

Attività di Roma Tor Vergata.

Annalisa D'Angelo
Carlo Schaerf, Irene Zonta

Thomas Jefferson National Accelerator Facility
Università di Roma Tor Vergata and INFN Roma Tor Vergata

JLab - Roma 16 Aprile 2012

Outline

6 GeV - run g14: preparazione, run, calibrazione ed analisi dati

- Contributo alla realizzazione dell'IBC presso il Jlab.

Magneti e strumentazione

- Criostato magnetico Janis PD2 per condensazione di gas di HD e per misure di NMR. Presso il Jlab.
- Risultati delle misure sistematiche di concentrazione relativa di orto-H₂ e para-D₂ in gas di HD tramite diffusione Raman.

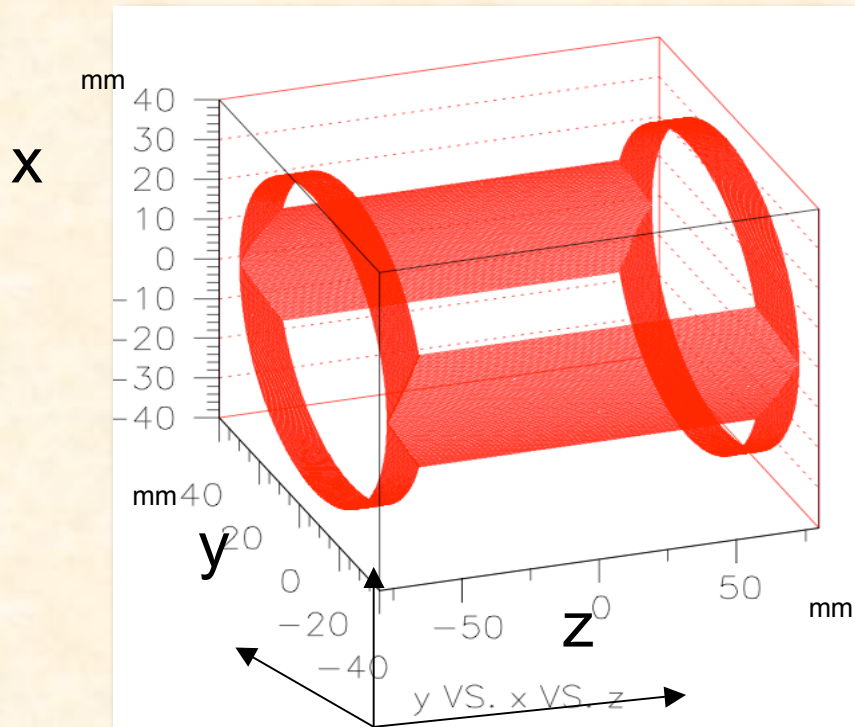
Diagnosi relativa ai tempi di polarizzazione. -> misure in 1 sett.

- Calibrazione dei tempi di volo dell'EC → Irene Zonta
- Analisi di canali di fotoproduzione sul neutrone polarizzato ($\pi^0 n$, ηn , ωn) con neutrone nello stato finale, rivelato dell'EC.

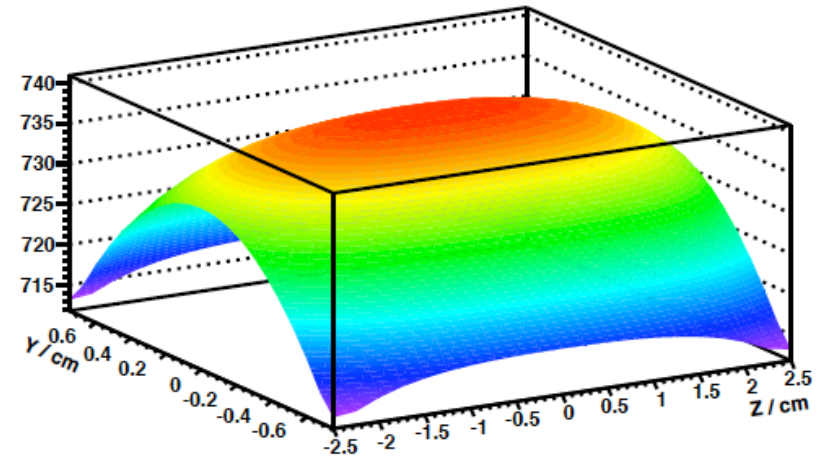
12 GeV - attività future.

Bobina a sella di cavallo per il campo magnetico trasverso

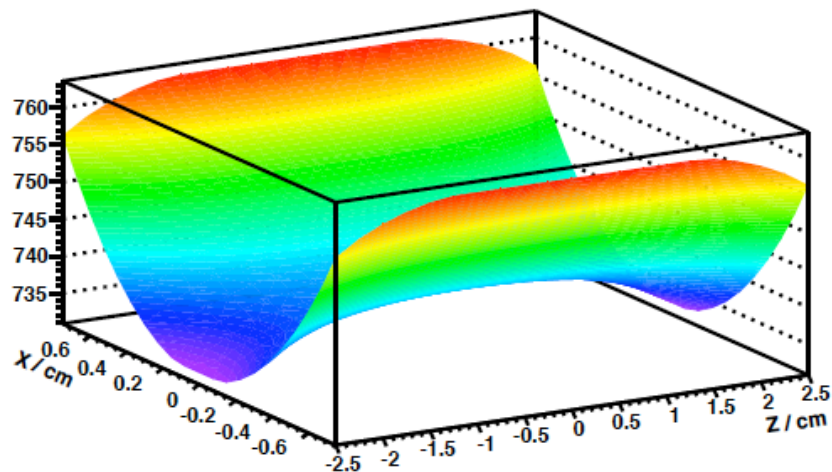
Considerando 54 avvolgimenti ed una corrente di $I=60$ A si ottiene un campo magnetico trasverso di ~ 0.1 T con una uniformità sul bersaglio migliore del 5%.



