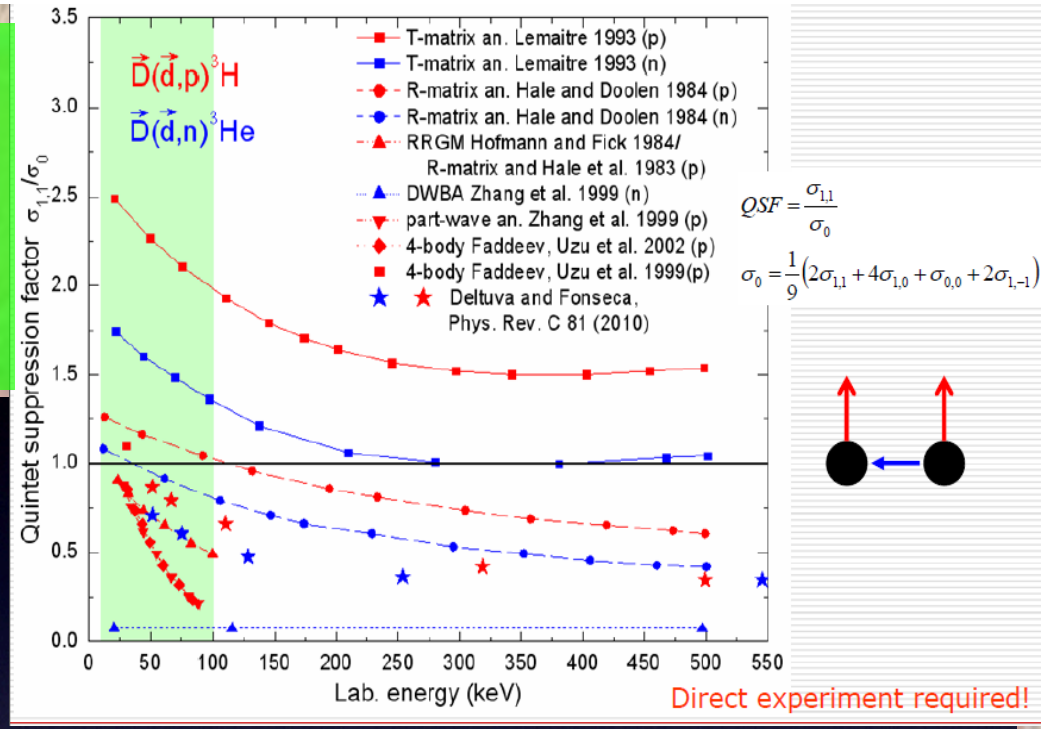
Manca combustibile polarizzato per test sulla fusione nucleare

Queste le sfide della collaborazione of PREFER

Accesso diretto per σ_{DD} dipendente da spin e verifiche dei modelli a N corpi…

$^3He^{2+}\,(^3H^+)$

Petersburg Nuclear Physics Institute

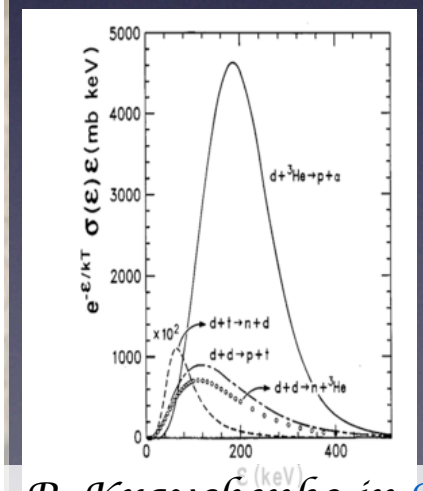


$\vec{d}^0\,(0.1keV)$

$$\sigma_0 = \frac{1}{9}(2\sigma_{1,1} + 4\sigma_{1,0} + \sigma_{0,0} + 2\sigma_{1,-1})$$