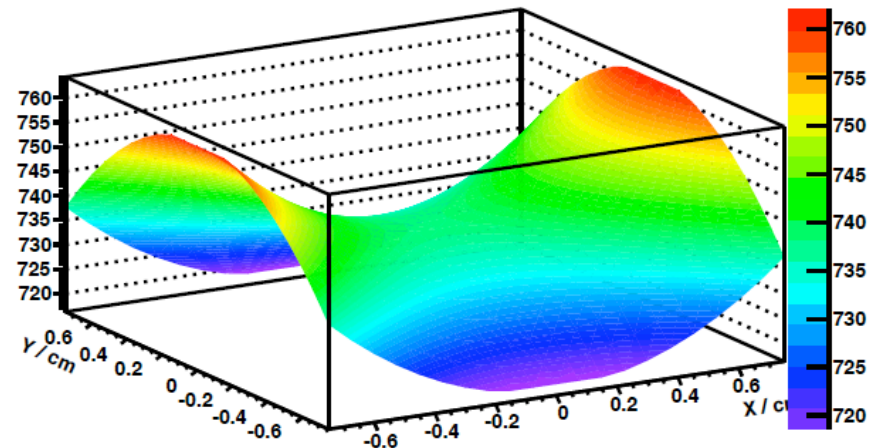
By in Z-Y plane



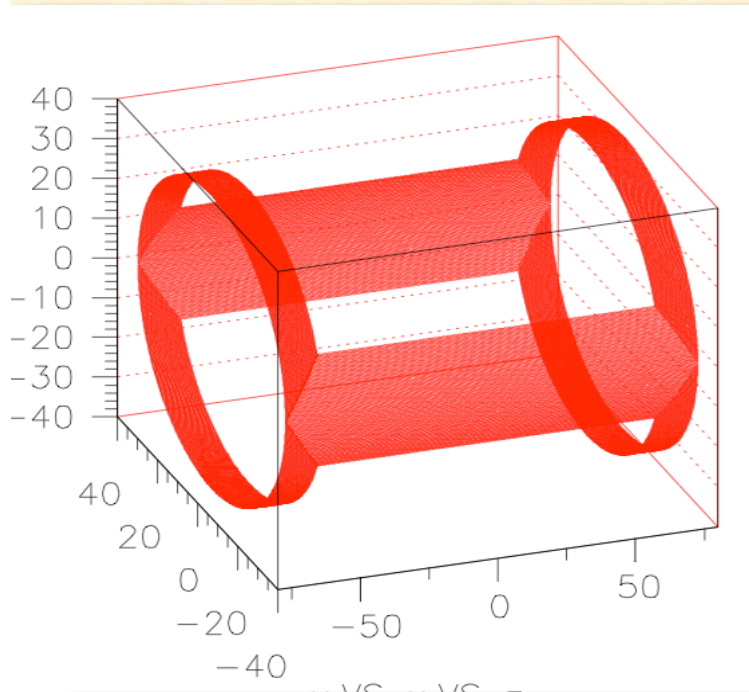
By in Z-X plane



By in X-Y plane

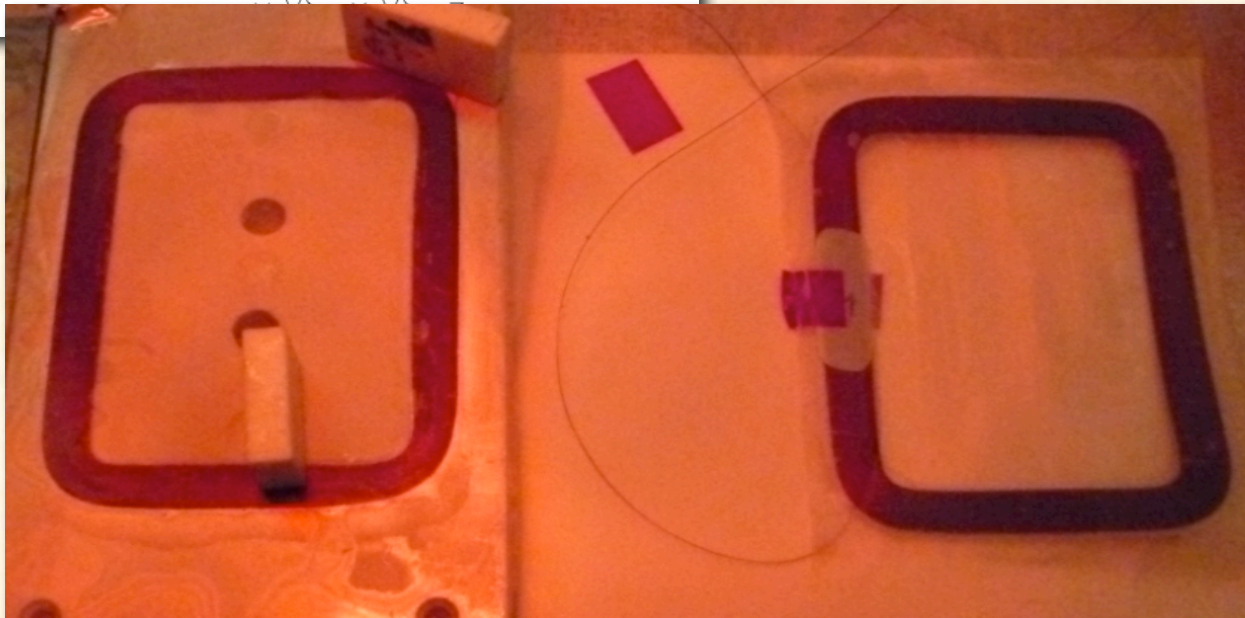


Bobina a sella di cavallo per il campo magnetico trasverso

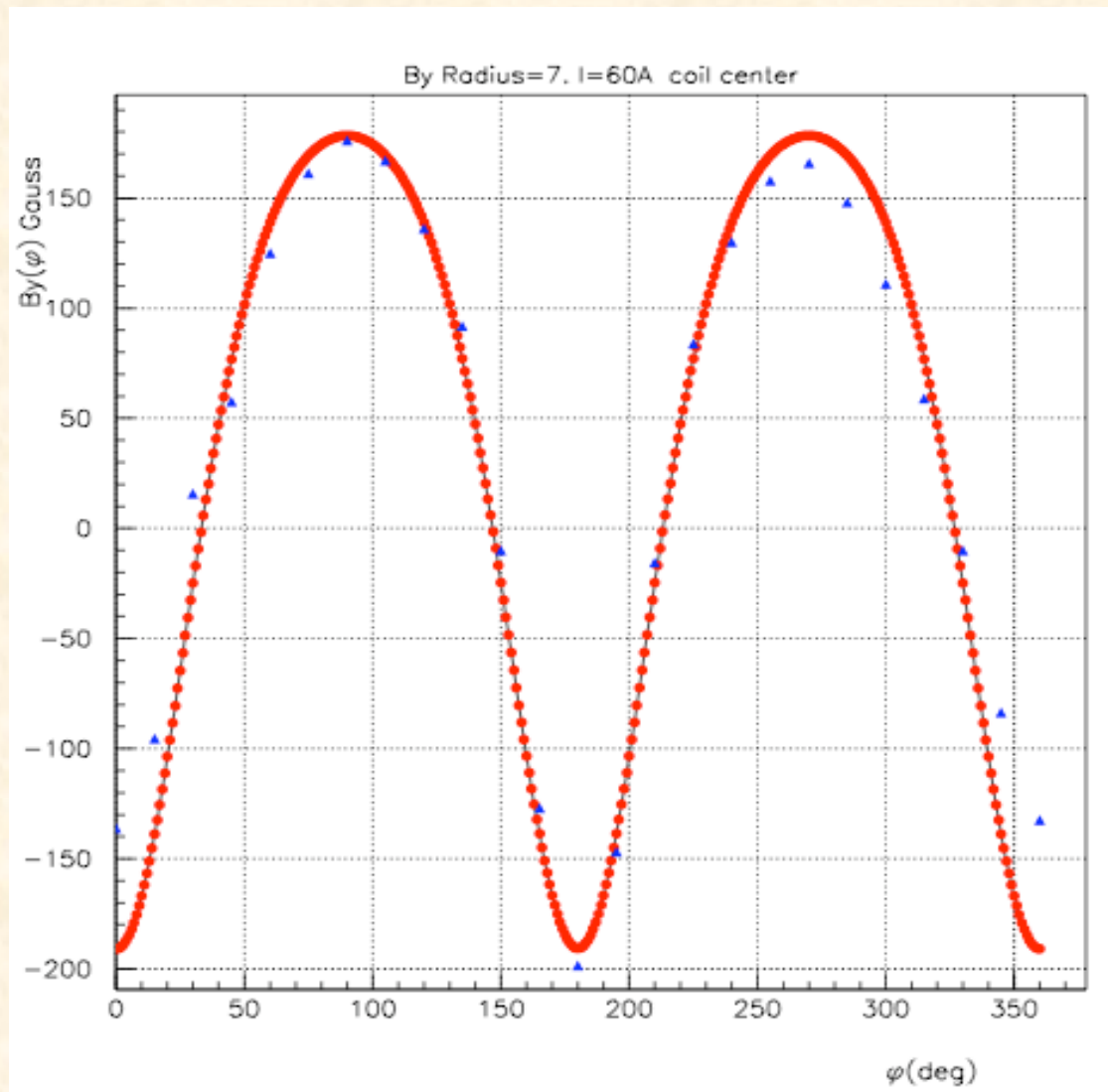


Ciascuna delle due metà è costituita da:

- 54 avvolgimenti di filo Cu:SC 1.5:1 54643 superconduttore di $254\mu\text{m}$ di diametro della Supercon Inc..



Mappe del campo $I=60\text{ A}$, $R=7\text{ cm}$.



Campo verticale

● calcolato

▲ misurato

Bobina a sella di cavallo per il campo magnetico trasverso

Conclusioni:

- La bobina è funzionante secondo le specifiche: 600 Gauss.
- E' stata utilizzata con successo durante il run per ruotare la polarizzazione del deuterio. (Ha consentito di mantenere l'8% di polarizzazione durante lo spegnimento del solenoide principale).
- Sarà oggetto di pubblicazione
- Ci è stato richiesto di realizzarne una più grande per Clas12.

Criostato di produzione o PD2

Il bersaglio di HD viene condensato nel PD.

Nello stesso criostato viene effettuata la calibrazione nell'NMR.

A seguito di un danno permanente al magnete, il criostato INFN ha sostituito quello proveniente da BNL.

La restituzione è prevista dopo la fine della presa dati.



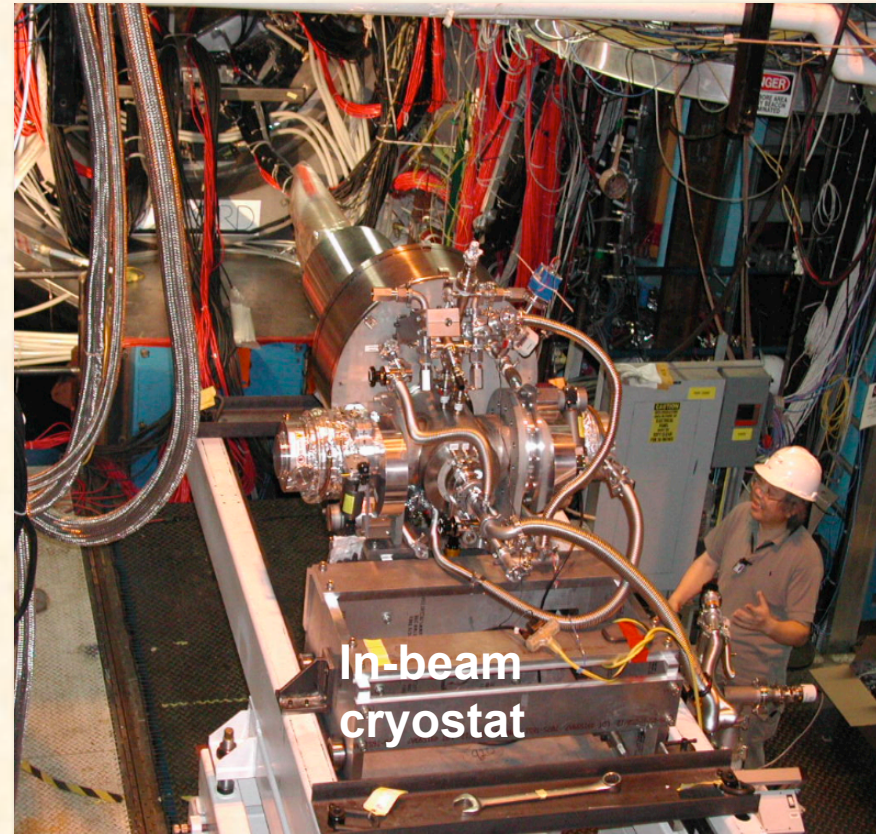


Processo di polarizzazione

Il bersaglio viene poi inserito nel refrigeratore a diluizione (DF), tramite un criostato di trasferimento TC, dove rimane per almeno tre mesi alla temperatura di 23 mK e con un campo magnetico di 15 T.

Il processo più delicato è costituito dal trasferimento del bersaglio da un criostato all'altro, mantenendo una temperatura di 2.8 K ed un campo magnetico di 0.5 T

Il bersaglio in Hall-B: IBC

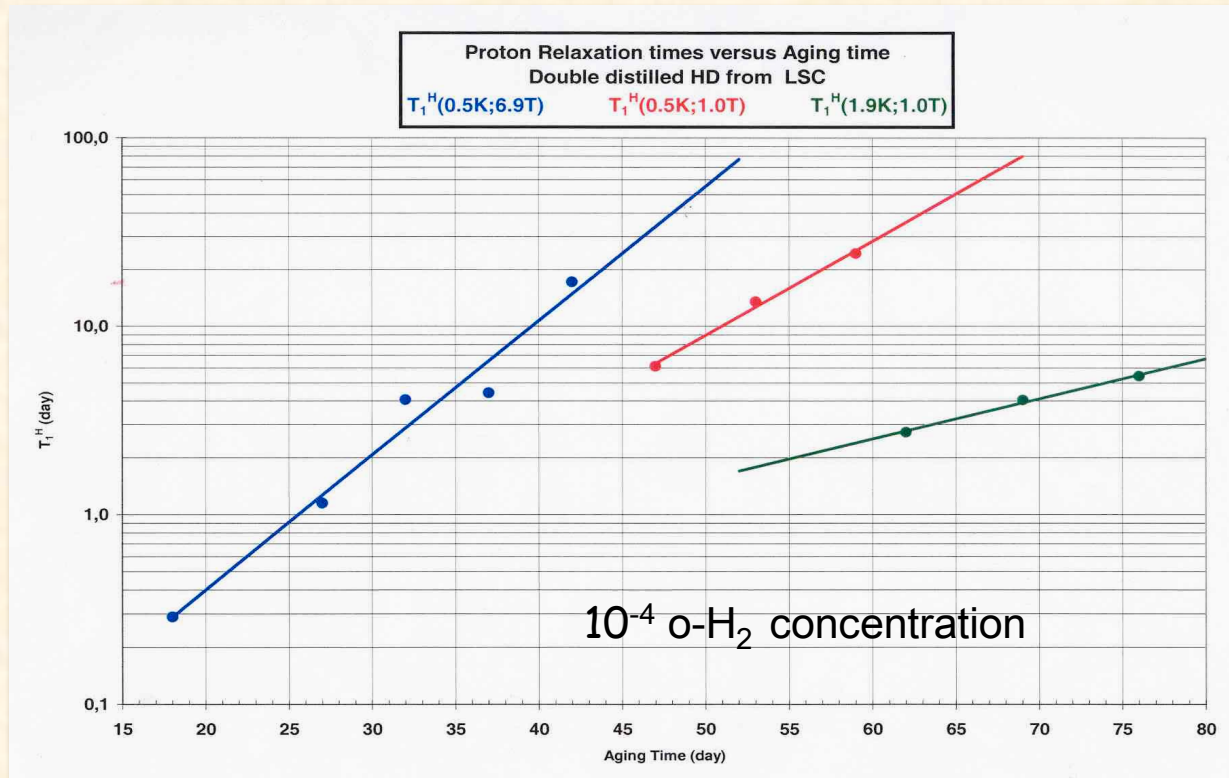


Polarizzazione del bersaglio: fino al 75% H ed il 40% D
Tempi di rilassamento: > 1 anno

Purezza del gas di HD

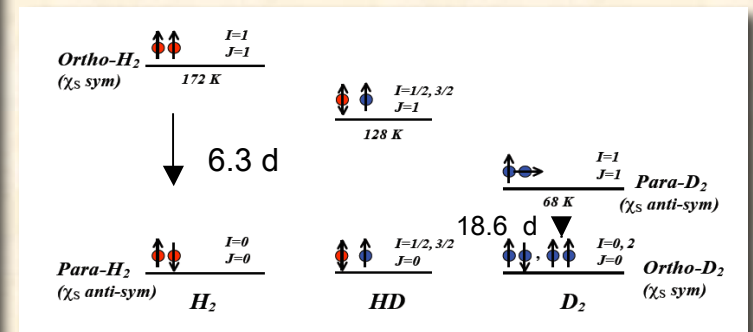
La purezza del gas determina:

- ✓ Il tempo di rilassamento longitudinale T_1 sia per l'idrogeno che per il deuterio



Tempo di rilassamento longitudinale T_1^H

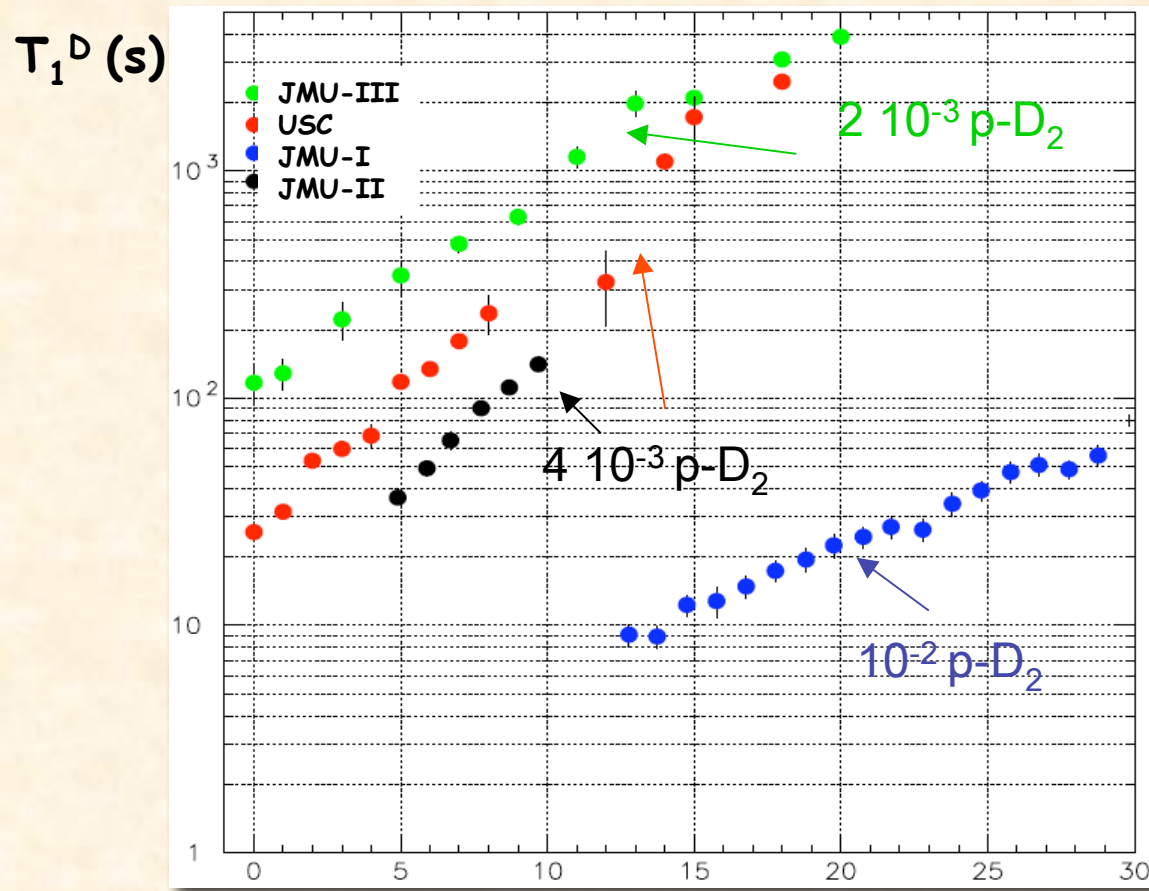
$$\frac{1}{T_1^H} \propto (c_1^H)^{2.1} (c_1^D)^{1.6}$$



Purezza del gas di HD

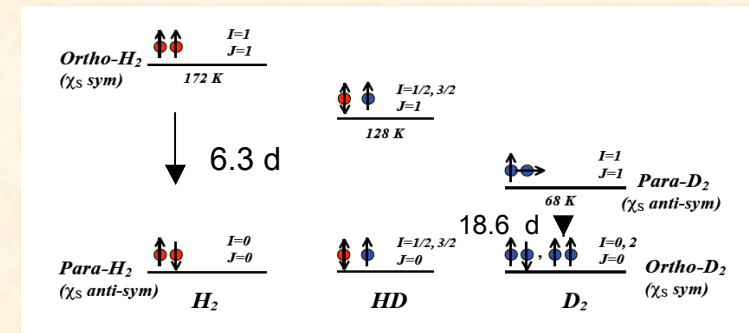
La purezza del gas determina:

✓ Il tempo di rilassamento longitudinale T_1 sia per l'idrogeno che per il deuterio



Tempo di rilassamento longitudinale T_1^D

$$\frac{1}{T_1^H} \propto (c_1^H)^{2.1} (c_1^D)^{1.6}$$



Aging (days)

Purezza del gas di HD

La purezza del gas determina:

- ✓ Il tempo di rilassamento longitudinale T_1 sia per l'idrogeno che per il deuterio
- ✓ Il tempo di invecchiamento

3 mesi se la concentrazione iniziale di para-D2 è 10^{-4}

Purezza del gas di HD

La purezza del gas determina:

- ✓ Il tempo di rilassamento longitudinale T_1 sia per l'idrogeno che per il deuterio
- ✓ Il tempo di invecchiamento
- ✓ Il ciclo di polarizzazione

Purezza del gas di HD

La purezza del gas determina:

- ✓ Il tempo di rilassamento longitudinale T_1 sia per l'idrogeno che per il deuterio
- ✓ Il tempo di invecchiamento
- ✓ Il ciclo di polarizzazione
- ✓ La quantità di calore generata dalla conversione dell'o-H₂ e del p-D₂

Alcuni μ Watt a 20 mK

Purezza del gas di HD

La purezza del gas determina:

- ✓ Il tempo di rilassamento longitudinale T_1 sia per l'idrogeno che per il deuterio
- ✓ Il tempo di invecchiamento
- ✓ Il ciclo di polarizzazione
- ✓ La quantità di calore generata dalla conversione dell'o-H₂ e del p-D₂



Il valore finale del grado di polarizzazione del campione di HD dipende dal grado di purezza del gas iniziale e dalla procedura di polarizzazione.