Quintet Triplet Singlet

$\vec{d}^+\,(30-100keV)$

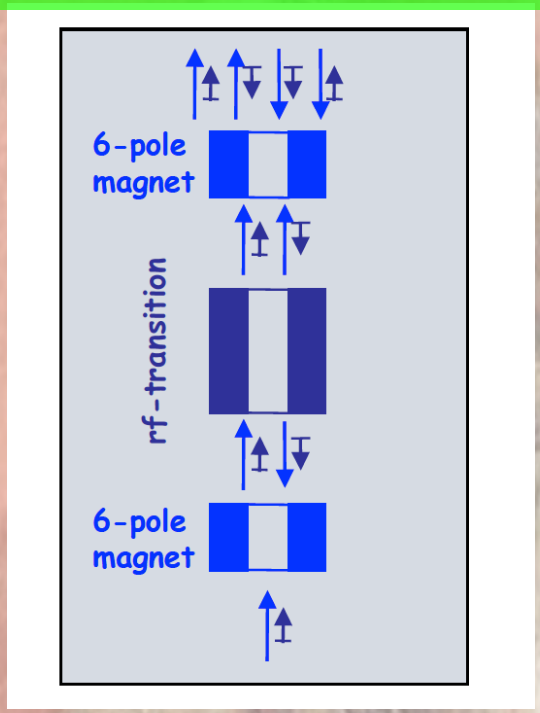


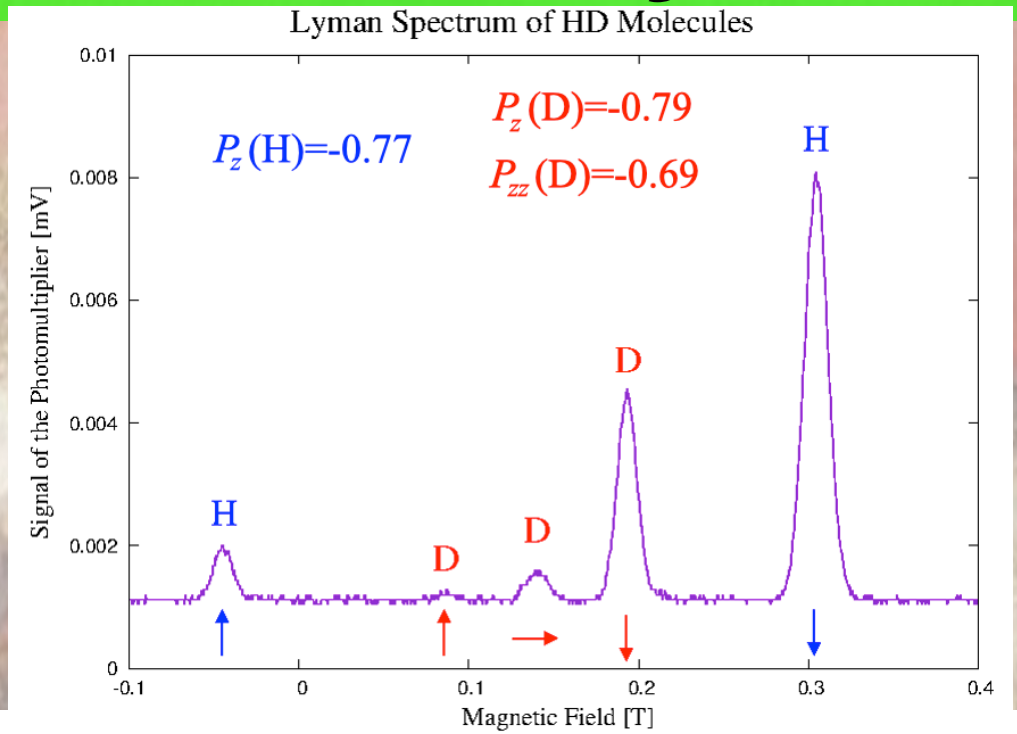
… non solo per fusione.