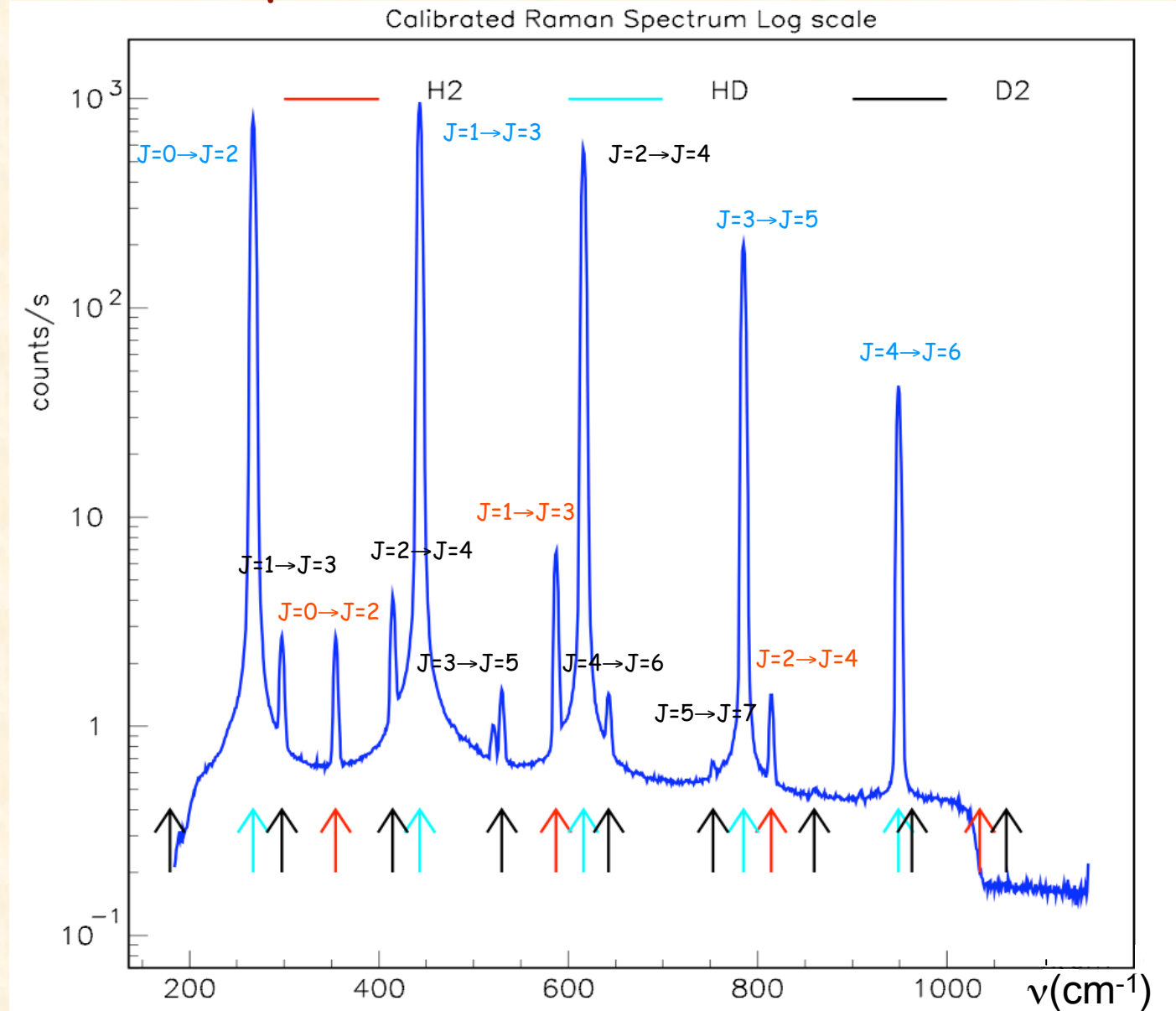
Spettro Raman

Campione di gas
JMU-III

E' necessaria una
sensibilità di 10^{-5}
per determinare
contaminazioni di
 10^{-4} .

Ion-Ar Laser:

15 W power



Gas di HD disponibile

Gas sample	Quality	Quantity	Targets
JMU-II	Double-distilled	1.05 moles	2
JMU-III	Double-distilled	1.14 moles	2
USC	Double-distilled	1.00 moles	2

Un bersaglio richiede 0.41 moli → si possono condensare 6 bersagli utilizzando il gas distillato due volte.

Analisi della intensità delle righe Raman e confronto con i risultati dalla GC

Sono stati analizzati 3 diversi campioni di gas inviati dal Jlab. I risultati RAMAN sono stati ottenuti combinando tra loro quattro diverse tecniche di analisi dati. Con una sola eccezione i risultati sono in accordo con i risultati dell'analisi di GC ottenuti a JMU.

H2/HD	JMU-II	JMU-III	USC
Raman	0.00472 ± 0.00004	0.00220 ± 0.00004	0.00387 ± 0.00004
GC	0.0049 ± 0.0002	0.0022 ± 0.0002	0.0034 ± 0.0007

D2/HD	JMU-II	JMU-III	USC
Raman	0.00416 ± 0.00008	0.0025 ± 0.0001	0.00442 ± 0.00008
GC	0.0014 ± 0.0002	0.0013 ± 0.0007	0.0033 ± 0.0032

Il Pre-aging del gas alla temperature dell' LHe per 21 giorni riduce la concentrazione di orto-H₂ di un fattore 0.04 e quella di para-D₂ di un fattore 0.33.

Sequenza dell'utilizzo del gas per i bersagli g14

Feb 2011

Sono stato utilizzati i campioni JMUIII ed USC per la condensazione di tre bersagli da utilizzarsi per l'inizio di g14.

Nov 2011

Un bersaglio è stato utilizzato per le prove di trasferimento di polarizzazione da H a D

Un bersaglio è stato utilizzato come test per il commissioning dell'esperimento

1 Dic 2011

Un bersaglio "silver target" è stato inserito con successo nell'IBC.

Pol. D: 23%

7 Dic 2011

Sono stati condensati 3 bersagli per l'inizio del ciclo di polarizzazione (JMUII e USC)

16 Dic 2011

La polarizzazione del deuterio è ridotta all'8% dopo la rotazione della polarizzazione del D. L'alimentatore del solenoide ha avuto un problema.

Sequenza dell'utilizzo del gas per i bersagli g14

Feb 2012

I Test con il fascio di elettroni.

13 Marzo 2012

Un bersaglio è stato trasferito all'IBC ed è arrivato depolarizzato. Cause:

1. Trasferimento inefficiente

2. Tempo di rilassamento longitudinale troppo breve (non in frozen-spin mode)

Richiesta urgente di analisi Raman del gas utilizzato

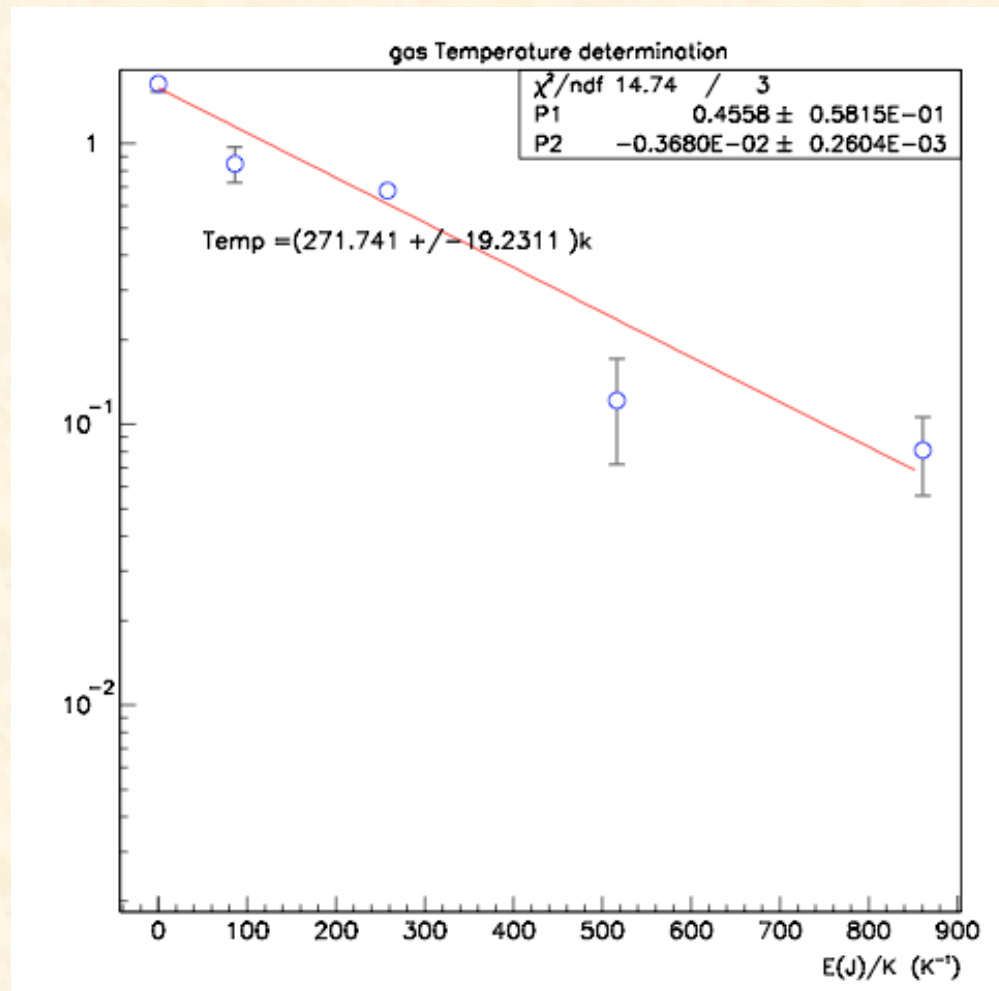
**First Results on Raman analysis of USC and JMU2 gas samples
March 26th 2012**

USC	Background Subtraction Method	Ortho-H2 /HD	Para-H2 /HD	H2 /HD	Para-D2 /HD	Ortho-D2 /HD	D2 /HD
Meas.1	fit	$(5.88 \pm 0.10)10^{-3}$	$(2.09 \pm 0.09)10^{-3}$	$(7.97 \pm 0.19)10^{-3}$	$(0.99 \pm 0.14)10^{-3}$	$(3.14 \pm 0.14)10^{-3}$	$(4.13 \pm 0.28)10^{-3}$
Meas.1	subtr.	$(5.87 \pm 0.13)10^{-3}$	$(2.09 \pm 0.09)10^{-3}$	$(7.96 \pm 0.21)10^{-3}$	$(0.99 \pm 0.15)10^{-3}$	$(3.17 \pm 0.17)10^{-3}$	$(4.16 \pm 0.32)10^{-3}$
Meas.2	fit	$(5.75 \pm 0.14)10^{-3}$	$(2.03 \pm 0.12)10^{-3}$	$(7.78 \pm 0.26)10^{-3}$	$(0.92 \pm 0.17)10^{-3}$	$(3.08 \pm 0.18)10^{-3}$	$(4.00 \pm 0.35)10^{-3}$
Meas.2	subtr.	$(5.65 \pm 0.15)10^{-3}$	$(2.01 \pm 0.13)10^{-3}$	$(7.66 \pm 0.26)10^{-3}$	$(0.91 \pm 0.17)10^{-3}$	$(3.05 \pm 0.20)10^{-3}$	$(3.96 \pm 0.37)10^{-3}$

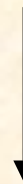
H2 is almost at thermal equilibrium D2 is not

JMU2	Background Subtraction Method	Ortho-H2 /HD	Para-H2 /HD	H2 /HD	Para-D2 /HD	Ortho-D2 /HD	D2 /HD
Meas.1	fit	$(4.02 \pm 0.14)10^{-3}$	$(3.47 \pm 0.14)10^{-3}$	$(7.49 \pm 0.28)10^{-3}$	$(0.97 \pm 0.18)10^{-3}$	$(4.27 \pm 0.21)10^{-3}$	$(5.24 \pm 0.39)10^{-3}$
Meas.1	subtr.	$(3.92 \pm 0.17)10^{-3}$	$(3.40 \pm 0.16)10^{-3}$	$(7.32 \pm 0.35)10^{-3}$	$(0.95 \pm 0.19)10^{-3}$	$(4.21 \pm 0.26)10^{-3}$	$(5.16 \pm 0.45)10^{-3}$

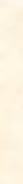
Neither H2 nor D2 are at thermal equilibrium



Le popolazioni ortho-e para-
si comportano come due specie
distinte di gas e si dispongono
su pendenze distinte.



**Nuove misure.
Comportamento mai osservato prima.**



Pubblicazione dei risultati

Sequenza dell'utilizzo del gas per i bersagli g14

Feb 2012

I Test con il fascio di elettroni.

13 Marzo 2012

Un bersaglio è stato trasferito all'IBC ed è arrivato depolarizzato. Cause:

1. Trasferimento inefficiente

2. Tempo di rilassamento longitudinale troppo breve (non in frozen-spin mode)

Richiesta urgente di analisi Raman del gas utilizzato

✓ Il contenuto di H_2 è doppio del previsto → T1 più lunghi

✓ Il gas non torna all'equilibrio termico con la stessa costante di tempo con cui la fase ortho- decade in para-

Ulteriori misure per la determinazione dei tempi di raggiungimento dell'equilibrio termico

Sequenza dell'utilizzo del gas per i bersagli g14

Feb 2012

I Test con il fascio di elettroni.

13 Marzo 2012

Un bersaglio è stato trasferito all'IBC ed è arrivato depolarizzato. Cause:

1. Trasferimento inefficiente

2. Tempo di rilassamento longitudinale troppo breve (non in frozen-spin mode)

28 Marzo 2012

II Test con il fascio di elettroni. → polarizzazione del D molto più fragile dell'H.

5 Aprile 2012

Un secondo bersaglio è stato trasferito all'IBC: pol D 30%.

(Aging sufficiente e trasferimento più accurato - nuovo cold tool).

Calibrazione ed analisi dati

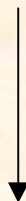
**Sono state acquistate 4 nuove macchine (2 server e 2 workstation)
Per l'analisi dati di g14.**

1. Calibrazione
2. Monte Carlo
3. Analisi dei canali con neutrone nello stato finale

Programmi futuri

-Conclusione presa dati Maggio 2012.

-Il bersaglio di HD sarà utilizzato per Clas 12?



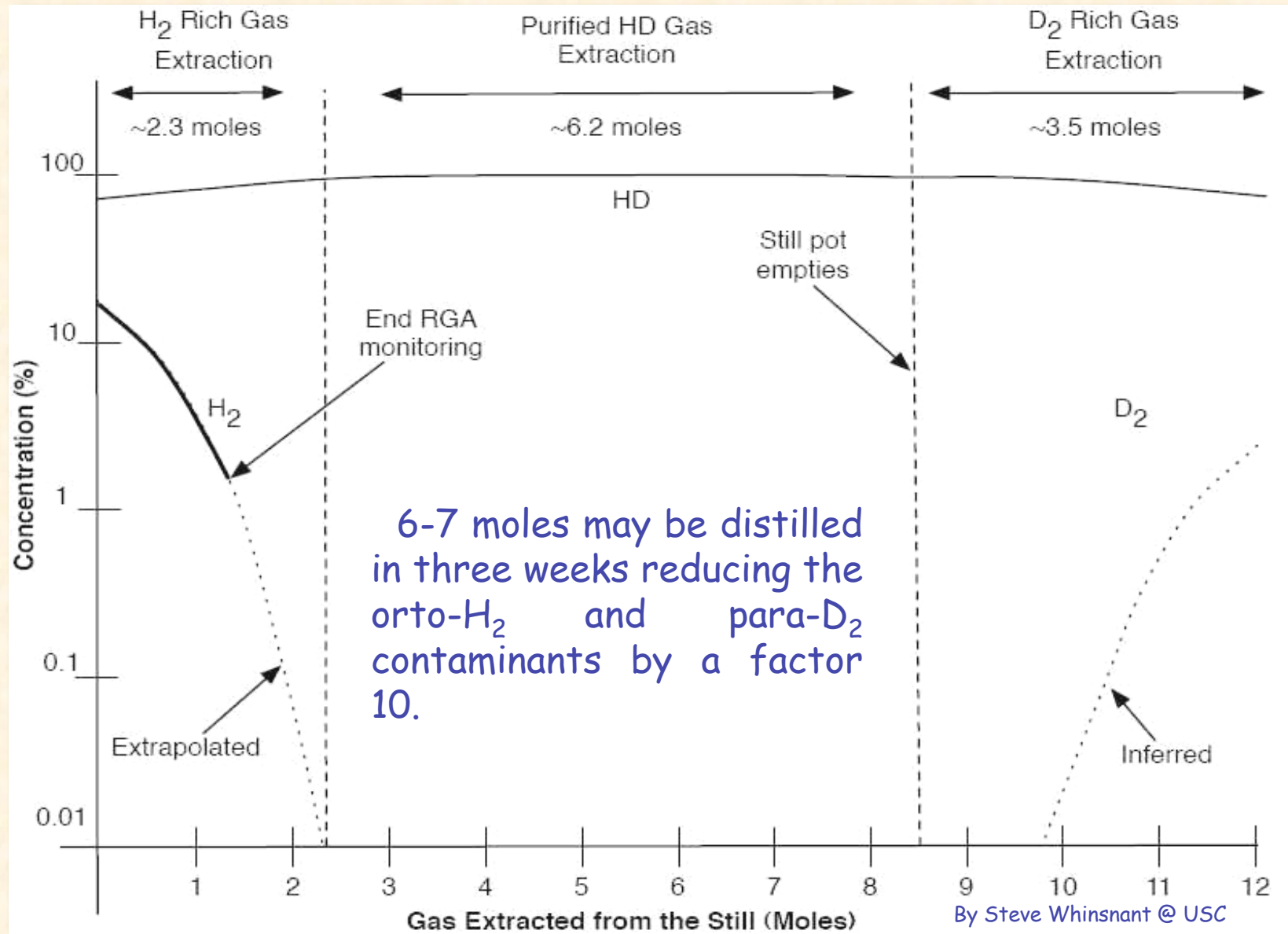
-Ottimizzazione della tecnica di misura NMR

da "field sweep" a "frequency sweep"

- Collaborazione con il gruppo di Genova per la realizzazione e la messa a punto del FT.

Backup slides

HD distillery operation



Raman lines intensity analysis

Temperature and concentration dependence

$$I(J, T) = I_0 A(\nu) \nu^3 f(J) \gamma^2 \frac{45\pi^4}{7} \frac{N}{Q(T)} g_s(J) (2J + 1) \frac{3(J + 1)(J + 2)}{2(2J + 1)(2J + 3)} \exp\left(-\frac{hcb_0 J(J + 1)}{KT}\right)$$

I_0 = Laser Intensity

$A(\nu)$ = spectral response function

$f(J)$ = an-harmonicity correction

γ = anisotropic matrix element

→ Constant C

N = total number of molecules

$$Q(T) = \sum_J g_s(J) (2J + 1) \exp\left(-\frac{hcb_0 J(J + 1)}{KT}\right) \quad \text{Partition function}$$