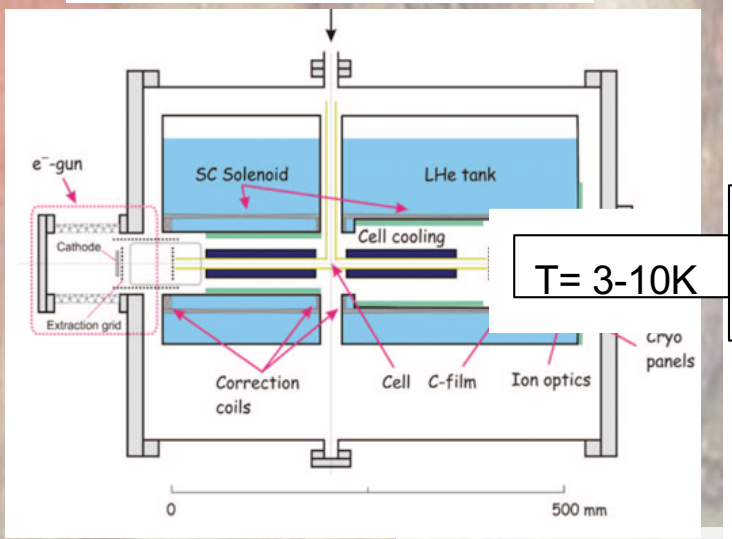
$n(p)$

P. Kravchenko in PREFER Workshop in Gatchina, 04-06 June 2019 (06/2019)

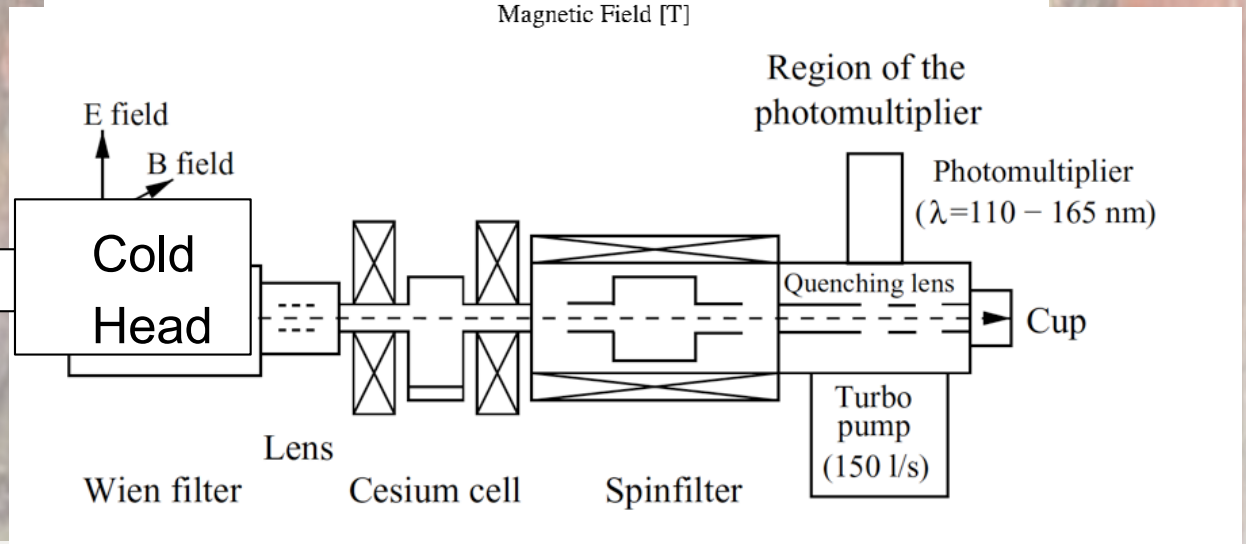
Molecole iperpolarizzate da pABS







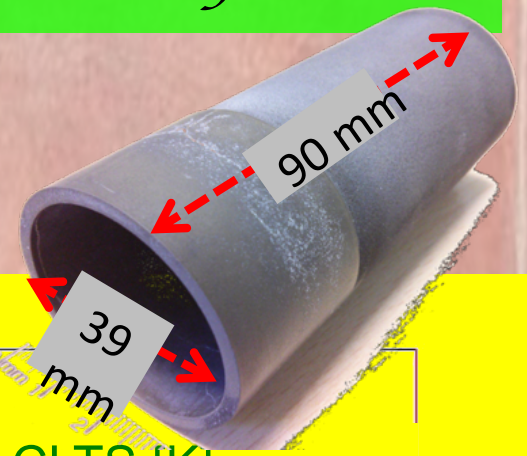
T= 3-10K

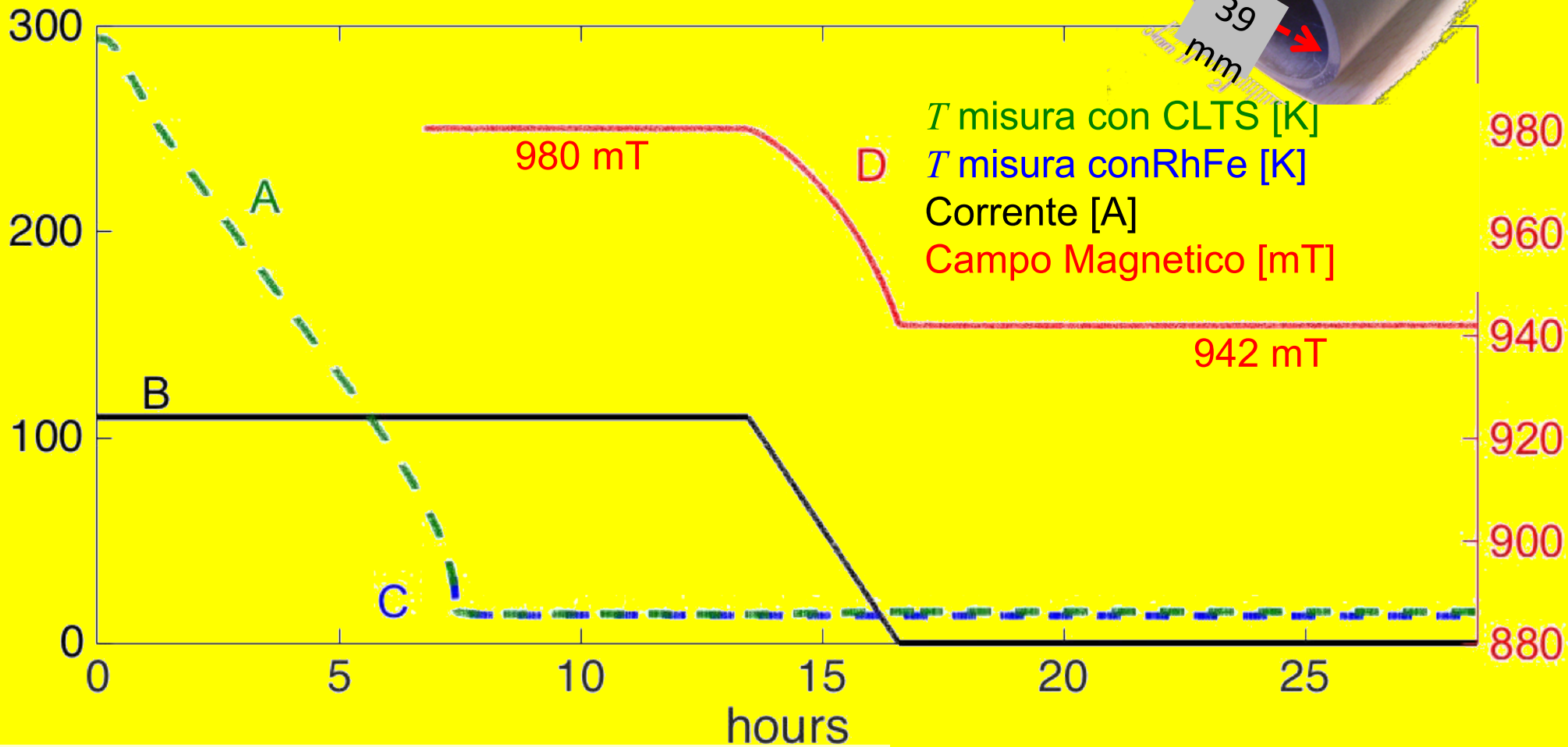


k. Grigoryev in http://prefer.lkst.ru/agenda.php (06/2019)

Magnete SC di MgB_2 : contenimento e trasporto

Congelamento -> Intrappolamento di *B*
Raffreddamemto in 7.5 ore
Temperatura minima 12.5 K
Rampa del campo esterno: 0.25 A / 4 s