$g_s(J)$ = nuclear spin multiplicity

$$I(J, T) = C \frac{N}{Q(T)} h(J) \exp\left(-\frac{hcb_0 J(J + 1)}{KT}\right)$$

$$h(J) = g_s(J) (2J + 1) \frac{3(J + 1)(J + 2)}{2(2J + 1)(2J + 3)}$$



CN and T may be extracted from a fit to data

Raman lines intensity analysis

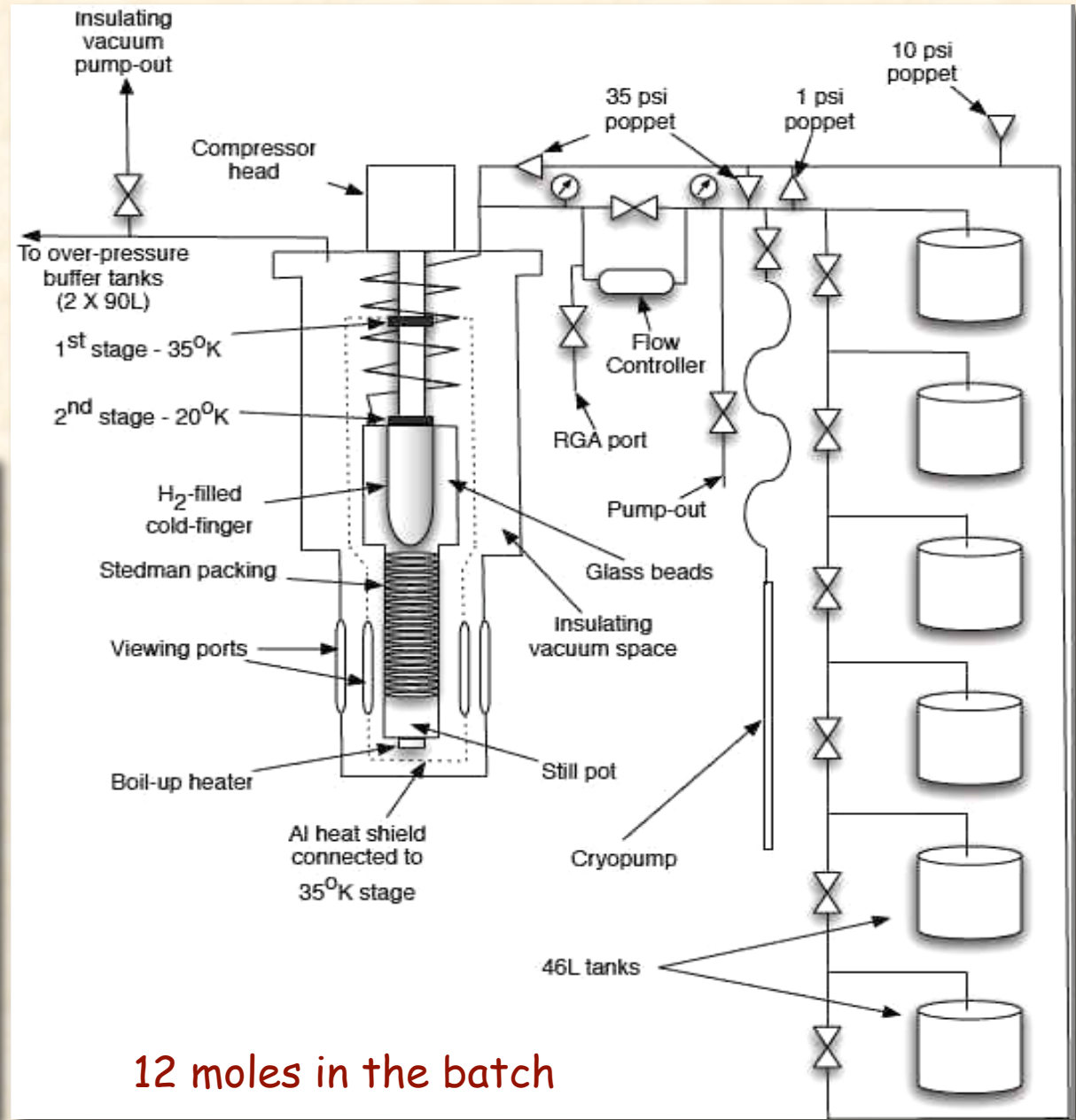
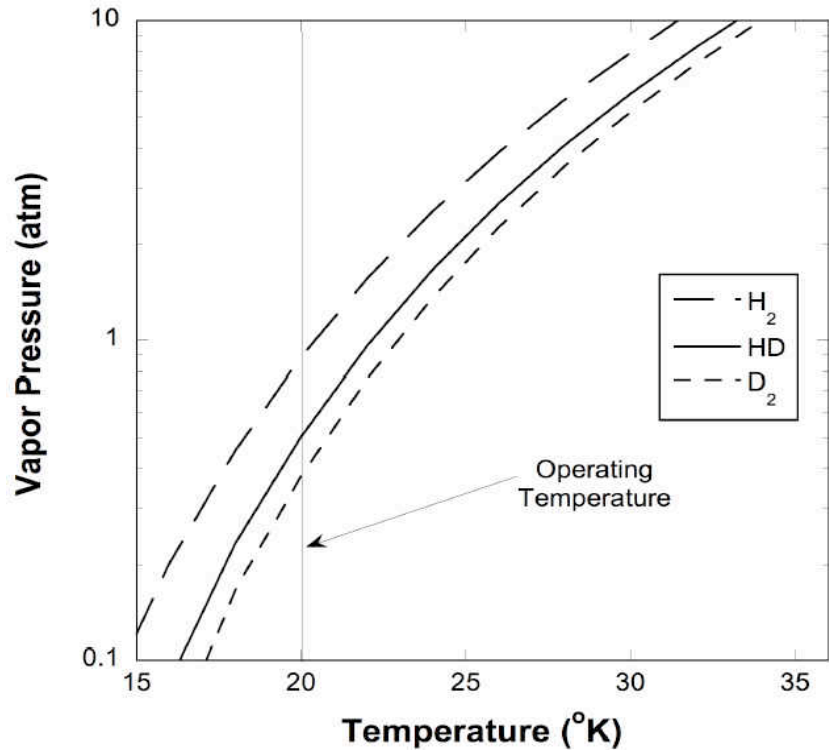
Results obtained by combining four different analysis techniques

H2/HD	JMU-II 1	JMU-II 2	JMU-III	USC
G+back Peaks Ratio	0.00479±0.00007	0.00447±0.00007	0.00227±0.00007	0.00395±0.00007
G+back Global Fit	0.00471±0.00007	0.00441±0.00007	0.00220±0.00007	0.00381±0.00007
Int+back sub Peaks Ratio	0.005±0.001	0.00448±0.00009	0.0022±0.0007	0.00397±0.00009
Int+back sub Global Fit	0.00465±0.00007	0.00434±0.00008	0.00217±0.00007	0.00376±0.00008
Weighted mean	0.00472±0.00004	0.00442±0.00004	0.00220±0.00004	0.00387±0.00004
D2/HD	JMU-II 1	JMU-II 2	JMU-III	USC
G+back Peaks Ratio	0.0040±0.0001	0.0042±0.0001	0.0025±0.0001	0.0042±0.0001
G+back Global Fit	0.0043±0.0001	0.0045±0.0001	0.0025±0.0002	0.0046±0.0002
Int+back sub Peaks Ratio	0.004±0.002	0.0042±0.0001	-	0.0043±0.0002
Int+back sub Global Fit	0.0042±0.0002	0.0044±0.0001	0.0025±0.0002	0.0046±0.0002
Weighted mean	0.00416±0.00008	0.00433±0.00007	0.0025±0.0001	0.00442±0.00008

Distillazione dell'HD

HD commerciale contiene
 ~ 98% HD ~1.5% H₂ ≤0.5% D₂

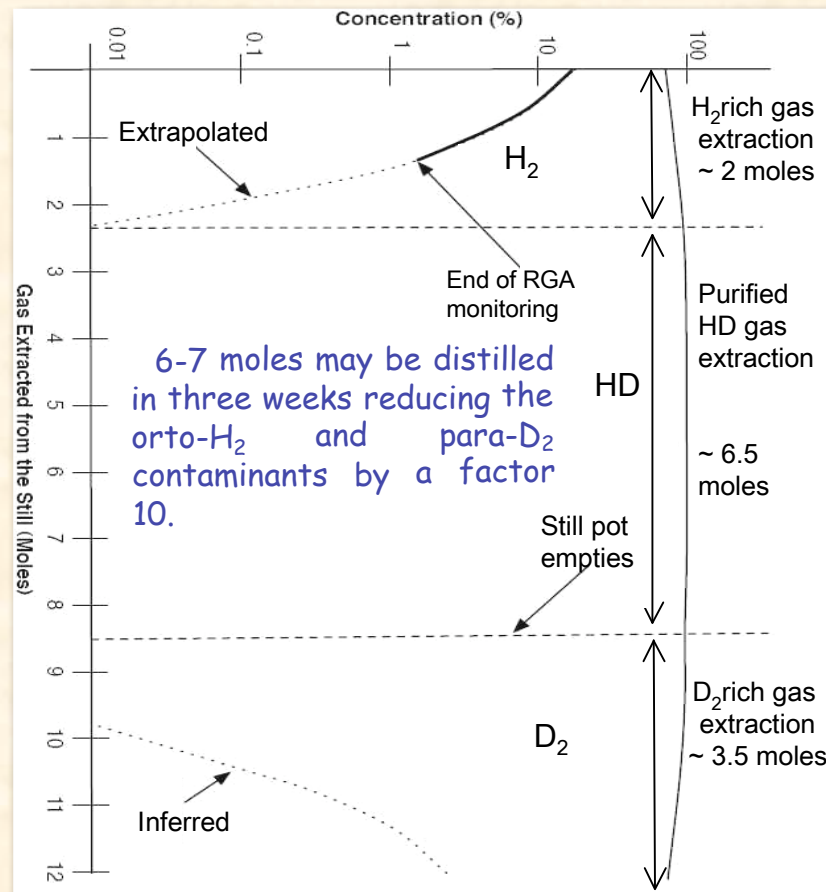
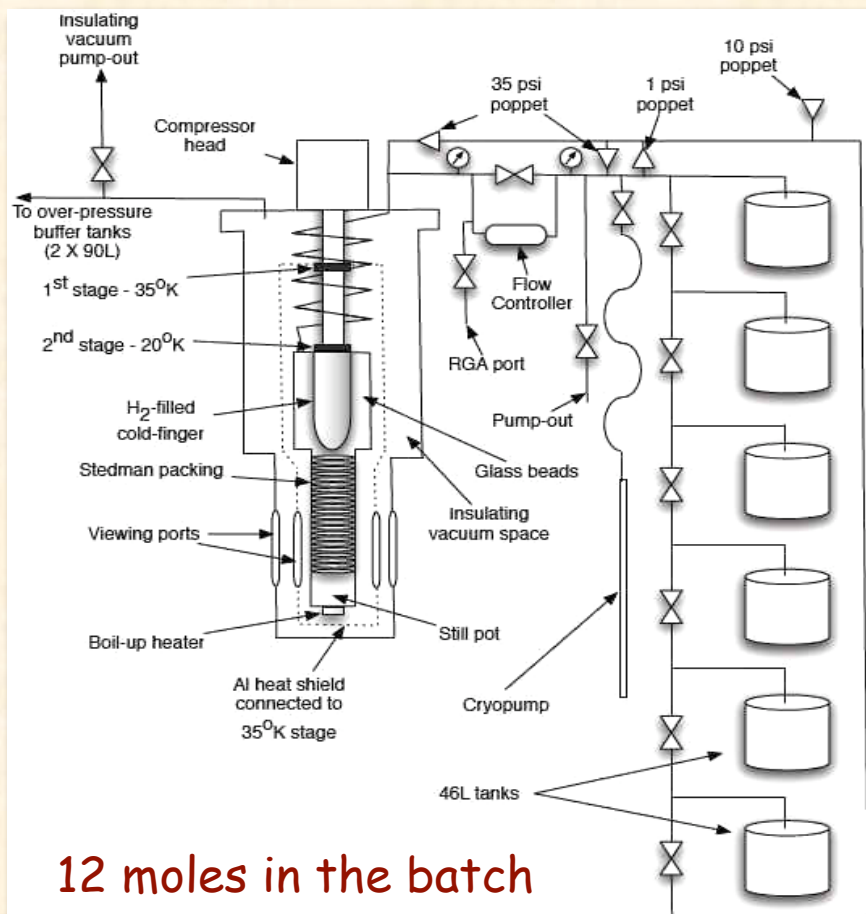
Processo di distillazione:
 By Steve Whinsnant @ JMU