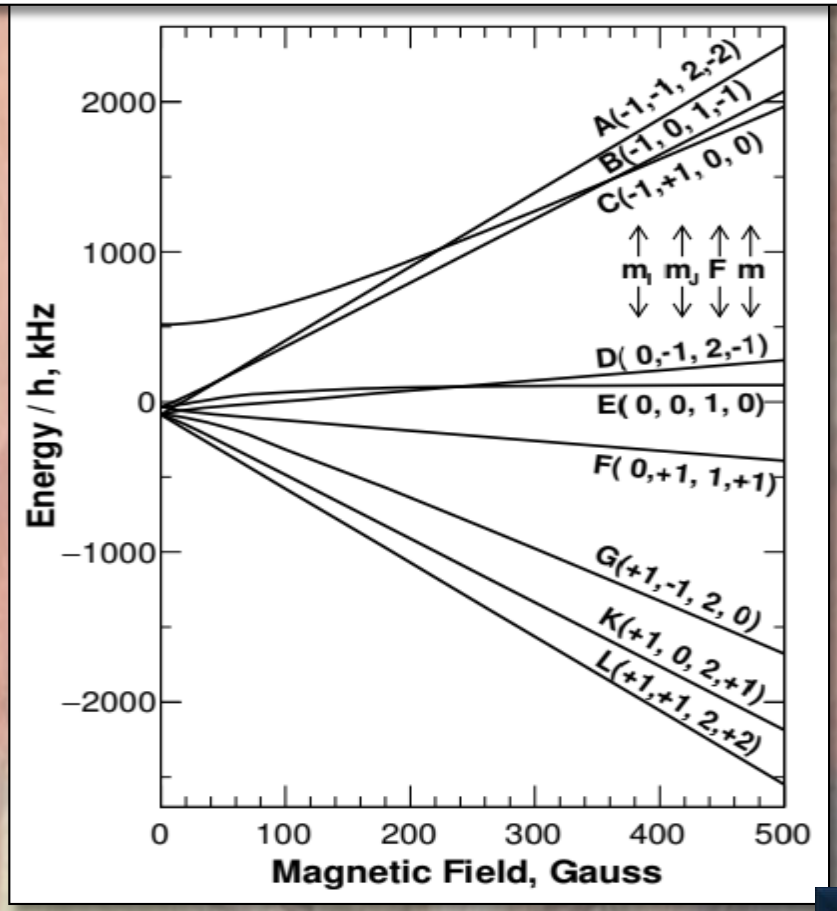


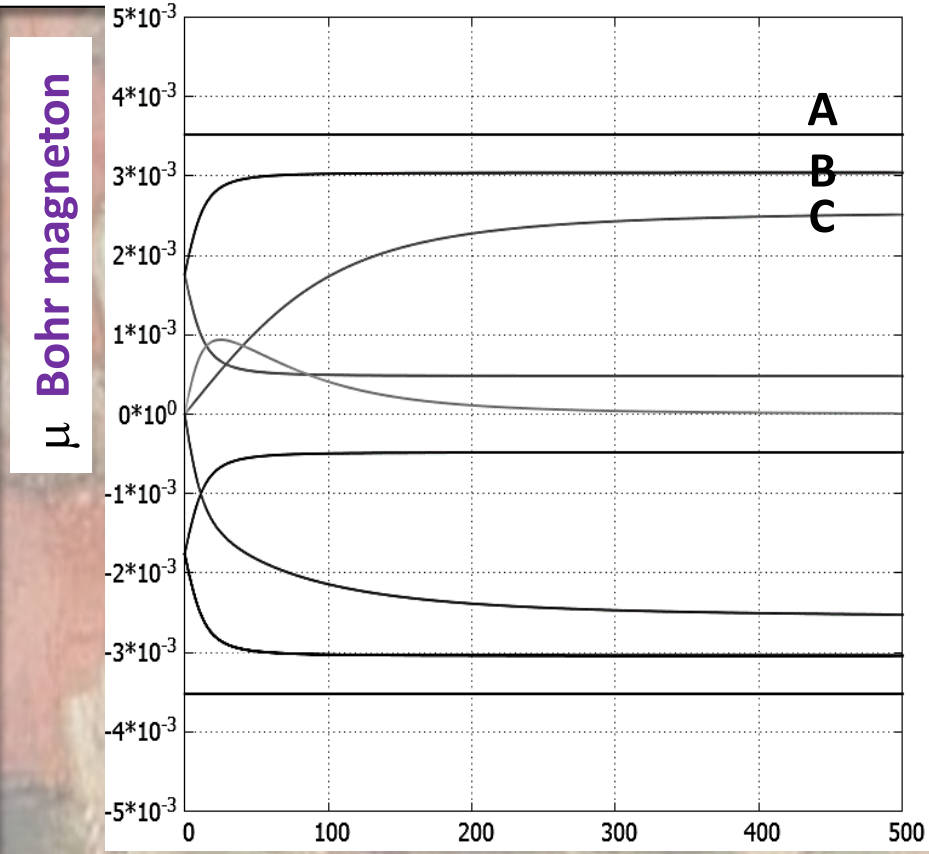
G. Ciullo in http://prefer.lkst.ru/agenda.php (6/2019)

Statera et al . NIM A **882** (2018) 17

SC ABS -> MBS per filtrare ipermolecole

Energie degli stati della molecola H_2 in funzione del campo magnetico.





Solo molecole negli stati A, B, C con m_I=-1, focalizzate dal campo entrano nel tubo di compressione.

Budker Institute of Nuclear Physics

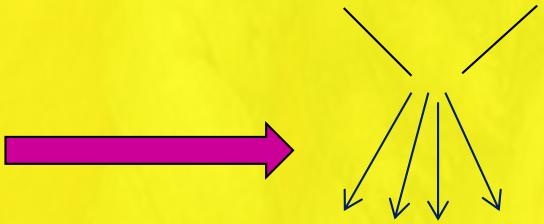
D. Toporkov in http://prefer.lkst.ru/agenda.php (6/2019)

Eccitazione di QB e dissociazione con UV

Nuova idea: **„Highly nuclear-spin polarized deuterium atoms from the UV dissociation of Deuterium Iodide"**

Sofikitis et a.; Phys. Rev. Lett. **118** (2017) 233401.

DI da ugello pulsato



D atoms → LSP of Jülich Type

Eccitazione Con Laser → **Dissociazione Con Laser** → **Polarizzazione elettronica= 1**

↓

Polarizzazione per D~ 2/3

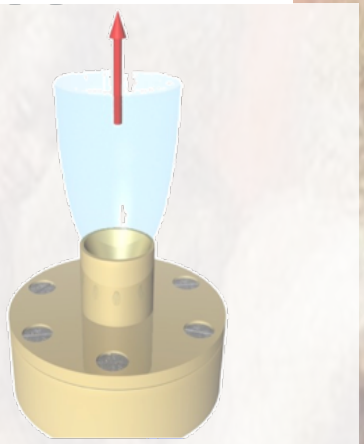
(Polarizzazione per H = 1)

Sotto studio la prova sul principio dell'esperimento (Uni. of Crete/FORTH, IKP/PGI in FZJ/HHUD).

C. Kannis in http://prefer.lkst.ru/agenda.php (6/2019)

Fasci polarizzati da LIP (Laser Induced Plasma)