12 moles in the batch

Distillazione dell'HD

L' HD commerciale contiene ~ 98% HD ~1.5% H₂ ≤0.5% D₂



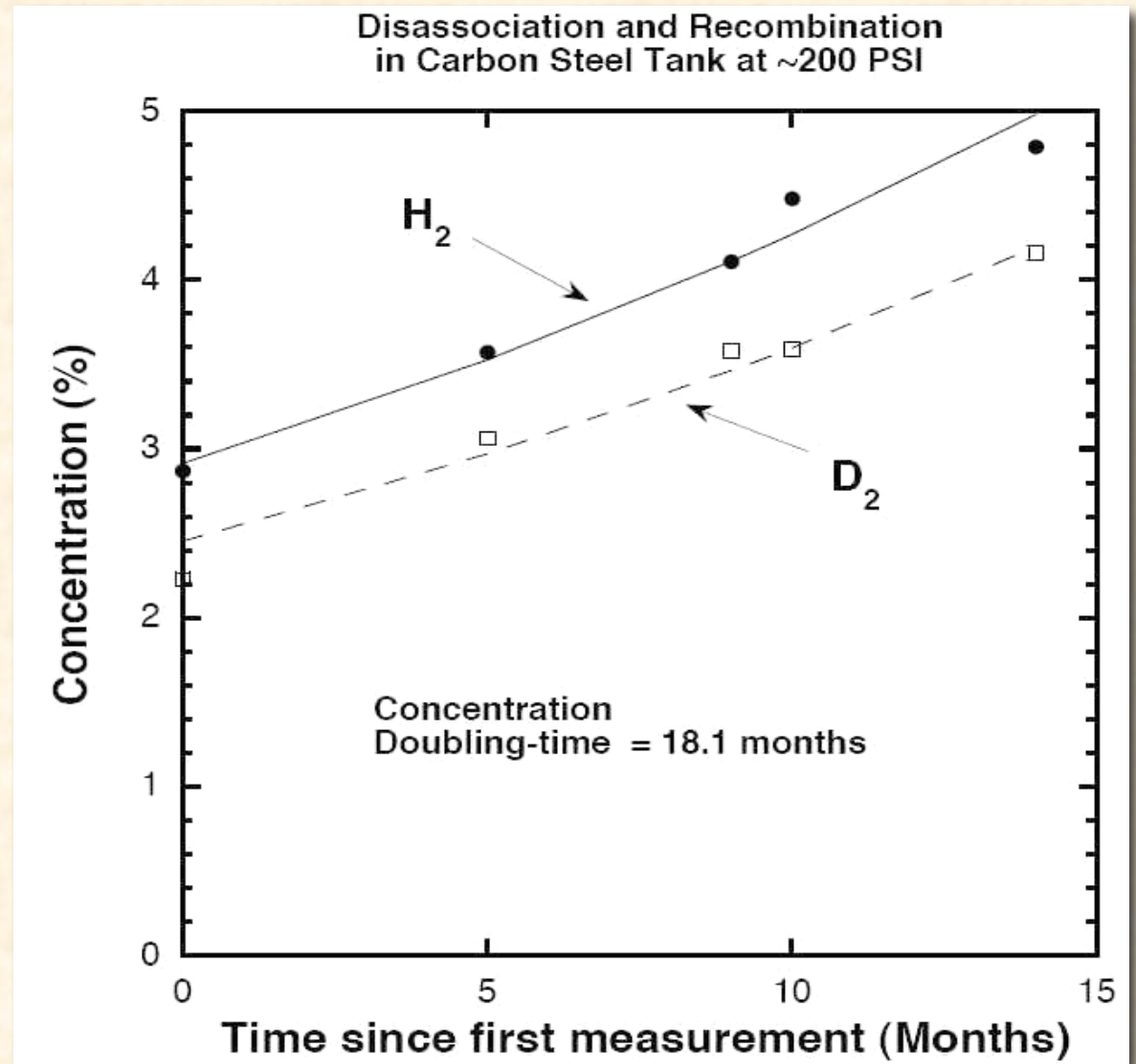
Ogni ciclo di distillazione riduce la concentrazione di H₂ e D₂ di un ordine di grandezza.

Sono necessari due cicli di distillazione per ridurre la concentrazione iniziale dei contaminanti di due ordini di grandezza, per ottenere la concentrazione iniziale ottimale di 10⁻⁴.

Stoccaggio: problema della ricombinazione dell'HD

Il gas di HD conservato ad alta pressione (200 psi) in contenitori di acciaio tende a dissociarsi ed a ricombinarsi nelle specie H_2 and D_2 al tasso di 0.14% /month.

Misure accurate delle concentrazioni di ortho- H_2 and para- D_2 nell'HD sono altamente desiderabili.



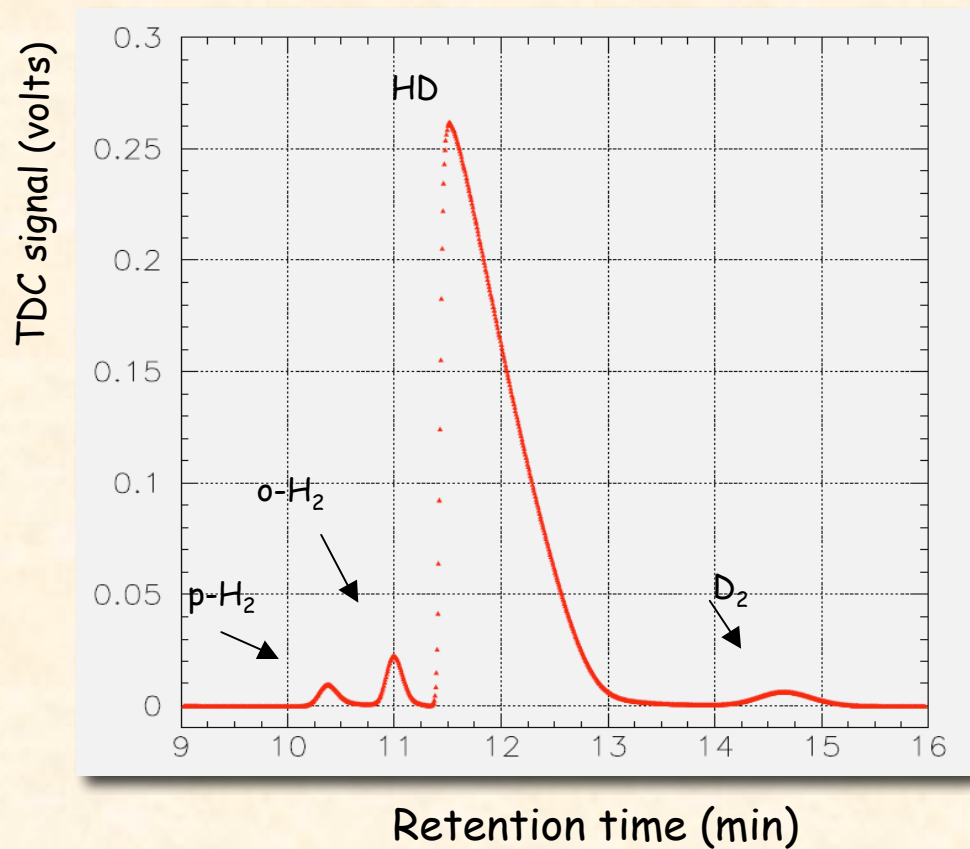
Analisi del gas di HD: Gas Cromatografia

Si misura la differenza della conducibilità termica rispetto ad un gas trasportatore costituito da Neon, in funzione del tempo di ritenzione in un condotto capillare.

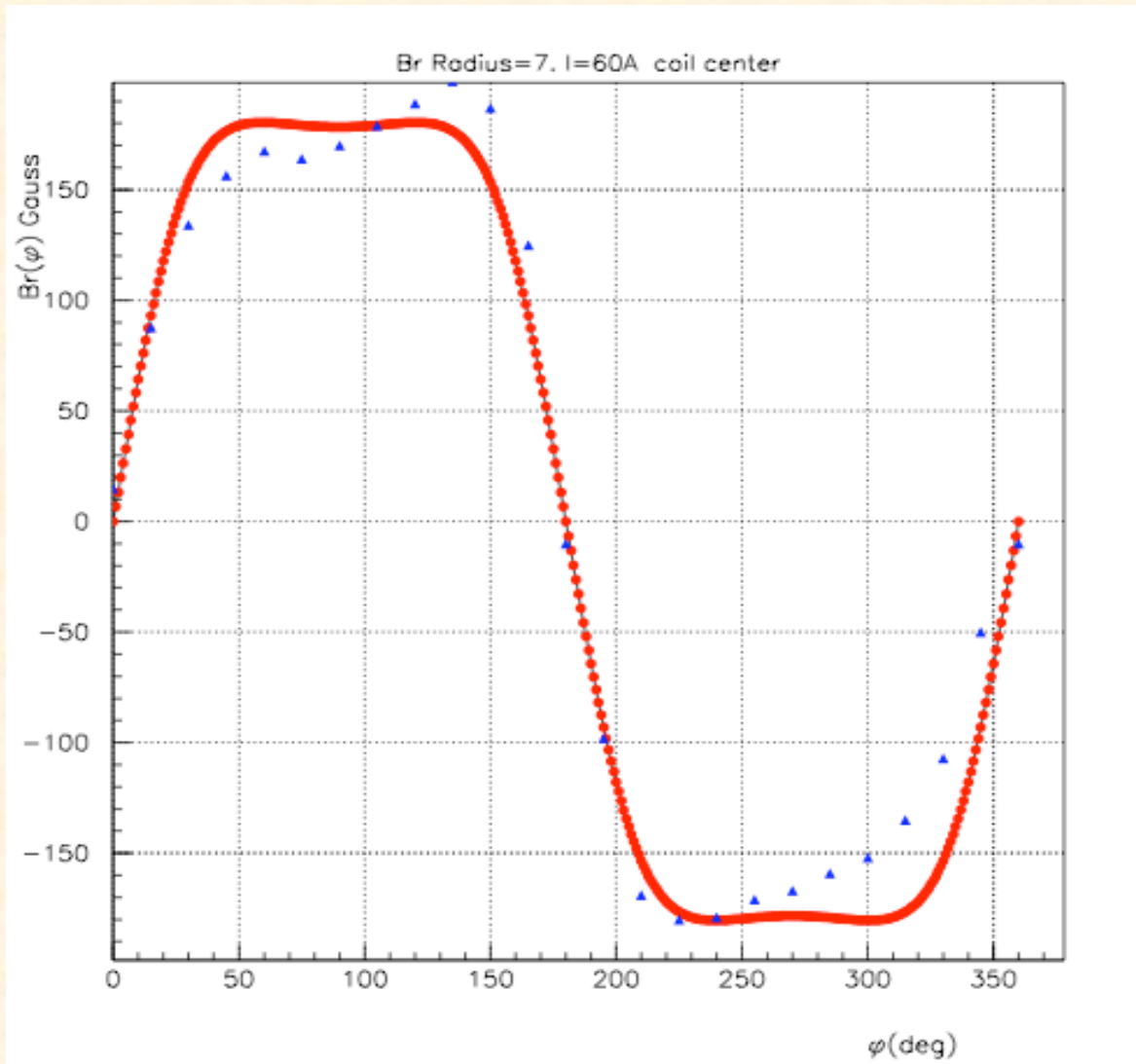
Varian CP-3800 GC

I tempo di ritenzione nel condotto è funzione della massa molecolare e delle spin del gas analizzato.

Il limite della risoluzione della gas-cromatografia è $\sim 0.05\%$



Mappe del campo $I=60\text{ A}$, $R=7\text{ cm}$.

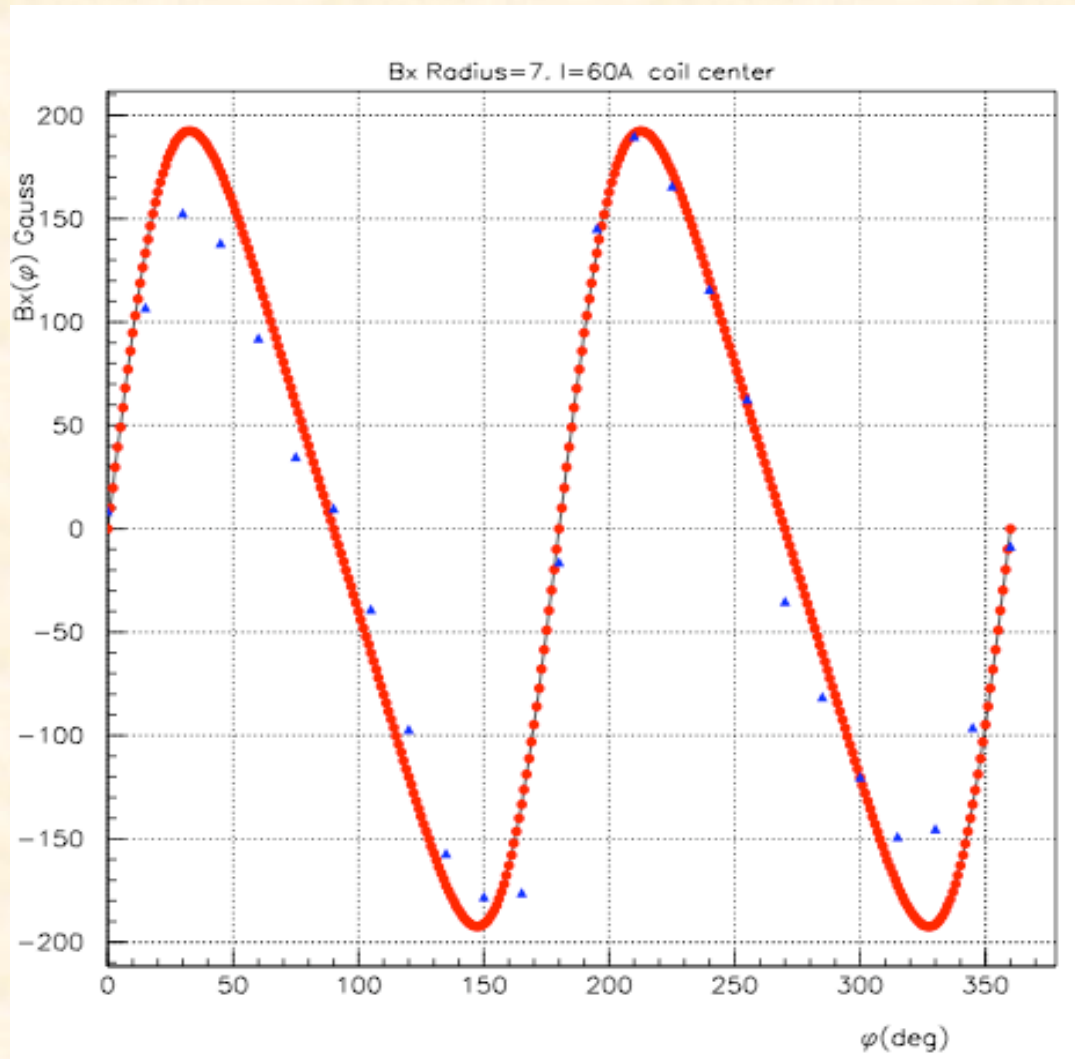


Campo radiale

● calcolato

▲ misurato

Mappe del campo $I=60\text{ A}$, $R=7\text{ cm}$.

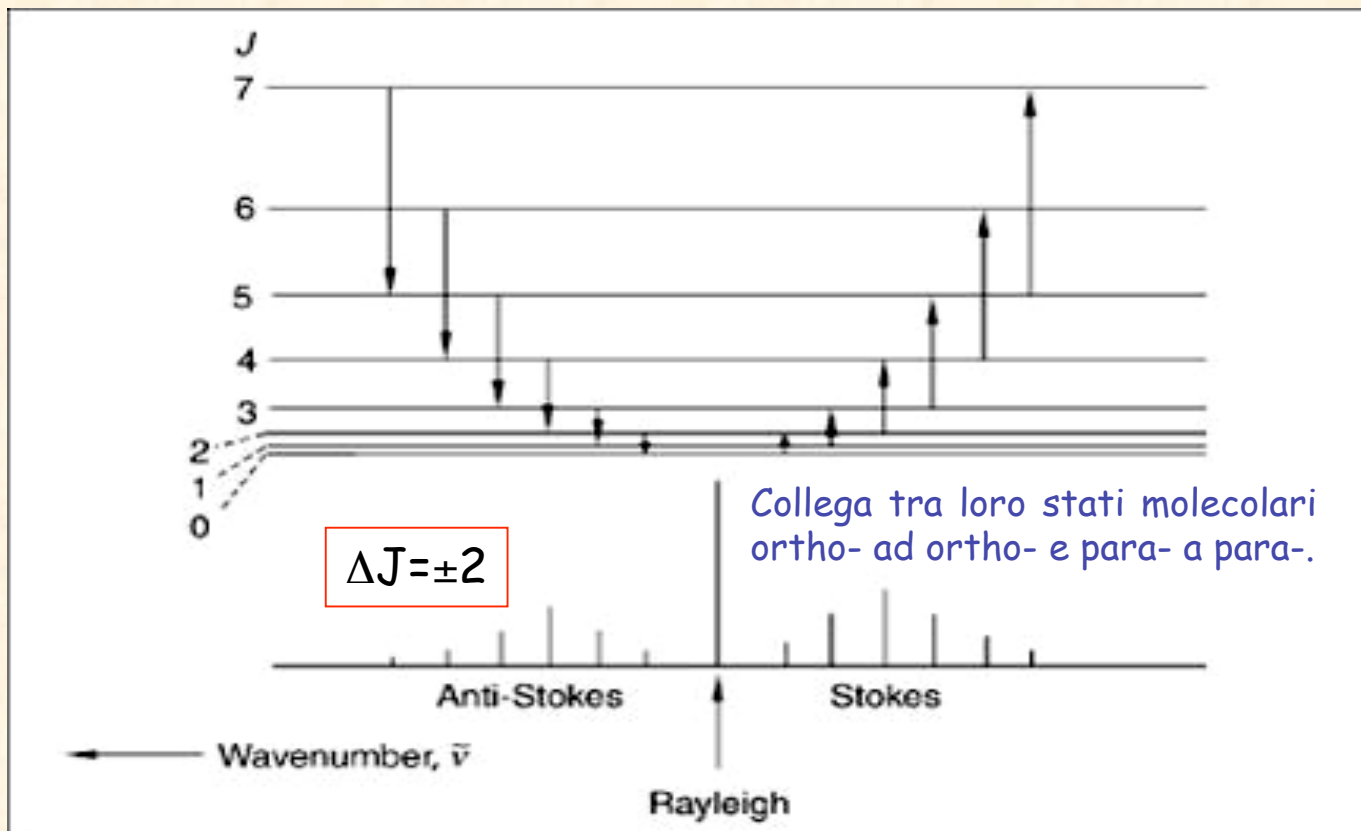


Campo orizzontale

● calcolato

▲ misurato

Analisi del gas di HD: spettroscopia Raman diffusione Laser dagli stati rotazionali



$$E_R = \hbar^2 \frac{J^2}{2I} = hcb_0 J(J+1) \quad b_0 = \frac{h}{8\pi^2 I}$$

$$\Delta E = hcb_0(J+2)(J+3) - hcb_0 J(J+1) = hcb_0(4J+6)$$

set-up Raman a Roma