Fasci di ^{3}He polarizzato
da getto di ^{3}He polarizzato



Output pressure: 50 bar

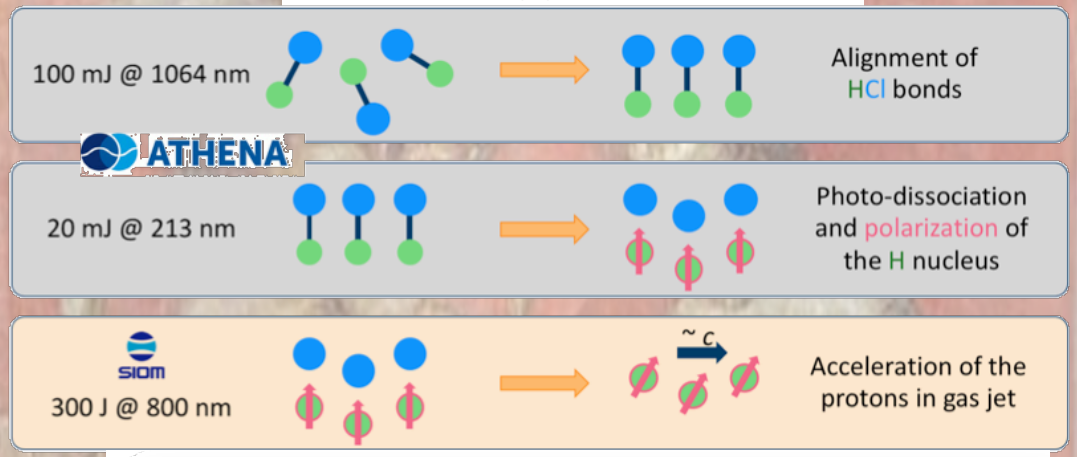
Input pressure: 3 bar

c o m p r e s s o r

Laser-induced Acceleration of ^{4,3}He Ions for a spin-polarized Ion Source

Ilhan Engin,[1,a)] Markus Büscher,[1,2,b)] Oliver Deppert,[3,c)] Laura Di Lucchio,[4] Ralf Engels,[5] Pavel Fedorets,[1] Simon Frydrych,[3] Paul Gibbon,[6] Annika Kleinschmidt,[3] Andreas Lehrach,[5,7,8] Rudolf Maier,[5] Dieter Prasuhn,[5] Markus Roth,[3] Friederike Schlüter,[1,c)] Claus M. Schneider,[1] Thomas Stöhlker,[9,10,11] and Katharina Strathmann[1,c)]

Fasci di protoni polarizzati
da LIP



High Power Laser Science and Engineering, (2019), Vol. 7, e16, 6 pages.
© The Author(s) 2019. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
doi:10.1017/hpl.2018.73

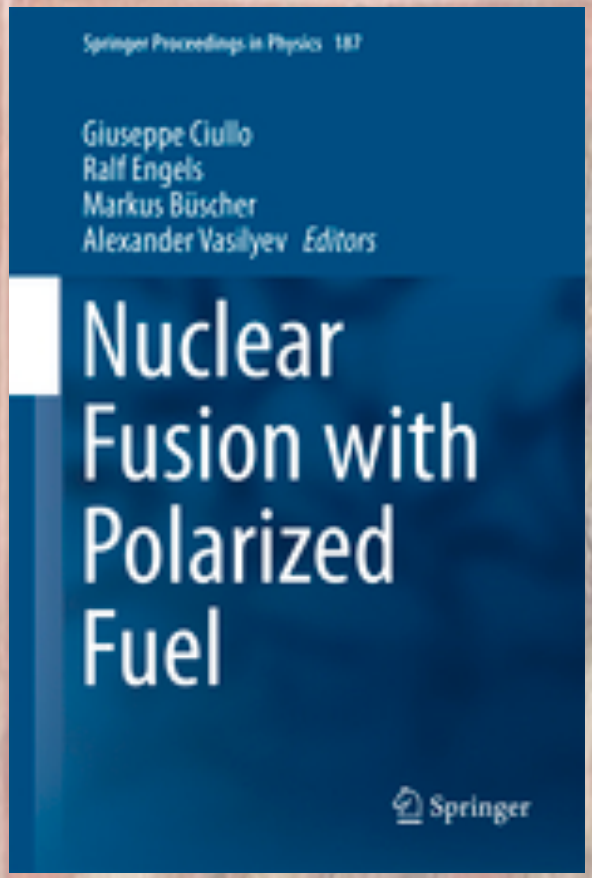
Polarized proton beams from laser-induced plasmas

Anna Hützen[1,2], Johannes Thomas[3], Jürgen Böker[4], Ralf Engels[5], Ralf Gebel[4], Andreas Lehrach[4,6], Alexander Pukhov[3], T. Peter Rakitzis[7,8], Dimitris Sofikitis[7,8], and Markus Büscher[1,2]

[1]*Peter Grünberg Institut (PGI-6), Forschungszentrum Jülich, Wilhelm-Johnen-Str. 1, 52425 Jülich, Germany*
[2]*Institut für Laser-und Plasmaphysik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Universitätsstr. 1, 40225 Düsseldorf, Germany*

A. Hützen et al. High Power Las. Sci. Eng. **7** (2019) E16.

Si può applicare la tecnica anche a molecole iperpolarizzate ottenute MBS (BINP) o da ABS (IKP).



Polarized Fuel for Fusion at INFN and Unife Of Ferrara 2-3 ottobre 2017 Ferrara
https://www.fe.infn.it/polfusion/2017/
Collegamenti a precedenti Workshop

Sessione dedicata in SPIN 2018
10-14 settembre 2018 - Ferrara
contributi disponibili @
https://pos.sissa.it/346/

PREFER WORSHOP IN GATCHINA
04-06 giugno 2019
http://prefer.lkst.ru/agenda.php

WE PREFER YOU JOIN OUR EFFORTS

Polarization Research for Fusion Experiments and Reactors

Il gioco della trottola – sala dei giochi Castello Estense -Ferrara

Sebastiano Filippi (Bastianino) – XVI secolo